ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДЫ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ТРУДЫ

IV

ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

Москва 15–18 сентября 2015 год

ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ОНЗ РАН “ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ”

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РФ

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДЫ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Труды Четвертой
Всероссийской научной конференции
с международным участием

15–18 сентября 2015 года

МОСКВА
2015

УДК 556.01:556.1:556.3:556.5
Ф-94

Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды Четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 15–18 сентября 2015 г. / ИВП РАН: отв. ред. Болгов М.В. – Москва: ИВП РАН, 2015. – 560 с.

В сборник вошли материалы четвертой конференции по фундаментальным проблемам воды и водных ресурсов, прошедшей в г. Москве 15–18 сентября 2015 г.

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области фундаментальных проблем гидрологии, гидрофизики, гидрохимии и экологии поверхностных и подземных вод, а также в области водопользования и управления водохозяйственными системами.

Fundamental Problems of Water and Water resources: Proceedings of IV Russian Scientific. Conference – Moscow: Water Problems Institute RAS, 2015. – 560 p.

The proceedings include the papers of proceedings of scientific conference on fundamental problems of water and water resources, which was held on 15–18 September in Moscow. The book will be useful for specialists in the field of hydrology, hydrophysics, hydrochemistry, limnology and ecology, as well as in the field of water use and water management.

РЕДАКЦИОННАЯ ГРУППА:

Д.т.н. Болгов М.В. – ответственный редактор

Д.г.н. Коронкевич Н.И. (ИГ РАН, Москва), д.ф.-м.н. Веницианов Е.В. (ИВП РАН, Москва), д.г.н. Винокуров Ю.И. (ИВЭП СО РАН, Барнаул), д.г.н. Георгиевский В.Ю. (ГГИ, Санкт-Петербург), д.г.н. Корытный Л.М. (ИГ СО РАН, Иркутск), д.г.н. Лепихин А.П. (ГИ УрО РАН, Пермь), д.г.-м.н. Поздняков С.П. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва), д.г.-м.н. Зекцер И.С. (ИВП РАН, Москва), д.ф.-м.н. Кучмент Л.С. (ИВП РАН, Москва), д.ф.-м.н. Зырянов В.Н. (ИВП РАН, Москва), д.г.н. Новикова Н.М. (ИВП РАН, Москва), д.г.н. Кузьмина Ж.В. (ИВП РАН, Москва), к.т.н. Коробкина Е.А. (ИВП РАН, Москва)

ISBN 978-5-9905659-7-5

Материалы конференции публикуются с сохранением авторского стиля изложения с небольшими редакторскими правками, в основном, в отношении пунктуации и орфографии. Ответственность за содержание представленных к публикации докладов и иллюстраций к ним несут авторы.

Организация конференции и издание материалов конференции осуществлены Институтом водных проблем Российской академии наук при финансовой поддержке Федерального агентства водных ресурсов Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-05-20694).

© ИВП РАН
© Авторы докладов
© Евгения Бубер, оригинал-макет, дизайн полос, верстка, www.igiuk.com

ПРЕДИСЛОВИЕ

Наблюдаемые процессы деградации водной среды, повторяющиеся с завидной регулярностью экстремальные гидрологические события, сопровождаемые значительными ущербами, происходящие климатические изменения стока, понимание важности решения экологических задач, в особенности в традиционно дефицитных регионах, на фоне увеличения нагрузки на водные объекты, приводит к тому, что в научном и инженерном сообществах возрастает внимание к изучению водных ресурсов, формируются и развиваются новые фундаментальные и научно-прикладные направления.

Надо отметить, что современная гидрология изменилась за последние десятилетия. С одной стороны, сильно сократилась сеть мониторинговых наблюдений Росгидромета, включая, за редким исключением, практически полное закрытие особо ценных для научной гидрологии водобалансовых станций, пунктов наблюдений за испарением, резко сократились измерения расходов воды, и все это сопровождалось коммерциализацией информационных потоков (данных наблюдений), что не сделало качество этих данных лучшим по причине ограниченности доступа и отсутствия возможности объективного контроля со стороны научного и инженерного сообществ.

С другой стороны, возросли возможности доступа и, соответственно, интерес к новым источникам данных, в основном это данные дистанционного зондирования Земли, цифровые модели рельефа, результаты глобального моделирования климатической системы в целом, и доступ к пространственным массивам, получаемым в результате численного прогнозирования погоды на региональном уровне. Получили развитие (были созданы) прикладные программные системы, позволяющие решать широкий круг задач математического моделирования гидрологических процессов на различных уровнях пространственного и временного разрешения.

Произошедшие изменения отразились на тематике решаемых в современный период научных и прикладных задач. Например, в 70–90-е годы в стохастической гидрологии актуальной задачей было обоснование выбора наилучшей версии марковской модели многолетних колебаний стока. В связи с заметным увеличением продолжительности рядов эта задача также остается важной сегодня, но нас уже больше интересует проблема стационарности (однородности) рядов, проблема возможных климатических изменений и методов их выявления, проблема прогноза (определения расчетных гидрологических характеристик) в условиях неопределенности будущих оценок климата и стока.

Созданные ведущими научными школами и инженерными центрами современные пакеты прикладных программ позволяют воспроизводить динамику нестационарных потоков в условиях сложных разветвленных русел, моделировать транспорт наносов и перенос загрязняющих веществ, рассчитывать температурные поля, учитывать эффекты воздействия на водные потоки разнообразных гидротехнических сооружений и многое другое. Это не снимает проблему дефицита информации, неопределенности оценок параметров, и идентификации моделей в целом с точки зрения механизмов формирования изучаемых процессов, хотя необходимо отметить, что технические сложности выполнения расчетов резко сократились, расширился круг решаемых задач. Вопрос создания новой технологии гидрологического прогноза и расчета на основе математического моделирования гидрологических и гидрофизических процессов пока далек от завершения, поскольку требует существенно иного отношения и к гидрометеорологическим данным, и к принимаемым на их основе решениям.

В научной среде возрастает понимание важности процессов “экологизации” гидрологических знаний. В задачах нормирования воздействия на водные объекты обсуждается идея перехода от химических нормативов ПДК к установлению неких показателей состояния экосистем (водных и околоводных), превышение которых недопустимо. Опыт показал, что такая задача является очень сложной, поскольку требует для своего решения математического моделирования совместного поведения биотической и абиотической компонент изучаемой системы, нуждается в специальном информационном обеспечении, мониторинговых данных, которые либо отсутствуют, либо фрагментарны, и, в достаточном для решения типовых задач

объеме, могут быть получены в далекой перспективе. Проблема качества вод усугубляется появлением, в процессе развития производства, новых загрязняющих веществ, токсические свойства которых неизвестны, мониторинг не осуществляется, ПДК не определены.

Управление водохозяйственными системами, как часть общей системы управления водохозяйственным комплексом, получило в последние годы некоторое развитие, но в целом основывается на использовании научных методов 30–40-летней давности. Не внедрились пока подходы, учитывающие неопределенность гидрологического прогноза, сами прогнозы не основываются на мультимодельных обобщениях, и, хотя со стороны оперативной гидрологии предлагается перейти на ансамблевые формы прогноза, Росгидромет рекомендует вероятностную форму выдачи гидрологических прогнозов.

В области совершенствования методов управленческой деятельности надо отметить завершение попытки "всероссийского" осмысления водных проблем путём разработки Схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). В этих схемах должны быть увязаны потребности экономического и социального развития территорий с ресурсным потенциалом. И хотя опыта управления водным хозяйством страны на основе этих схем пока нет, тем не менее ясно, что наукоемкость этих документов должна служить основой высокого уровня принимаемых решений.

Анализ реализуемых на различных уровнях управления экономикой страны решений, затрагивающих "водную" отрасль, позволяет сделать вывод об определенном прогрессе в решении проблем, тем не менее, остаются задачи, требующие выполнения как фундаментальных, так и прикладных научных исследований для обоснования мероприятий по всему спектру существующих задач. Актуальность вопросов, обсуждаемых на конференции, обусловлена существующими и имеющими тенденцию роста водными проблемами в РФ и во всем мире, связанными с истощением водных ресурсов, возрастанием частоты экстремальных явлений, деградацией водных экосистем и другими негативными процессами. Водный кризис начинает играть роль первостепенной опасности для человечества по величине ожидаемого негативного влияния.

Сложившиеся в стране региональные водохозяйственные проблемы остаются сдерживающим фактором социально-экономического развития государства. Функционирование и развитие водного хозяйства продолжает иметь характер системной проблемы, которая должна решаться программно-целевым методом, что, в свою очередь, может быть реализовано на основе современной научной базы, и предполагает обсуждение, разработку и выполнение программ научных исследований по всем аспектам водопользования.

С целью широкого обсуждения современных фундаментальных проблем научной гидрологии и смежных наук, Институт водных проблем РАН, совместно с Институтом географии РАН и Научным советом РАН "Водные ресурсы суши", проводит Четвертую Всероссийскую конференцию "Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов" 15–18 сентября 2015 г. в г. Москве. Конференции "Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов" организуются с периодичностью 5 лет (Томск, 2000 г.; Иркутск, 2005, Барнаул) совместно научными институтами РАН, имеющими тематику водных исследований в качестве одного из направлений научной деятельности. В сборник трудов конференции помещены тексты 152 докладов, распределенных по 5 секциям, а также пленарные сообщения.

Тематика представленных докладов охватывает широкий круг водных проблем. Обсуждаемые вопросы характеризуются разным уровнем проработки, сообщения могут отражать личную позицию автора, но составители сборника трудов и организаторы конференции надеются, что различия во взглядах обеспечат проведение творческой дискуссии по всем обсуждаемым вопросам.

М. В. БОЛГОВ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Георгиевский В.Ю.

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург

priem@ggi.nw.ru

Приводятся данные о ежегодно возобновляемых ресурсах речного стока для территории Российской Федерации, анализируется их многолетняя динамика, особенности условий формирования стока при современных климатических изменениях, рассматриваются сценарные оценки изменений годового стока на середину XXI столетия.

Интегральной характеристикой ежегодно возобновляемых водных ресурсов является речной сток, определяющий степень водообеспеченности населения и отраслей экономики.

Среднемноголетние возобновляемые водные ресурсы страны (1936–2014 гг.) оцениваются в 4351 км^3/год, в том числе из сопредельных государств в пределы РФ в среднем поступает немногим более 200 км^3/год. На одного жителя нашей страны приходится около 30 тыс. м^3/год общих ресурсов речного стока. Однако распределение ресурсов поверхностных вод крайне неравномерно по территории. Так, в европейской части России, где сосредоточено 80% населения страны, водные ресурсы составляют всего 21% общих водных ресурсов. В азиатской части сток только четырех крупнейших рек (Енисей, Лена, Обь и Амур) составляет 48% всего объема речного стока страны.

Водные ресурсы испытывают значительные межгодовые изменения. Исследованиям их многолетней динамики в настоящее время уделяется повышенное внимание в связи с происходящими климатическими изменениями. В соответствии с [Второй оценочный доклад РОСГИДРОМЕТА..., 2014], на территории РФ в последние десятилетия наблюдается значительное потепление. На фоне современного потепления водные ресурсы страны стали несколько выше, чем ранее. Так, в среднем за период 1981–2014 гг. ресурсы речного стока страны составили 4472 км^3/год, что на 213 км^3/год больше, чем в 1936–1980 гг. В значительной степени это было обусловлено повышенным стоком рек бассейна Северного Ледовитого океана (рис. 1).

Вместе с тем, нельзя не отметить, что в конце прошлого – начале настоящего столетия на ряде рек (Дон, верховья Оби и Иртыша, Селенга, Онон, Аргунь) произошло снижение стока.

Следует подчеркнуть, что наблюдающиеся изменения водности рек страны пока не противоречат гипотезе стационарности временных изменений рядов годового стока.

Нельзя оставить без внимания факт формирования в последние годы экстремальных (максимальных и минимальных) за многолетний период водных ресурсов в бассейнах ряда крупнейших рек и в пределах отдельных регионов страны, что может свидетельствовать об увеличении их изменчивости. Например, годовой сток Енисея в 2011г. был наибольшим, а в 2012 г. – самым низким за период инструментальных наблюдений, а Амура – соответственно, в 2013 г. и 2008 г. При этом межгодовая амплитуда годовых объемов стока составила для Енисея 235 км^3, а для Амура – 300 км^3.

Климатические изменения оказывают очень значительное влияние на внутригодовое распределение стока. Так, в течение более 30 лет на реках страны отмечается увеличение стока в зимний период года. На преобладающей части ЕТР водность на большинстве рек увеличилась на 50–120%. Здесь выявлены значимые положительные тренды зимнего сто-

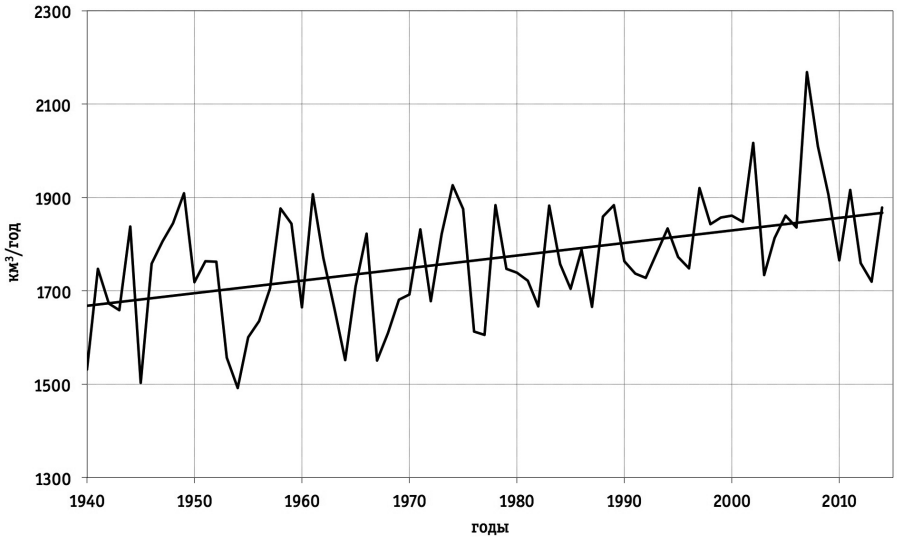


Рис. 1. Суммарный сток крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана: Печоры, Северной Двины, Оби, Енисея, Лены, Колымы

ка, при этом существенно увеличилась его изменчивость. Столь значительное повышение стока, наблюдающееся в течение нескольких десятилетий, свидетельствует о том, что условия его формирования существенно изменились в результате происходящего потепления климата. Этот вывод подтверждается результатами анализа данных наблюдений на специализированной сети Росгидромета (воднобалансовые и болотные станции), а также физико-математического моделирования процессов миграции и инфильтрации влаги в промерзающих и оттаивающих почвах [Гуревич Е.В., 2009; Калюжный И.Л., Лавров С.А., 2012; Лавров С.А., Калюжный И.Л., 2012]. Установлено, что повышение зимней температуры привело к уменьшению глубины промерзания почвы и увеличению ее дренирующих свойств, возрастанию количества и продолжительности зимних оттепелей, во время которых происходит снеготаяние и водоотдача из снежного покрова, пополнение запасов грунтовых вод и формирование поверхностного стока. Помимо непосредственного влияния на зимний сток оттепелей, существенный вклад в повышение стока в холодный период года играют процессы зимней миграции влаги и ее аккумуляции в мерзлой зоне. В результате сток рек в течение зимнего периода возрастает, а запасы воды в снежном покрове к началу весны уменьшаются, что создает условия для снижения стока весеннего половодья. Так, на реках бассейна Балтийского моря, Волги (за исключением северной и северо-восточной его частей) Дона, Днепра и в верхней части бассейна Оби в последние десятилетия весенний сток уменьшился на 10–30%.

Увеличение летне-осеннего стока отмечается также на большей части территории России, причем наиболее отчетливо этот процесс проявился на реках южной части лесной зоны, а также в лесостепной и степной зонах ЕТР.

Произошедшие изменения во внутригодовом распределении стока оказывают существенное влияние на функционирование водохозяйственных систем. На рисунке 2, в качестве примера, представлены данные, характеризующие приток к Цимлянскому водохранилищу за различные многолетние периоды времени из которых следует, что в последние десятилетия произошло увеличение естественной зарегулированности суммарного притока речных вод, характеризующееся уменьшением весеннего стока и увеличением меженного.

На основе анализа изменений в режиме максимального стока рек в результате климатических воздействий установлено, что для ЕТР в бассейнах рек, где произошло снижение стока весеннего половодья, существенно снизились и максимальные расходы воды. Уменьшение максимального стока на 20–40% характерно для большинства рек юго-западной и западной частей ЕТР, где максимальные расходы формируются в период весеннего половодья.

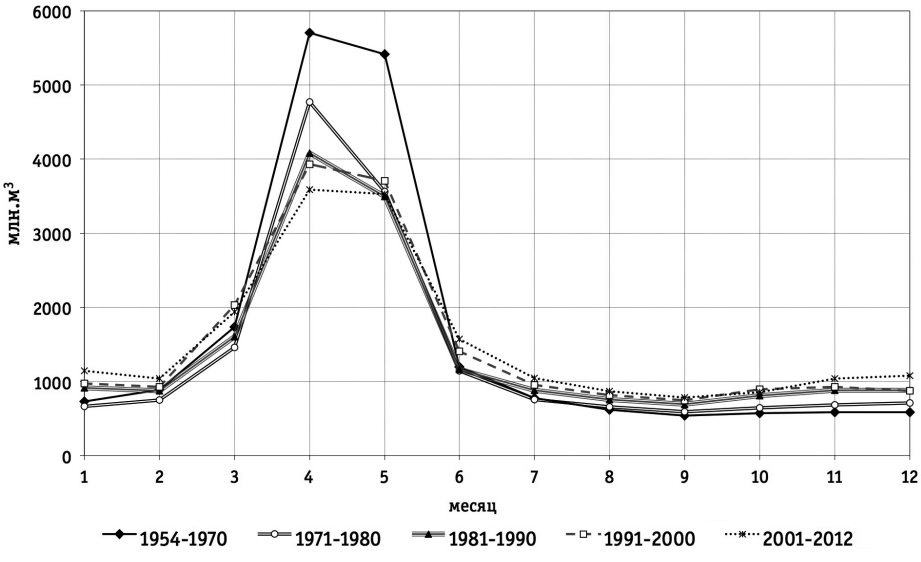


Рис. 2. Приток речных вод в Цимлянское водохранилище за многолетние периоды

На реках страны, где максимальные в году расходы воды формируются в период прохождения дождевых паводков (Северный Кавказ, Дальневосточное Приморье), происходит увеличение повторяемости опасных наводнений. Во время катастрофического летнего паводка 2013 г. в бассейне Амура на многих водомерных постах уровни и расходы воды намного превысили наблюдавшиеся ранее максимумы за весь период наблюдений. Статистическая повторяемость этого паводка на Нижнем Амуре оценивается как один раз в 200–250 лет.

На реках Черноморского побережья Кавказа и бассейна Кубани в последние десятилетия также прошли катастрофические паводки, сформировавшиеся в результате выпадения экстремальных осадков, с максимальными расходами вод, значительно превышающими ранее наблюденные. Для рек этого региона характерным является значительное увеличение изменчивости максимальных расходов воды.

Для стратегического планирования использования водных ресурсов чрезвычайно важное значение имеют долгосрочные оценки возможных изменений водных ресурсов. Такие оценки основаны на результатах расчетов по климатическим моделям.

В ГГИ был выполнен анализ расчетных данных по стоку, полученных по 35-ти гидродинамическим климатическим моделям CMIP-5 применительно к территории России, который показал, что в отношении годового стока, 24 модели дают реалистичные результаты. Критерием, при этом, являлось соответствие смоделированных и фактических слоев годового стока для крупнейших рек страны за 1981–2000 гг. Это дало возможность оценить возможные в перспективе изменения водных ресурсов на территории страны по отношению к оценкам, полученным для базового периода.

В соответствии с полученными оценками, за исключением южной и юго-западной частей Европейской территории страны, водные ресурсы будут больше, чем за базовый период.

В целом, можно сделать вывод, что в обозримой перспективе ежегодно возобновляемые водные ресурсы страны будут больше, чем за период инструментальных наблюдений. Однако, в результате климатических изменений водообеспеченность ряда южных регионов ЕЧР, которая уже в настоящее время является низкой, может стать катастрофически низкой, что необходимо учитывать при разработке водохозяйственных планов и мероприятий, направленных на гарантированное водообеспечение населения и отраслей экономики.

Вместе с тем следует отметить, что в отношении таких важнейших гидрологических характеристик, как внутригодовое распределение стока, максимальный и минимальный сток, гидродинамические климатические модели пока не могут воспроизвести даже происходящие изменения водного режима рек. Открытым остается вопрос и о возможных изменениях вероятностных характеристик стока, которые используются при строительном

и водохозяйственном проектировании. В связи с этим выводы о возможных в будущем изменениях водного режима рек носят качественный характер. Так, принимая во внимание, что большинство климатических моделей прогнозируют дальнейшее повышение зимних температур воздуха, с высокой долей уверенности можно считать, что увеличенный зимний сток рек, наблюдающийся с конца 1970-х – начала 1980-х гг., сохранится и в ближайшие десятилетия. При этом относительная доля весеннего стока в годовом стоке будет уменьшаться. Что касается летне-осеннего и паводочного стока, то неопределенность их оценок на будущее очень велика, что связано, в первую очередь, с невозможностью долговременного прогноза характеристик осадков теплого периода, имеющих очень высокую временную и пространственную изменчивость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Второй оценочный доклад РОСГИДРОМЕТА об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2014. – С. 30.

Гуревич Е.В. Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р. Алдан). // Метеорология и гидрология, 2009. – №9. – С. 92–99.

Калюжный И.Л., Лавров С.А. Основные физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек в условиях потепления климата. // Метеорология и гидрология, 2012. – №1. – С. 68–81.

Лавров С.А., Калюжный И.Л. Физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек бассейна Волги в условиях изменения климата. //Водные ресурсы, 2012. – №4. – С. 74–84.

RIVERS WATER RESOURCES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Georgievsky V.Yu.

State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia, priem@ggi.nw.ru

ABSTRACT

Data on annual renewable water resources for the territory of the Russian Federation are presented. Long-term dynamics of water resources and particularities of runoff formation conditions under modern climate changes are analyzed. Scenario assessments of river runoff for the middle of XXI century are considered.

КОНФЛИКТЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ: ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТЫ

Тулохонов А.К.

Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ

atul@binm.bscnet.ru

Рассматриваются глобальные и региональные виды конфликтов, возникающие при водопользовании.

Ограниченность водных ресурсов и, как следствие, их нарастающий дефицит предполагают возникновение различных геополитических, экономических и социальных конфликтов на глобальном и региональном уровнях. При этом следует выделить различные типы использования водных ресурсов, их масштабы, трансграничное положение и другие характеристики.

Среди них наиболее важным и приоритетным является потребность использования воды как самого важного источника жизнеобеспечения населения. При этом самым качественным источником пресной воды являются только подземные воды, ледовый покров полярных областей и воды внутренних озер, таких как Байкал, Хубсугул, Ладожское и другие водоемы.

Речные водные ресурсы планеты большей частью загрязнены природными и антропогенными ингредиентами, которые достаточно токсичны при использовании в пище и поэтому чаще всего нуждаются в очистке. Не менее важны для экономики гидроэнергетические ресурсы рек. В отличие от углеводородных и атомных станций гидростанции используют возобновляемые и самые дешевые водные источники.

Однако при этом под воду уходят большие площади самых плодородных речных долин, что существенно ограничивает развитие гидроэнергетики в густонаселенных регионах.

Все это позволяет без особых сомнений представить 21 век как время нарастающих политических и экономических конфликтов в использовании водных ресурсов планеты. Чаще всего такие коллизии происходят в речных бассейнах, где расположены территории смежных государств. На всех материках, кроме Австралии, многие речные системы пересекают или разделяют территории нескольких государств.

К примеру, более 46 тыс. км российских границ проходит по водным рубежам и в том числе 7141 км – по рекам, 475 км – по озерам и 38 807 км – по побережью морей, а к категории трансграничных относятся бассейны 70 речных систем. Именно здесь наиболее ярко проявляются преимущества или недостатки географического положения государств. Население, расположенное в истоках рек, пользуется более чистой водой, вниз по течению увеличивается количество сброшенных промышленных стоков, вод с мелиоративных систем. В этом же направлении возрастает объем водного стока, транспортное значение рек и возможность катастрофических наводнений.

В связи с возрастающей нехваткой ресурсов пресной воды в мире нарастает количество международных экономических конфликтов, часто перерастающих в вооруженные столкновения. По данным средств массовой информации, за последнее десятилетие по этой причине военные конфликты произошли в 46 странах, где проживает более 2,5 млрд человек.

По данным В.А. Колосова, в мире насчитывается 214 крупных речных бассейнов, расположенных на территории нескольких государств. Из них 155 рек принадлежат двум странам, 36 – трем, 25 пересекают от 4 до 12 стран [Колосов, 1990]. Традиционно основное население планеты сосредоточено в береговой полосе морей и океанов и по речным долинам. Именно здесь располагаются основные сельскохозяйственные угодья, нуждающиеся в поливной воде. На крупнейшей реке Южной Азии – р. Ганг находится более 100 городов с населением более 100 тыс. человек, которые не имеют очистных сооружений.

По мнению специалистов, в 20 веке масштабы водопользования увеличились в разы и в два раза превышают темпы роста населения. В мире построено более 500 гидростанций с плотина-

ми высотой более 100 м. Строительство гидротехнических сооружений меняет естественный гидрологический режим поверхностных вод и создает реальную угрозу возникновения катастрофических наводнений при естественном, техногенном, сейсмогенном или террористическом разрушении плотин.

При этом проблема безопасности, связанная с использованием водных источников, возникла в давние времена. Все древние города и крепости строились с учетом наличия собственных источников воды и исключавших возможность их отравления. К примеру, исторические летописи свидетельствуют о том, что Савва Рагузинский при определении российско-китайской границы и основании приграничного города Кяхта в качестве основного аргумента использовал географическое положение р. Кяхтинка, которая имела исток на российской территории и не могла быть отравлена противником.

К причинам палестино-израильского конфликта можно отнести конфликты, связанные с использованием вод р. Иордан и Галилейского моря, питающих пресной водой основное население Израиля. Эти территории захвачены в 1967 г. в ходе шестидневной войны. Спустя полвека население здесь почти утроилось и теперь Израиль уже не может обойтись другими водными источниками.

После распада Советского Союза все более актуальной становится проблема регулирования двух самых крупных среднеазиатских рек Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи. Истоки этих рек расположены в горах Киргизии и Таджикистана, а в нижнем течении они орошают сельскохозяйственные земли Узбекистана, Туркмении и Казахстана и впадают в Аральское море. Однако в последние десятилетия воды этих рек почти полностью расходуются на хозяйственные цели, в результате чего Аральское море превратилось в два отдельных озера и продолжает сокращаться.

По географическому положению и экономической ориентации горные республики строят гидростанции, которые должны летом увеличивать объем водохранилищ, а зимой сбрасывать воду через плотины для выработки электроэнергии. Равнинные государства имеют иные задачи и нуждаются в воде летом для полива хлопка и других культур. Решение этого конфликта возможно только на основе многосторонних соглашений, включающих соблюдение общих интересов, обмен товарной и иной продукцией. В ином случае неизбежно возникновение новых конфликтов и продолжение экологической катастрофы Аральского моря.

В настоящее время возникает глобальный конфликт, связанный с претензиями арктических государств на акваторию Северного Ледовитого океана. В этих регионах, расположенных за пределами континентального шельфа расположены крупнейшие месторождения углеводородов и других полезных ископаемых. Кроме того, в связи с таянием арктических льдов возникает возможность увеличения пропускной способности Северного морского пути, который значительно сокращает путь судов из Юго-Восточной Азии в Европу.

В конечном итоге оправдывается прогноз М. Ломоносова о том, что могущество российское будет прирастать не только Сибирью, но и северным океаном [Тулохонов, 2014].

На фоне глобальных и международных геополитических конфликтов не всегда заметны региональные конфликты водопользования, которые чаще всего имеют экономические и экологические причины. К таким классическим примерам относится ситуация, возникшая в связи изменением уровня водного зеркала оз. Байкал.

Как известно, после строительства Иркутской ГЭС в 1957 г. уровень оз. Байкал был поднят на 1 м, и, фактически, озеро в настоящее время представляет часть Иркутского водохранилища и его уровень определяется режимом эксплуатации каскада Ангарских ГЭС. В 2001 г. специальным постановлением Правительства РФ были установлены правила работы Иркутской ГЭС исключавшие катастрофические изменения уровня озера, которые отрицательно влияли на состояние биоты и размыв береговой линии, и задавшие его диапазон в интервале от 456 м до 457 м.

По своим гидрологическим характеристикам каскад Ангарских ГЭС дает самую дешевую электроэнергию в стране. Поэтому в маловодный весенний сезон 2014 г ОАО "Иркутскэнерго" увеличило пропуск воды и выработку электроэнергии на Иркутской ГЭС. Как следствие, в зимний и весенний сезоны 2015 г., уровень Байкала катастрофически снизился ниже минимально разрешенного на 20 см. Такая ситуация была официально оформлена специальным постановлением

Правительства РФ, которое позволяет снижать уровень озера в интересах энергетиков и водопотребителей на р. Ангара ниже г. Иркутска.

Таким образом, изменение уровня оз. Байкал свыше пределов природных колебаний становится источником регионального конфликта. Вполне понятно, что в интервале естественных колебаний существуют комфортные условия для экосистемы озера. При превышении естественного уровня происходит интенсивный размыв береговой линии озера, подтопление прибрежных населенных пунктов и сельхозугодий, разрушение железной и автомобильной дорог.

Особая угроза создается для островов Ярки, отделяющих Северный Байкал от дельты рек Кичера и Верхняя Ангара. При размыве этих островов создается реальная угроза разрушения всей экосистемы Северного Байкала и его увеличение к северу еще на 30–40 км.

При понижении уровня сокращается площадь мелководий в дельте р. Селенга и в других местах нагула рыбной молоди, кормовые угодья для перелетных и околоводных птиц, места обитания ондатры.

Однако для энергетиков главным фактором эксплуатации каскада ГЭС является максимальное получение дешевой электроэнергии. При этом основным лимитирующим фактором для них является тот факт, что при сбросе через плотину Иркутской ГЭС объемом более 4–5 тыс. $м^3$/сек начинается подтопление дач и жилого фонда г. Иркутск расположенного вдоль берегов Ангары.

При снижении сбрасываемых расходов воды до 2200 $м^3$/сек оголяются водозаборы промышленных предприятий г. Ангарска и других населенных пунктов Иркутской области.

Таким образом, уровень оз. Байкала становится предметом коллизий между задачей сохранения экосистемы оз. Байкал, как участка мирового природного наследия, и социально-экономическими интересами Иркутской области. При этом долина р. Ангары по гидрологическим характеристикам не имеет особого отношения к бассейну оз. Байкал и решение социальных проблем здесь относится к частным задачам региональных властей.

Данный конфликт имеет и экономические следствия. На территории Иркутской области за счет гидроэнергетических ресурсов Байкала стоимость электроэнергии для населения не превышает 70 копеек за киловатт- час, тогда как для жителей для жителей Бурятии, которой принадлежит основная часть акватории озера, стоимость электроэнергии в 4 раза больше. Такая же пропорция сохраняется в стоимости электроэнергии для промышленных предприятий, что снижает конкурентоспособность бурятской продукции.

Постановление Правительства РФ о возможности произвольного снижения уровня оз. Байкал в интересах энергетики и региональных интересов Иркутской области имеет и другие последствия на международном уровне. Правительство Монголии, которое испытывает острую нехватку энергоресурсов, обсуждает проблему строительства каскада ГЭС на р. Селенга и ее притоках. Строительство таких плотин неизбежно повлечет изменение гидрологического режима главного притока оз. Байкал. При попытке запрета на строительство ГЭС в Монголии, наши соседи указывают на российский документ, разрешающий подобные явления на каскаде Ангарских ГЭС.

Таким образом, региональные конфликты могут перерасти в международные коллизии при использовании гидроэнергоресурсов в бассейне оз. Байкал. Для России такие конфликтные ситуации существуют при использовании водных ресурсов р. Амур и его истока – р. Аргунь, расположенных на территории Китая. Основная водная артерия Западной Сибири – р. Иртыш – из года в год сокращает свой сток. Причина такого явления заключается в отводе воды р. Черный Иртыш на хозяйственные нужды в китайской провинции Синьцзян. Значительный объем иртышской воды теряется в водохранилищах Казахстана. В свою очередь р. Урал зарегулирована на территории России и в Казахстане ее водность значительно уменьшается.

Кроме этих традиционных источников водопользования, необходимо выделить более важный аспект использования акваторий для транспортных нужд, как для внутриконтинентальных, так и для морских и межконтинентальных перевозок. Традиционно все приморские государства имеют преимущество в дешевых транспортных морских перевозках. Прогрессирующее потепление климата существенно расширяет логистические преимущества Северного морского пути, вдоль восточного и северного российского побережья.

Несмотря на сложные природно-климатические условия, Северный морской путь значительно сокращает сроки перевозки грузов из Юго-Восточной Азии в Европу и исключает риски, существующие в пиратских регионах Индийского океана, а также прохождение судов через Суэцкий и Панамский каналы.

Сокращение ледового покрова Арктики и выявление стратегических месторождений углеводородов определяет появление конфликтов при освоении арктического шельфа и прилегающих акваторий Северного Ледовитого океана. При этом, кроме арктических стран, имеющих географическую привязку, интерес к полярным регионам проявляют Китай, Япония и другие страны, далекие от Арктики.

Такой краткий обзор проблем водопользования и многообразие рассматриваемых водных коллизий позволяет выделить глобальный уровень конфликтов, которые со временем неизбежно будут обостряться в мире. При этом необходимо особо выделить задачи сокращения загрязнения водной среды, которые возможно решить только на международном уровне. В конечном итоге, по мере возрастания объемов водопотребления, будет возрастать и количество региональных конфликтов, которые возможно решать только на основе согласованных законодательных актов. При этом, в отличие от землепользования, водные ресурсы — это динамичная природная среда, где достаточно сложно определить права собственности и действие правового механизма. В этих условиях решение поставленных задач невозможно без разработки научно обоснованных рекомендаций по выходу из наиболее острых конфликтных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Колосов В.А. География и новое политическое мышление. — В кн.: География, политика и культура. — Л.: Недра, 1990. — с. 26–41.

Тулохонов А.К. Политическая география Северной Азии или как обустроить российскую периферию. — Улан-Удэ: Экос, 2014. — с. 256.

CONFLICTS OF WATER CONSUMPTION: GLOBAL AND REGIONAL ASPECTS

Tulokhonov A.K.

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia, atul@binm.bscnet.ru

ABSTRACT

Global and regional types of conflicts of water consumption are considered.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ: ОЦЕНКИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ

Болгов М.В.

Институт водных проблем РАН, Москва

bolgovmv@mail.ru

На различных примерах обсуждается задача анализа нестационарных последовательностей гидрологических характеристик и рекомендуется байесовский метод получения вероятностной оценки экстремальных расходов воды и уровней на водных объектах.

Неопределенность факторов формирования изучаемых геофизических (геологических, климатических, гидрологических, гидрогеологических и др.) процессов является достаточно типичной ситуацией в практической деятельности. Например, в инженерно-геологических прогнозах в ряде случаев сложно предположить, каков будет характер взаимодействия сооружения с грунтами основания, поскольку как производственные технологические процессы, влияющие на нагрузки, так и само назначение сооружения на период планирования развития системы хозяйствования, а это, как правило, десятки лет, могут сильно измениться. Сложно дать прогноз подтопления застраиваемой территории, поскольку неизвестны параметры утечек из водонесущих коммуникаций, носящих к тому же характер аварий, да и сама геофильтрационная схема может измениться под воздействием вновь создаваемых сооружений ввиду неопределенностей перспектив строительного освоения селитебных территорий. Сток реки, природный гидрометеорологический процесс, сам по себе весьма изменчивый во времени и в пространстве, может сильно трансформироваться (как увеличиться, так и уменьшиться) под влиянием антропогенных изменений состояния водосбора. Важной является проблема неопределенности оценок параметров моделей, описывающих как сами процессы, так и плохо предсказуемое взаимодействие технической конструкции с изучаемой природной средой (грунт, вода, атмосфера). Ситуация сильно усложняется в случаях экстремальной водности (экстремальных нагрузок), поскольку мониторинг функционирования природно-технической системы в таких условиях либо отсутствует, либо крайне ограничен ввиду малой вероятности таких событий.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ РАЗЛИЧНОГО РОДА

Проблема неопределенности инженерных условий на практике либо преодолевается за счет создания конструкций, позволяющих обеспечить функциональные возможности сооружения в широком диапазоне изменения свойств (в качестве экзотики можно отметить создание плавающих домов в Нидерландах как средство борьбы с наводнениями), либо, в случае экономически затратного решения, за счет отказа от сооружения (объекта) и выбора другого типа функционального использования территории, вплоть до принудительного затопления ее в случае катастрофического развития ситуации для снижения опасного воздействия на объекты, расположенные ниже по течению реки. Соответствующие решения принимаются на уровне разработки схем территориального развития. В промежуточном варианте мы накапливаем опыт эксплуатации создаваемых систем, и, осуществляя мониторинг, выполняем непрерывную коррекцию решений, если, конечно, такое технически возможно и экономически оправдано.

Надо сказать, что отечественная система нормирования нагрузок, сложившаяся в условиях планового ведения хозяйства, и реализованная сегодня в мало измененном виде в Техническом регламенте “Безопасность зданий и сооружений” (2013 г.), приводит к ре-

шениям, обладающим большим уровнем надежности. В работе Л.Г. Бегама и В.Ш. Цыпина (1984), на примере мостовых переходов, было показано, что серьезные разрушения наступают в тех случаях, когда наблюдаемый паводок на 30% и более превышает расчетный (определенный по заданной для этого класса сооружений обеспеченности максимального стока). Другим примером является задание емкости форсировки водохранилища (резерв, обеспечивающий безопасность гидротехнического сооружения), осуществляемого сегодня для особо ответственных сооружений путем анализа пропуска весьма редкого события (0,01% с гарантированной поправкой) с начальными условиями, назначаемыми достаточно волевым путем, и сопровождаемого назначением (достаточно условным) сценария развития экстремальной ситуации.

Часто практика решения прикладных задач сталкивается со случаями, когда расчетные значения сложно задать в традиционной форме, например путем вероятностного описания нагрузки, как это требует теория надежности [Технический регламент, 2013]. Можно отметить используемый в гидротехнической практике за рубежом подход, основанный на понятии предельно возможного наводнения, т.е. события, выше которого уровень воды подняться не может, в частности, например, потому, что атмосфера не может удержать большего количества воды над данным водосбором.

В ряде случаев мы вынуждены признать, что доверительный интервал прогноза настолько велик, что рассматриваемая инженерная задача лишается смысла. Нужны либо законодательные меры, либо новые экономические механизмы, например страхование, регулирующие хозяйственную детельность в таких случаях. Иногда это связано с принципиальной невозможностью долгосрочного геофизического прогноза, как, например, в задаче долгосрочного прогноза уровня Каспийского моря, но, в интересующем нас далее случае, основная причина – это недостаточная точность глобальных моделей, воспроизводящих будущие климатические изменения.

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

Несмотря на обширную историю и накопленный опыт, методическая база гидрологии далека от совершенства. Современные методы гидрологического расчета основываются в основном на приближенной схематизации процессов формирования стока, при получении расчетных значений преобладают стохастические модели и статистические методы. Катастрофические гидрологические события последних лет, начиная с наводнения на р. Лене и Кубани и заканчивая затяжными маловодьями на Волге и Селенге, ставят перед гидрологией ряд фундаментальных проблем, решение которых не всегда очевидно в рамках существующих подходов. Сказанное означает необходимость критического анализа современного состояния гидрологии суши по многим аспектам, начиная от основных положений генетической теории и до имеющихся взглядов на учет климатических изменений, в особенности применительно к экстремальным явлениям. Сегодня сложность решения гидрологических задач усугубляется как по причине существенного сокращения сети мониторинговых наблюдений Росгидромета, так и из-за снижения качества самих гидрологических наблюдений за счет резкого уменьшения числа измеряемых расходов воды, практического прекращения водобалансовых исследований на специализированных станциях, устаревшего оборудования и т.п

Проблемы гидрологического анализа экстремальных событий можно классифицировать по условиям возникновения неопределенностей различного вида.

1. Нерегулярный характер катастрофических гидрологических явлений приводит к тому, **что подвергается сомнению обоснованность применения фундаментальных гипотез гидрологии**, например гипотезы о вероятностном характере колебаний стока. Является ли для описания многолетних колебаний стока приемлемой линейная или нелинейная марковская (или более сложная) модель, или пригодна какая-то степень проявления хаоса в изучаемой гидролого-климатической системе? Является ли приемлемой сама модель одномерного распределения вероятностей для описания временных рядов экстремумов стока? Существуют ли моменты исследуемого распределения? Можно ли получить достоверные оценки параметров в условиях ограниченной

информации? Сформулированные вопросы по ряду причин не имеют очевидных ответов, и в первую очередь по причине ограниченности данных наблюдений.

2. **Неопределенность оценок стока как следствие недостаточности информации для моделирования и упрощенных представлений о механизмах его формирования.** Каково соотношение между генетическими представлениями о механизмах формирования стока и вероятностными моделями пространственной изменчивости рельефа, гидрофизических характеристик почв, растительности и пр., с одной стороны, и представлениями о пространственной и временной изменчивости метеорологических полей (осадки, испарение), с другой стороны? Можно ли решить эту проблему в рамках, так называемых, динамико-стохастических моделей, в то время когда динамическая часть этих моделей характеризуется расчетной сеткой, пространственные шаги которой иногда существенно превышают размеры самих склонов (и соответственно, изучаемых неоднородностей) на которых и формируется сток? Какой эффект будет, например, при использовании в моделировании представлений о стокоформирующих комплексах, а не об элементарном склоне? К этому перечню вопросов необходимо добавить еще и проблему достоверности оценок параметров стохастических моделей, получаемых по имеющимся ограниченным объемам данных наблюдений.
3. **Неопределенность будущих изменений стока как следствие недостоверности воспроизведения в глобальных моделях представлений о формировании стока** по причине упрощенности моделей, в том числе и вынужденно в результате ограничения на вычислительные ресурсы компьютеров, а также по причине условности сценариев будущего развития экономических условий, определяющих антропогенное воздействие в виде эмиссии (или поглощения) парниковых газов и т.п.

Перечисленные выше проблемы для своего решения предполагают, реализацию предложений из области планирования и проектирования, что сопровождается получением расчетных гидрологических характеристик и разнообразных прогнозных оценок будущего режима. Рассмотрим на нескольких примерах подходы к решению задач гидрологического обоснования некоторых из упомянутых проблем.

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В РАСЧЕТАХ СТОКА

Важнейшей задачей, возникающей при оценке максимального стока, является вероятностный анализ его факторов и самих событий. Прикладной аспект проблемы выбора распределения вероятностей гидрологической характеристики состоит в том, что использование различных моделей может приводить к существенно разным оценкам в области больших значений, имеющих малую вероятность превышения, а именно они и представляют наибольший интерес с точки зрения надежности сооружений и систем.

Решение этой задачи предполагает выбор подходящего параметрического класса возможных моделей, после чего можно применить эффективные статистические методы оценки параметров распределения. Желательно, чтобы получаемые оценки параметров позволяли делать качественные выводы о характере распределения. Такой подход может быть реализован при использовании так называемого обобщенного распределения экстремумов [Embrechts at al., 1997]. Вторая сложность связана с необходимостью увеличения точности оцениваемых параметров. Ее в ряде случаев можно преодолеть с помощью группирования данных.

В некоторых случаях невозможно подобрать одно распределение, одинаково хорошо описывающее исходные данные во всем диапазоне изменения аргумента. Особенно это заметно при исследовании распределений в зоне экстремальных характеристик стока. В связи с тем, что сток низких и высоких паводков на реках формируется под влиянием различных факторов, целесообразно исключать из рассмотрения паводки с низкими значениями, т.е. использовать так называемые "усеченные распределения" с целью исключения данных, которые не содержат информации, уточняющей оценки распределения вероятностей высоких паводков (Блохинов, 1973, Свод правил…, 2003). Один из подходов состоит в использовании смеси распределений: нормального и степенного (распределения Парето) [Болгов, Писаренко, 1998].

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

В нестационарном случае возникает ряд задач, требующих для своего решения новых методов. Характер нестационарности временных гидрометеорологических рядов может быть различным. Довольно часто выявляемые изменения имеют вид тренда (линейного или нелинейного) и тогда решение задачи сводится к обсуждению возможности пролонгации тренда. Сам тренд удаляется на этапе обработки, и далее изучаются свойства отклонений. Ситуация довольно типична для спектрального анализа, где тренд может ошибочно интерпретироваться как низкочастотная компонента спектра. Если дисперсия процесса тоже зависит от времени, то можно рекомендовать т.н. мультипликативную модель. Исследования показывают, что поведение процесса стока может быть более сложным. Гидрологическая система накапливает изменения и достаточно резко переходит в новое, стационарное состояние. Такое развитие процесса имеет место, например, для минимального стока в бассейне Волги. Линейный рост зимних температур в результате глобального потепления, обусловил увеличенное питание подземных вод зимой, и, соответственно, рост подземной составляющей стока, и стока межени в целом. Но характер изменения во времени стока межени оказался “нелинейным”. Примерно до начала 80-х годов происходило накопление запасов подземных вод, которое привело затем к практически скачкообразному изменению меженного стока. За 2–3 года режим минимальной водности изменился и мы стали наблюдать новое стационарное состояние гидрологической системы. Проверка на однородность имеющихся рядов наблюдений подтвердила наличие двух стационарных периодов и возникла проблема гидрологического расчета: какой отрезок ряда принять в качестве аналога на будущее? Поскольку очевидно, что произошедшее нарушение стационарности является следствием глобальных климатических изменений, а механизмы этих изменений изучены недостаточно, то нельзя однозначно утверждать, что возврата к прошлому климату не будет. Расчетная схема определения гидрологической характеристики должна учитывать все возможные состояния климатической (гидрологической) системы.

Здесь, в первую очередь, надо обсудить стохастическую модель, позволяющую воспроизводить моменты смены состояний процесса. В интересующем нас случае имеется только два состояния процесса и относительно будущих колебаний стока мы можем лишь предположить, что с вероятностями n_1/N и n_2/N система может находиться в одном из них. Здесь $n_1 + n_2 = N$, где N – общая продолжительность неоднородной выборки, а n_1 и n_2 – ее однородные части.

В таком случае можно предположить, что математическое ожидание прогнозируемого процесса является смесью двух распределений

$$g(\theta/x) = \frac{n_1}{N} \cdot \eta(\theta, n_1) + \frac{n_2}{N}\ p\ (\theta/x) \qquad (1)$$

где $\eta(\theta, n_1)$ – выборочное распределение среднего (математического ожидания) для первого условно-стационарного участка длиной n_1, а $p\ (\theta/x)$ – плотность оценки параметра θ для современных климатических условий. Плотность (1) является двухмодальной, поскольку выборочная плотность $p\ (\theta/x)$ математического ожидания является гауссовской, а плотность при малой дисперсии так же близка к нормальному закону.

Учесть неопределенность задания параметра среднее (1) при построении прогнозной плотности можно на основе формулы полной вероятности (формулы Байеса). В этом случае смесь распределений (1) будет выступать в качестве апостериорного распределения, а модельным распределением будет любое приемлемое для изучаемой характеристики распределение (например, двухпараметрическое гамма-распределение с параметром γ, равным среднему значению для обеих выборок):

$$\pi(y) = \int_{\theta} P(y,\gamma,\theta) \cdot g(\theta/x)d\theta \qquad (2)$$

Полученная прогнозная плотность $\pi(y)$ распределения вычисляется путем численного интегрирования уравнения (2). В будущем, если система перейдет в третье состояние, отличающееся от двух предыдущих, процедуру можно повторить еще раз, записав уравнение (1) для трех компонент.

Таблица. Функция распределения годового стока
р. Аму-Дарья – п. Керки

№	ВРЕМЯ	ВЕС, % ДЛЯ СЦЕНАРИЕВ			ВЕРОЯТНОСТЬ ПРЕВЫШЕНИЯ,%				
		СОВРЕМ. КЛИМАТ	СЦЕНАРИЙ А1	СЦЕНАРИЙ В1	50	75	90	95	97
1	30 лет	50	25	25	1860	1730	1610	1550	1500
2	50 лет	50	25	25	1800	1644	1516	1440	1400

Впервые в российской гидрологической практике предлагаемый подход дал возможность получить расчетные характеристики минимального стока рек бассейна Волги и Дона, находящегося в нестационарных условиях под существенным влиянием климатических изменений [Болгов и др, 2014; Болгов, Сенцова, 2010].

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ БУДУЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Современное потепление глобального климата имеет как естественно-инерционную, так и антропогенно-обусловленную составляющие. Ввиду ограниченности наших знаний, используемые модельные представления (метеорологические, океанологические, гидрологические, биологические и пр.) несовершенны, и, более того, мы не можем предсказать, каковы будут эффекты при дальнейшем их развитии. Представляющий практическую ценность научный прогноз сложных, слабо изученных явлений, должен основываться на учете многообразия существующих современных представлений и многовариантности прогнозов глобального развития. Получить такие прогнозные оценки можно, например, на основе байесовского подхода с учетом шансов реализации того или иного сценария. Основная сложность – оценка шансов или вероятностей реализации этих сценариев. Речь идет о попытках распределить шансы между прогнозами, характеризующимися большой неопределенностью.

Такой подход был впервые предложен для решения задачи оценки изменения водности рек бассейна реки Аму-Дарьи в условиях значительной неопределенности прогнозов изменений климата и состояния водосбора [Агальцева и др., 2011]. Последнее для данного бассейна весьма важно, так как значительная часть стока формируется путем таяния ледников, современное же оледенение в регионе характеризуется существенной скоростью его деградации. Идея предложенного метода состоит в моделировании искусственных последовательностей (реализаций) осадков и температуры воздуха для различных климатических сценариев. Подход позволяет учесть возможные климатические изменения и прогнозные оценки оледенения путем корректировки параметров гидрологической модели.

В данном регионе используется несколько сценариев будущих климатических изменений как наиболее реалистичные. Два из этих сценариев приводят к худшим гидрологическим результатам по сравнению с современным климатом, соответственно каждому из них придан вес 1/4. Остальные сценарии приводят к значениям водности, не сильно отличающимся от тех, которые характерны для современного климата, поэтому параметрам распределения стока, рассчитанным за репрезентативный период, придан вес 1/2. В таблице приведены результаты расчетов стока по формуле прогнозной плотности (2) для р. Аму-Дарья – п. Керки, где рассчитанные веса использованы в качестве априорных вероятностей. В таком виде задача определения расчетных гидрологических характеристик с учетом неоднозначности сценариев изменения климата решена впервые.

Расчет стока с использованием несколько сценариев будущих климатических изменений является конструктивным подходом и позволяет получать существенно более надежные оценки водных ресурсов на будущее.

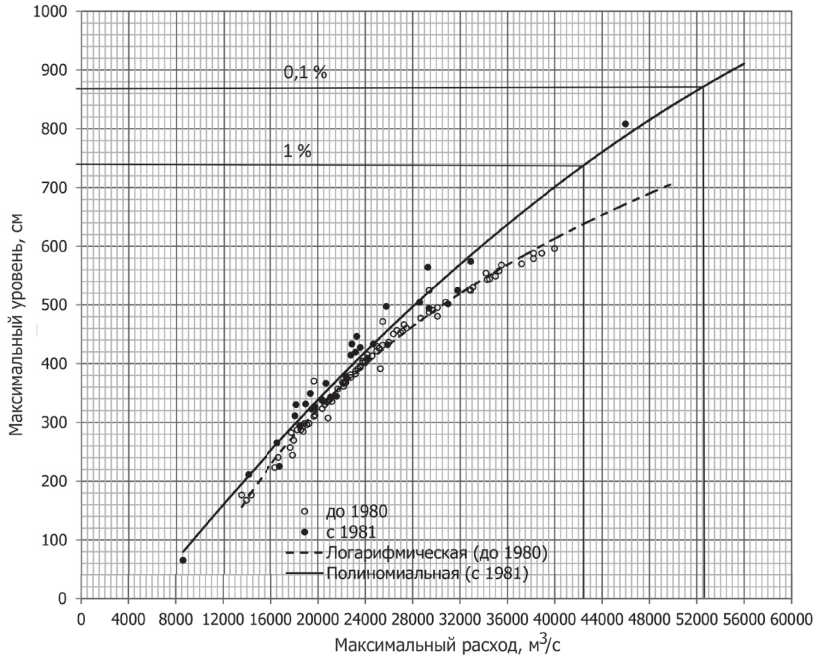


Рисунок. Кривые расходов реки Амур в створе Хабаровск за два периода наблюдений (до 1980 г. и после)

ПРОБЛЕМА УЧЕТА АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ФАКТОРОВ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА

Значительное антропогенное воздействие на водную среду может выражаться в существенном изменении морфометрических характеристик водных объектов, в результате строительства защитных сооружений и других инфраструктурных объектов, проведения дноуглубительных работ, перераспределения стока. В результате может существенно нарушаться гидравлический режим потока формироваться зоны подпора – в целом, изменяться зависимости расходов от уровней.

В июле-сентябре 2013 г. на территории пяти субъектов Российской Федерации имело место катастрофическое наводнение, вызванное обширными дождевыми осадками и охватившее почти полностью бассейн Амура, и частично бассейн р. Колымы. На многих водомерных постах был превышен исторический максимум (максимальное значение за весь период наблюдений).

Эмпирическая кривая обеспеченности максимальных уровней воды в г. Хабаровске не может быть положена в основу гидрологических расчетов, поскольку содержит отскакивающую точку – максимальный уровень 2013 года. Явная неоднородность выборки вынуждает использовать другой подход к обработке гидрологических данных для определения расчетных уровней воды р. Амур у г. Хабаровска: ряд наблюденных максимальных расходов и уровней делится на две части – до 1980 года и после [Болгов, 2014]. Такое деление примерно соответствует началу активного строительства Китаем защитных дамб на правом берегу Амура. Другие мероприятия по изменению пропускной способности русла Амура на российской части также реализовывались примерно в эти годы. Для каждого периода строится своя кривая расходов на основе наибольших в году расходов воды и соответствующих им уровней (см. рис.). Как следует из этого рисунка, в последние 30 лет зависимость расходов от уровня значительно сместилась вверх (до 1 м в диапазоне наибольших наблюденных расходов воды). Таким образом, можно говорить о том, что на Нижнем Амуре сформировался новый гидроморфологический режим.

С учетом неоднородности гидравлических и гидроморфологических условий старые расчетные значения максимальных уровней воды должны быть пересмотрены в сторону увеличения, и основная гидрологическая задача состоит в выявлении причин развития процесса изменения формы русла, и в обосновании новых гидроморфологических условий и новых расчетных методов.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные примеры показывают, что задача оценивания гидрологических характеристик на обозримое будущее во многих важных случаях характеризуется очень большой неопределенностью факторов и получаемых решений. Источники неопределенности могут быть связаны как с явной недостаточностью данных об изучаемом природном процессе, получаемых в процессе мониторинга, так и с плохо преодолеваемыми сложностями долгосрочного прогнозирования с использованием глобальных моделей циркуляции атмосферы и океана.

Тем не менее, данные мониторинга свидетельствуют, что нарушения стационарности, и связанные с ним неопределенности в оценках многолетней изменчивости гидрометеорологических процессов, проявляются во все большем числе случаев, и, соответственно, требуется развитие методов решения прикладных задач. Для нахождения соответствующих решений рекомендуется применение байесовских методов оценивания и прогнозирования в сочетании с детальным детерминистическим моделированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агальцева Н.А., Болгов М.В., Спекторман Т.Ю., Трубецкова М.Д., Чуб В.Е. Оценка гидрологических характеристик в бассейне Амударьи в условиях изменения климата //Метеорология и гидрология, 2011. – №10. – С. 58–69.

Бегам Л.Г., Цыпин В.Ш. Надежность мостовых переходов через водотоки. Серия "Надежность и качество". – М. Транспорт 1984. – 256 с.

Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга // Метеорология и гидрология, 2014. – №3. – С. 75–84.

Болгов М.В., Сенцова Н.И. Байесовские оценки расчетных характеристик минимального стока рек в нестационарных условиях// Метеорология и гидрология, 2010. – №11. – С. 70–80.

Блохинов Е.Г. Усеченное распределение вероятностей для расчета максимального стока рек.//Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. – М.: Наука, 1973. – С. 30–55.

Болгов М.В., Писаренко В.Ф. О распределении максимальных расходов воды рек Приморья// Водные ресурсы, 1998. – Т. 26. – №6. – С. 710–721.

Болгов М.В. Задача оценки вероятности редких гидрологических событий в условиях неопределенности прогноза климатических изменений // Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации (сборник докладов). – М.: НИЦ "Планета", 2014.

Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных гидрологических характеристик СП 33-101-2003., 2004. – 74 с.

Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон от 30.12.2009 №384-ФЗ (ред. от 02.07.2013)

Embrechts P., Kluppelberg C., Mikosch T. Modelling extremal events for insurance and finance. Springer, Berlin –Heidelberg, 1997. – 648 p.

EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS: ESTIMATION AND DECISION MAKING UNDER CONDITION OF THE UNCERTAINTY OF ITS FACTORS OF FORMATION

Bolgov M.V.

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, bolgovmv@mail.ru

ABSTRACT

The problem of the hydrological non-stationary time series analysis is discussed with help of different examples. Bayesian method of the extreme discharges and water levels estimation is suggested.

НОВАЯ ПАРАДИГМА ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА КРУПНЕЙШИХ ВОДОЕМОВ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Румянцев В.А., Крюков Л.Н.

Институт озероведения Российской академии наук, Санкт-Петербург

lake@limno.org.ru

На примере Ладожского озера осуществлен анализ выполнения государственного мониторинга на крупнейших водоемах России и сформулированы предложения по его коррекции.

Основы государственного мониторинга поверхностных водных объектов, который включает в себя крупнейшие озера и водохранилища, были заложены более полувека назад. Одним из основных было требование обеспечения сопоставимости состояния водных объектов между собой и их изменений во времени. Данные мониторинга должны были обеспечивать выявление негативных изменений, происходящих под воздействием климатических и антропогенных факторов, и принятия неотложных мер по оздоровлению экологической ситуации на водных объектах, на которых изменения принимали угрожающие размеры и могли привести к непоправимым последствиям.

За прошедшие полвека был достигнут определенный прогресс в понимании происходящих в водных объектах природных процессов и в воздействии антропогенных факторов химического и биологического происхождения на качество воды и гидробиологические сообщества. Это послужило основой для создания многих сотен различных документов – государственных нормативов (ГН), государственных стандартов (ГОСТ), руководящих документов (РД), методических указаний (МУ), методических рекомендаций (МР) и т.д., которые определили перечень охватываемых мониторингом показателей и методики проведения работ по их измерению, обработке и интерпретации результатов. Возникло закономерное стремление к учету огромного количества факторов, что вело к усложнению и увеличению объема выполняемых при мониторинге работ. В конечном итоге требования руководящих документов по осуществлению государственного мониторинга вошли в противоречие с реальными возможностями его проведения на конкретных водных объектах. Как результат, сегодня на крупных водоемах проводятся эпизодические бессистемные съемки по узкому перечню малообоснованных показателей, что совершенно не согласуется с понятием государственного мониторинга водных объектов в целом.

Институтом озероведения Российской академии наук (ИНОЗ РАН, Санкт-Петербург) был выполнен анализ текущего состояния государственного мониторинга Ладожского озера на его соответствие требованиям руководящих документов. Оказалось, что из пяти составляющих мониторинга (РД 52.24.309-2011) наблюдения за изменениями характеристик донных отложений, гидробиологических и токсикологических показателей вообще не проводятся. Гидрологическая составляющая мониторинга выполняется в крайне урезанном виде. Наблюдения осуществляются лишь тремя береговыми станциями – Валаам, Петрокрепость и Сторожно. Контроль на акватории озера за ледовыми, особо опасными и опасными гидрологическими явлениями не осуществляется, водные балансы месячные и годовые не составляются и т.д. Наибольший объем работ выполняется по гидрохимической составляющей государственного мониторинга Ладоги, который ведется по неполному перечню обязательных показателей, рекомендуемых руководящими документами (отсутствуют показатели pH, цветности, CO_2 и др.). Наблюдения проводятся всего лишь раз в год, причем в различные сезоны, что не позволяет объективно выявлять межгодовую динамику изменений. В Ежегодниках качества поверхностных вод суши по Ладожскому озеру отсутствуют первичные данные по физико-химическим характеристикам воды и их вертикальном распределении, представлен лишь краткий текстовый материал и таблица “Статистические данные …” [Водные ресурсы…, 2013].

Совершенно очевидно, что при таком урезанном варианте мониторинга, в котором не осуществляются работы по гидробиологии, токсикологии и анализу донных отложений, полностью исключается возможность составить полноценную оценку состояния водоема и, тем более, дать прогноз и рекомендации по принятию мер для оздоровления обстановки. Вывод в данном случае очевиден – Ладожское озеро не обеспечено системой государственного мониторинга поверхностных водных объектов, что является недопустимым, учитывая его огромную социально-экономическую значимость.

Более чем вероятно, что подобный вывод о невыполнении государственного мониторинга поверхностных водных объектов может быть сделан и по любому другому крупнейшему водоему России. При этом очевидно, что выполнение всей программы мониторинга в полном объеме, как этого требуют руководящие документы, задача неосуществимая не только сегодня, но и в будущем. Встает естественно вопрос, что делать в этой ситуации? Ответ может быть только один. Пора избавляться от иллюзии полного понимания и контроля за происходящими в водоемах процессами и стремления до бесконечности расширять перечень измеряемых при мониторинге показателей. В мире ежегодно появляются миллионы новых малоизученных химических соединений. Даже частичное включение их в программу государственного мониторинга потребует колоссальных финансовых затрат на разработку нормативно-методической базы и окажется малопродуктивным и неподъемным для экономики любой страны.

Настало время пересмотреть идеологию государственного мониторинга поверхностных водных объектов и приступить к его реорганизации в целом. Естественно, что этот переход потребует определенных усилий по коррекции существующей нормативно-методической базы, реализация которой должна обеспечить эффективный мониторинг на пресноводных объектах России. При этом вряд ли оправданно осуществлять применение единой программы мониторинга на крупных и малых водоемах, так как последние чаще всего не имеют высокой социальной значимости. По-видимому, в последнем случае целесообразнее пользоваться упрощенной программой, как это было ранее предложено в работах ИНОЗ РАН [Румянцев, 2006]. Эта оптимизированная программа мониторинга малых водоемов, являющаяся первой в этом направлении, была апробирована на 210 озерах и прудах Санкт-Петербурга. Она полностью оправдала свое использование для оценки состояния водоемов и разработке на этой основе практических рекомендаций, что позволило существенно сократить бюджетные затраты.

Исходя из вышесказанного, далее будем говорить только о государственном мониторинге крупнейших водоемов России, в котором целесообразно иметь две части: “базовую” и “индивидуальную”. Базовая часть мониторинга должна основываться на унифицированной программе с перечнем показателей изменений для всех без исключения крупнейших водоемов России. Этот перечень не должен быть излишне перегружен показателями, редко используемыми на практике и интересными лишь для узкого круга специалистов или отдельных потребителей.

Цель базовой части государственного мониторинга крупнейших водоемов должна состоять в том, чтобы с помощью получаемых данных фиксировать основные процессы внутри водоема и их изменения под влиянием природных и антропогенных факторов. В базовую часть мониторинга должны быть включены только наиболее важные гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и токсикологические показатели, а также основные характеристики донных отложений. Представляется, что формирование этой части мониторинга не вызовет слишком больших проблем. Здесь главным образом следует воспользоваться уже имеющимися в руководящих документах наработками методического и нормативного характера и отобрать наиболее информативные показатели и осуществимые на всех крупнейших водоемах. Возможно, что потребуются и иные показатели, но их не должно быть много. Надо иметь в виду, что именно базовая часть мониторинга должна обеспечить сопоставимость и преемственность будущих данных мониторинга с имеющимися материалами наблюдений за прошлые годы. Не вдаваясь более в детали базовой части мониторинга, просто отметим, что в нее обязательно должно быть включено составление сезонного и годового водных балансов, как важных элементов при оценке воздействий климатических изменений, а также измерение концентраций соединений фосфора и углерода, без которых невозможно контролировать развитие процессов эвтрофирования.

Известно, что крупнейшие водоемы России отличаются друг от друга своим происхождением, возрастом, эволюцией развития, факторами хозяйственной деятельности на акваториях и водосборных бассейнах. Недоучет перечисленных различий при выполнении задач мониторинга не позволит объективно оценить современное состояние крупнейших водоемов и тем более давать правильный прогноз на будущее, т.е. выполнять основные цели, поставленные перед государственным мониторингом водных объектов. Поэтому указанная выше базовая составляющая предлагаемой системы государственного мониторинга крупнейших водоемов должна быть дополнена индивидуальной частью мониторинга. Последняя должна учитывать уникальность того или иного водного объекта, характер его использования и особенности хозяйственной деятельности на водосборе. Таким образом, для каждого крупнейшего водоема будет своя индивидуальная программа мониторинга и перечень измеряемых показателей. Необходимость введения такой части при государственном мониторинге крупнейших водоемов покажем на примере Ладожского озера [Ладога, 2013].

Ладога является уникальным природным объектом. Как и на Байкале, в ней со времен последнего оледенения сохранились гляциально-морские реликтовые организмы – представители растительного и животного мира. В озере живет кольчатая нерпа, а до экологической катастрофы 70-80-х годов прошлого века обитал осетр. Озеро является вторым по величине в России после Байкала и крупнейшим пресным водоемом Европы. Стратегическое значение Ладоги состоит в том, что она является источником централизованного питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения Санкт-Петербурга, ряда городов и населенных пунктов Ленинградской области и Республики Карелия. Геополитическое значение Ладожского озера заключается в том, что оно играет большую роль в формировании состояния Финского залива и оказывает определенное влияние на экосистему Балтийского моря. Кроме того, в условиях постоянного роста дефицита пресной воды в мире Ладожское озеро может рассматриваться как потенциальный резервуар для поставок питьевой воды в остро нуждающиеся регионы России и другие страны [Румянцев, 2012].

Исходя из вышесказанного, становится понятным, что индивидуальная часть мониторинга Ладожского озера должна быть ориентирована на получение информации, необходимой для безопасного водоснабжения жителей северо-запада России. Тем более, что нельзя исключать, что постоянное и длительное влияние ладожской воды на жителей территорий водосбора Ладоги является одной из важных причин роста заболеваемости населения и особенно детей [Федеральная служба…, 2013].

Следует подчеркнуть, что на современном этапе развития систем государственного мониторинга водных объектов в развитых странах мира практически произошло смещение акцентов от определения характеристик качества воды в сторону оценки безопасности водной среды как местообитания живых организмов. Первостепенное значение приобрели проблемы сохранения водных экосистем с водой пригодной для потребления человеком и для обитания промысловых гидробионтов. Для выявления границ между нормальным и регрессивным функционированием водных объектов целесообразно учитывать возможность перехода от нормативов ПДК токсичных веществ (ГН 2.1.5.1315-03) на экологически допустимые уровни (ЭДУ) нарушающих воздействий. Действительно, нормативы ПДК устанавливаются в стационарных лабораторных условиях по биотестированию путем анализа зависимостей “доза-эффект” без учета того, что в природных экосистемах нет изолированного действия множества факторов, каждый из которых по отдельности или в совокупности влияют на каждую биологическую характеристику. Экологическая неэффективность методологии ПДК преодолевается в рамках биотической концепции экологического контроля. Закономерно, что сегодня в нашей стране созданы соответствующие базы данных, информационные системы и всё большее развитие получают методы биоиндикации и определения индексов, основанных на сапробности и видовой структуре гидробиологических сообществ [Баянов, 2013].

Тем временем в последние годы в качестве объективного индикатора состояния водной среды водоемов стал рассматриваться уровень сине-зелёного “цветения” воды. Известно, что сегодня в водоемах стали доминировать токсиногенные цианобактерии (сине-зелёные водоросли), которые при массовом размножении или “цветении” воды синтезируют особо ядовитые токсины. При “цветении” нарушается атмосферная аэрация воды, образуются цианотоксины, происходят

заморы рыб и гибель других гидробионтов, появляется неприятный запах и возникает опасная для здоровья человека экологическая ситуация. За счет интенсивного размножения цианобактерий происходит повышение значений водородного показателя (pH) воды. В щелочной среде возникают на редкость благоприятные условия для развития вирусов полиомиелита, холерного вибриона и размножения различных патогенных микроорганизмов. К сожалению, даже в воде Ладоги с 2004-2005 годов стали фиксировать цианотоксины [Voloshko, 2008].

В этой связи в ИНОЗ РАН оцениваются возможности on line применения новой мультисенсорной системы "электронный язык" по определению токсичности естественной воды [Kirsanov, 2014], интерпретируются результаты аэрокосмических наблюдений во времени над объектами накопленного экологического ущерба и осуществляется идентификация наноразмерных частиц, влияющих на здоровье населения в бассейне Ладожского озера [Перспективные направления…, 2015].

Естественно, что государственный мониторинг других крупнейших водоёмов России будет иметь свои индивидуальные особенности, обусловленные геохимическими особенностями ландшафта и уровнем антропогенного воздействия, и может быть оптимизирован в другом ключе. По-видимому, для каждого крупного водоёма должны быть разработаны свои индивидуальные небольшие сборники методик мониторинга, что позволит быстро, экономично и продуктивно наладить работу по реализации нового государственного мониторинга крупнейших водоемов России. В целом, пора научиться смотреть правде в глаза и соизмерять желания с возможностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баянов Н.Г. ООПТ и совершенствование мониторинга водных экосистем в России // Астраханский вестник экологического образования, 2013. – №4 (26). – С. 82–88.

Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2012 году (Статистический сборник) / под ред. Н.Г. Рыбальского и А.Д. Думнова – М.: НИА-Природа, 2013. – 285 с.

Ладога / под ред. В.А.Румянцева и С.А.Кондратьева – СПб: Нестор-История, 2013. – 468 с.

Перспективные направления развития науки в Петербурге / отв. ред. Ж.И.Алферов, О.В.Белый, Г.В.Двас, Е.А.Иванова – СПб: Изд-во ИП Перминов С.А., 2015. – С. 251–294.

Румянцев В.А., Игнатьева Н.В. Система ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на водоемах – СПб: ВВМ, 2006. – 152 с.

Румянцев В.А. Ладожское озеро: экологические проблемы, причины, пути решения // Региональная экология, 2012. – №1-2 (33). – С. 7–13.

Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Здравоохранение в России – 2013. Москва. 2013. – Табл. 2.23 и 2.66.

Kirsanov D., Legin A., Legin E., Zagrebin A., Ignatieva N., Rybakin V. Mimicking daphnia magna bioassay performance by an electronic tongue for urban water quality control // Analytica Chimica Acta. 2014. – V. 824. – P. 64–70.

Voloshko L., Kopecky J., Safronova T., Pljusch A., Titova N., Hrouzek P., Drabkova V. Toxins and other bioactive compounds produced by cyanobacteria in Lake Ladoga // Estonian Journal of Ecology, 2008. — V. 57. — №2. P. — 100–110.

NEW PARADIGM OF THE STATE MONITORING OF THE LARGEST RESERVOIRS OF RUSSIA ON THE EXAMPLE OF LAKE LADOGA

Rumyantsev V.A., Kryukov L.N.

Institute of Lymnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia, lake@limno.org.ru

ABSTRACT

On the example of Lake Ladoga the analysis of performance of the state monitoring on the largest reservoirs of Russia is carried out and offers on its correction are formulated.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Веницианов Е.В.

Институт водных проблем РАН, Москва

eugeny.venitsianov@gmail.com

Выполнен анализ современного состояния системы управления водоохранной деятельностью в России. Сформулированы основные проблемы. Даны предложения по реформе системы охраны вод.

Охрана водных объектов состоит из двух компонентов: это часть системы управления водохозяйственным комплексом (ВХК) и совокупность мероприятий и технологий.

Управление охраной вод включает следующие направления:

– законодательная и нормативно-правовая система;
– организационно-экономическая система;
– системы мониторинга и контроля.

Система управления ВХК является многоуровневой и состоит из нескольких "вертикалей" управления: Минприроды РФ, Минсельхоз РФ, МЧС России, Минстрой России, Росрыболовство, Ространснадзор и др.

Функциональная схема межведомственного взаимодействия по осуществлению функций госуправления ВХК России представлена в таблице.

Современные проблемы управления ВХК, определяющие малую эффективность управления водоохранной деятельностью:

– центральная проблема – разграничение полномочий в структуре управления и согласование принимаемых решений разными органами;
– пересечение бассейнового и территориального принципов управления;
– остаточный принцип финансирования водоохранных мероприятий;
– верхние звенья управления оказываются нагруженными многими мелкими вопросами принятия решений, к тому же часто не исполняемыми, а нижние звенья не располагают

Таблица. Функциональная схема межведомственного взаимодействия по осуществлению функций госуправления ВХК России

ФУНКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ	РОСВОДРЕСУРСЫ	РОСГИДРОМЕТ	РОСНЕДРА	РОСПОТРЕБНАДЗОР	РОСПРИРОДНАДЗОР	РОСТЕХНАДЗОР	РОСТРАНСНАДЗОР
Государственный мониторинг водных объектов	+	+	+				
Госконтроль за использованием и охраной водных объектов					+	+	
Информационное обеспечение госуправления использованием и охраной водного фонда	+	+	+	+			
Надзор за безопасностью ГТС						+	+
Управление качеством среды через нормирование воздействий на водные объекты	+					+	

ни полномочиями, ни средствами для осуществления необходимых водохозяйственных мероприятий;

– для осуществления единой политики уполномоченный орган в области использования и охраны водного фонда наделен недостаточными полномочиями;
– устаревшее и противоречивое состояние нормативно-правового обеспечения;
– слабый экономический подход в управлении водным хозяйством: в отрасли до сих пор отсутствуют эффективные экономические отношения. Используются всего две категории: недифференцированный, по эффективности использования воды как ресурса, водный налог на хозяйствующие субъекты и плата за загрязнения, цель которой – сугубо фискальная. Отсутствует стимулирующая роль платы за пользование водными объектами и за загрязнение. Парадокс: наполняемость бюджетов за счет платного водопользования тем выше, чем больше объем загрязнений и объем водозабора. Не используются экономические механизмы сокращения водоемкости производства и снижения объема загрязнений, хотя в мировой практике известно множество механизмов стимулирования такой деятельности водопользователей.

Законодательная и нормативно-правовая система охраны вод в России примитивна и противоречива. Отметим следующие недостатки:

– отсутствует направленность на генеральную цель охраны: непрерывное улучшение состояния водных ресурсов России за счет охраны водных объектов;
– отсутствуют обоснованные и удобные для использования критерии оценки эффективности водоохраны. Используются явно неадекватные или просто вредящие делу критерии, например, единая для всей страны система ПДК для водных объектов рыбохозяйственного использования. Существующие и затратные по вложенным средствам нормативы допустимых воздействий научно плохо обоснованы, поэтому базирующиеся на них Схемы комплексного использования и охраны водных объектов практически не используются в реальном управлении водными ресурсами и их охране.
– переход к системе наилучших доступных технологий (НДТ), т.е. к технологическому нормирования, мог бы стать “революцией” в системе водоохраны, но движение в этом направлении происходит по обычным законам “чиновничьего” управления, т.е. формально. Ключевые элементы этой новой системы, в первую очередь разработка справочников НДТ, происходит в Росстандарте, т.е. находятся на задворках системы управления. Кроме того, параллельно должна вестись работа по созданию экономического и организационного механизма новой системы, чего не делается;
– в Водном кодексе РФ предусмотрены возможности разработки и использования региональных нормативов как качества воды, так и платежей. Однако, по-прежнему действуют федеральные нормативы для всех регионов, водных объектов и хозяйствующих субъектов, что делает охрану вод неэффективной и порождает коррупцию;
– очевидным недостатком системы регулирования нагрузки на водные объекты является выделение системы приоритетных компонентов, что не предусмотрено в нормативно-правовых актах;
– в печальном состоянии находится система мониторинга и контроля. Концепция этих важнейших инструментов управления охраной вод была разработана 50–40 лет назад и до сих пор не выполняет основную функцию – быть информационным инструментом водоохраны, причем, прежде всего, в оперативном режиме. Эта функция совершенно не развита. Отсюда неизбежность крупных ущербов от кратковременно развивающихся событий, таких как аварийные выбросы загрязняющих веществ, наводнения и пр.;
– отсутствует работа по ликвидации накопленного экологического ущерба на водных объектах;
– проблема охраны трансграничных водных объектов. В Водном кодексе РФ отсутствует понятие “трансграничные водные объекты”, не определены полномочия органов исполнительной власти, их компетенции. Межгосударственные соглашения имеют декларативный характер, отсутствуют конкретные обязательства сторон и способы контроля, механизм разрешения споров и согласования противоречий. Правовой статус соглаше-

ний не приводит к возникновению у стран – участниц юридических обязательств прямого действия. Отсутствует механизм финансового обеспечения Соглашений.

Общая характеристика управления водоохранной деятельностью:

– бассейновый подход в управлении наиболее эффективен и используется большинством стран;
– в большинстве стран используется централизованный принцип управления ВХК и управление осуществляется на двух, и чаще – на трёх уровнях: национальном, региональном, местном. Предусмотрено четкое разделение полномочий по уровням управления и процедуры согласования решений на разных уровнях управления;
– в некоторых странах (Бразилия, Германия) используется передача некоторых законодательных полномочий на уровень земель (штатов), при условии недопущения противоречий с положениями федеральных законов;
– переход к интегрированному управлению охраной вод, что означает комплексную охрану поверхностных, подземных и возвратных вод в пределах каждого водного бассейна, обязательную координацию всех видов водопользования и всех участвующих в управлении министерств, ведомств и водопользователей; обязательное участие представителей науки, общественности и субъектов водопользования в планировании и реализации решений; прозрачность планируемых и реализуемых мер водоохраны; экономическую устойчивость системы водоохраны;
– решение проблемы охраны вод от диффузного и неконтролируемого стока загрязнений – новая сфера, практически не прорабатываемая в России. Механизм решения проблемы – идентификация источников диффузного и неконтролируемого стока и разработка программ ограничения за счет принципов НДТ и наилучших практик хозяйствования.

Экономика страны переживает кризис. Казалось бы, нельзя говорить об увеличении финансирования мероприятий по охране вод, но решение – очевидно: “Вода должна охранять воду” – вот девиз нормальной системы водоохраны. Платежи должны не идти напрямую в бюджет и там размываться в ряду других налогов и платежей, а целенаправленно использоваться, как это делается во многих “благополучных” странах.

Проблема повышения эффективности охраны вод России должна решаться не прямыми инвестициями, а реформой системы использования и охраны вод, примерно так, как это сделано в развитых странах за последние 20–30 лет.

Для совершенствования системы управления водоохранной деятельностью предлагается:

– четкое разграничение полномочий между различными уровнями и “вертикалями” системы государственного управления ВХК с исключением практики дублирования полномочий;
– создание системы эффективной координации деятельности государственных органов федерального и регионального уровней, осуществляющих государственное регулирование в области водопользования и водоохраны, предотвращения чрезвычайных ситуаций на водных объектах;
– разработка регламента взаимодействия органов управления разного уровня (бассейнового, субъектного и муниципального);
– укрепление бассейнового звена государственного управления, передача реальных полномочий в сфере водоохраны;
– разработка процедур согласования управленческих решений федерального и субъектного уровней;
– совершенствование нормативно-методического обеспечения в сфере защиты вод от загрязнения, в том числе диффузного;
– разработка регламента финансового обеспечения водохозяйственных мероприятий на субъектном и муниципальном уровне;
– включение управления питьевыми подземными водами в компетенцию Росводресурсов и его бассейновых структур;
– увеличение финансирования водохозяйственных и водоохранных мероприятий;
– создание системы водохозяйственного мониторинга путем расширения программ наблюдений в существующей системе и создания новых постов, особенно в зонах высокого риска.

Технологический уровень водоохраны, в основном, должен решаться в рамках принципа НДТ. Однако до сих пор отсутствует системный подход к его реализации. Имеется представление, что достаточным является законодательное декларирование этого перехода и разработка некоторого числа справочников (аналогов BREF – Best available technique reference documents). Опыт развитых стран показывает, что эти документы – всего лишь вершина айсберга нового подхода к охране вод.

MODERN PROBLEMS OF THE WATER RESOURCES PROTECTION

Venitsianov Ye.V.

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, eugeny.venitsianov@gmail.com

ABSTRACT

The paper focuses on the analysis of the state of the modern system of the water protection system in Russia. The main problem are defined, and the suggestions of the water protection system modification are given.

ПОДЗЕМНЫЕ РАСТВОРЫ – ОСНОВНАЯ СРЕДА ОБРАЗОВАНИЯ СЛОЖНОСТЕЙ

Шварцев С.Л.

Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Томск

tomsk@ipgg.sbras.ru

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

gige_ignd@mail.ru

В статье показано, что вода играет основную роль в процессах эволюции окружающего мира, его непрерывном усложнении и формировании разнообразия. Новые соединения при обычных температурах и давлении образуются только в водных растворах, в которые химические элементы поступают из разных источников.

В 1802 г. известный французский ученый Ж.Б. Ламарк впервые в мировой истории написал и издал книгу “Гидрогеология”, в которой наряду с простыми соединениями ввел понятие о сложных веществах (matières composès), к которым отнес разнообразные органические и минеральные образования, способные непрерывно усложнять свой состав. Внимательно изучая окружающую Природу (так раньше называли окружающий мир), Ж.Б. Ламарк пришел к выводу, что основная тенденция Природы заключается в непрерывном разрушении сложных соединений в более простые. Но тогда возник вопрос: откуда же берутся сложные вещества или сложности? Решая этот вопрос Ж.Б. Ламарк пришел к выводу, что сложности образуются только в живых организмах под действием неизвестных науке сил. Соответственно, сложности в минеральном царстве (по его мнению) образуются только с помощью живых существ. Силу, созидающую сложности Ж.Б. Ламарк назвал “властью жизни” (pouvoir de la vie). Так возникла проблема образования сложностей в науке, которая и сегодня не решена.

Современное учение о механизмах образования сложностей развивается в основном по $2^{м}$ направлениям. Первое из них опирается на законы синергетики и представляет собой теорию возникновения у целого таких свойств, которыми не обладают его части. В соответствии с положениями синергетики в мире существует большой класс диссипативных структур. Развиваясь в сильно неравновесных условиях и активно взаимодействуя с внешней средой с поглощением энергии, эти структуры при определённых обстоятельствах могут переходить в более сложные динамические состояния, совершать скачок от хаоса к порядку. Для диссипативных структур характерны нелинейное развитие, необратимость эволюции, рост устойчивости, способность к последовательной смене упорядоченных состояний и их непрерывному усложнению при условии получения из внешней среды бóльшей энергии по сравнению с той, что требовалась для поддержания предыдущего состояния [Пригожин, Стенгерс, 2003, Николис, Пригожин, 2008]. По Пригожину, сложности формируются не только в биологических, но и в физических, механических, химических, геологических и других системах. В противовес идеям Ламарка в синергетике утверждается, что сложности в биологии возникают не в результате действия таинственной силы, а являются следствием длительной самоорганизации физико-химических систем путём непрерывного усложнения, накопления получаемой из внешней среды энергии и, как следствие, приобретения дополнительной информации. Делается заключение, согласно которому “вероятнее всего, переходы, опосредованные химическими веществами и приводящие к нарушению симметрии, являются одним из ключевых свойств жизни” [Николис, Пригожин, 2008, с. 47].

Подавляющее большинство биологов, наоборот, придерживается взглядов, что сложности образуются только в живых системах и усложнение характерно исключительно для жиз-

ненных процессов. Но вопрос о силах, направляющих эволюцию в сторону непрерывного усложнения остается открытым.

Отвергнув идею жизненной силы Ламарка, Ч. Дарвин предложил в качестве движущего фактора эволюции естественный отбор, который Р. Докинз считает единственным из известных нам способов получения сложного из простого. Докинзу можно возразить, что естественный отбор так же, как жизненная сила Ламарка, оставляет не прояснёнными механизмы, лежащие в основе процесса усложнения вещества: каковы фундаментальные законы естественного отбора, неясно до сих пор. Теория естественного отбора опирается на представление о случайности (случайные мутации), но, когда речь идёт о таком масштабном, в высшей степени устойчивом, многоплановом и разнообразном явлении, как эволюция жизни, трудно поверить, что оно развивается не по каким-то законам, а обязано своим появлением и продолжительным существованием исключительно действию случайных факторов.

Но современная биология базируется главным образом на естественном отборе Дарвина. Так, широко известный биолог А.В. Марков (2010) считает, что Дарвин был прав, предположив, что творцом поразительной приспособленности и волнующего разнообразия живых существ является естественный отбор небольших наследственных изменений. По его же мнению в основе размножения и усложнения лежит способность молекул ДНК и РНК к копированию или репликации. ДНК – ведущий фактор всей биологической эволюции, которая без случайного отбора невозможна. Эволюция шла естественным путем миллионы лет от мертвой материи до живой клетки с постепенным усложнением последней, но без метода проб и ошибок она обойтись не могла. Но каков механизм усложнения эволюции так и остается загадкой. Расшифровка структуры ДНК и генетического кода эволюции в этом плане ничего не прояснили, поскольку неизвестно как образовалась сама ДНК, откуда взялось все живое и, что главное, механизм эволюции (усложнения) не раскрыт.

Дарвинизм не даёт также ответа на вопрос о времени начала эволюционного процесса, а его возникновение описывается как разовое и случайное событие. Докинз, один из наиболее активных пропагандистов учения Ч. Дарвина, пишет по этому поводу: "*Свидетельств относительно момента начала эволюции на планете у нас нет*. Это могло быть событие невероятной редкости: ведь произойти оно должно было лишь однажды, и, насколько мы знаем, так это и есть. Более того, возможно, оно произошло единственный раз во Вселенной" (курсив мой. – С.Ш.) [Докинз, 2013, с. 429].

На наш взгляд причина сложившегося в современной науке положения заключается в игнорировании роли воды в усложнении и эволюции окружающего мира. Всем известно, что жизнь создана водой, но механизм этого уникального и грандиозного явления не изучается ни геологами, ни биологами. Те же ученые, которые занимаются водой, подходят к этой воде с узких позиций и не видят, например, связи между геологической и биологической эволюцией, хотя все живое развивается в геологической среде.

В последние годы нами показано, что система вода – горная порода обладает свойствами диссипативных структур и способна к геологически длительной эволюции [Шварцев, 2007]. При этом такая геологическая эволюция по некоторым свойствам напоминает биологическую. Поэтому нами сделан вывод, что глобальная эволюция на нашей планете началась с момента появления воды и заключалась в строго направленном процессе взаимодействия воды с горными породами, а именно с базальтами, которые образовали нашу планету [Шварцев, 2010]. Рассмотрим эту проблему несколько подробнее.

Ранее нами уже показано, что система вода – порода повсеместно в пределах земной коры имеет равновесно-неравновесный характер: вода всегда неравновесна к одним минералам, которые непрерывно растворяет, но равновесна к другим – образующимся в этих условиях. Среди первых преобладают минералы эндогенного генезиса, среди вторых – экзогенного, то есть сформированные водой. Важно, что в первую группу входят минералы, с которыми установить равновесие в реальных природных условиях в принципе невозможно, прежде всего, силикаты и алюмосиликаты кальция, магния и железа – основные минералы базальтов, изначально образововавших нашу планету [Шварцев, 2012].

Следствием равновесно – неравновесного состояния системы вода – порода является грандиозный процесс преобразования одних пород в другие, мобилизации и выноса мно-

гих химических элементов, образования новых минералов, геохимических типов воды, геохимических сред и т.д.

Постоянная неравновесность подземных вод к изначально составляющим земную кору минералам обеспечивает непрерывное их растворение, накопление в воде химических элементов, перераспределение их связей между собой и, наконец, через строго определённое время после начала взаимодействия осаждение новых минералов в точном соответствии с законами термодинамики. Первыми образуются наименее растворимые соединения, следом за ними – всё более и более растворимые.

Важно подчеркнуть, что формируемые вторичные минералы по основным своим параметрам – составу, структуре, консистенции, твёрдости, удельному весу и т.д. – принципиально отличаются от минералов, растворяемых водой. Они являются продуктом эволюции раствора, то есть сформированы водой в результате изменения химических связей между элементами в растворе и относятся к новым, ранее на Земле не встречавшимся соединениям, таким как карбонаты, глины, цеолиты, оксиды, сульфаты и т.д. При этом среди вновь образуемых соединений встречаются более сложные по сравнению с растворяемыми. К ним, например, относятся глины, цеолиты, хлориты и др. Ключевой стадией образования всех вторичных минералов является взаимодействие горных пород с водой, потому что химические элементы активны только в растворе. Происходящий при этом рост его солености и плотности, усложнение состава ведут к изменению физических свойств и структуры воды. В результате на определённом этапе эволюции в соответствии с законом действия масс в растворе появляется зародыш наиболее труднорастворимого соединения. Появление твёрдой фазы ещё больше усложняет систему, поскольку в ней возникает принципиально новый компонент, в свою очередь меняющий состав, структуру, плотность раствора, ход реакций, движение и связи молекул. Кроме того, на данном этапе вместе с зародышем возникает особый граничный слой между раствором и твёрдой фазой. Свойства этого слоя отличны от свойств как раствора, так и твёрдого тела. Этот слой представлен водой, находящейся под действием сил поверхностного натяжения и поэтому называемой физически связанной.

Возникновение с образованием твёрдой фазы промежуточного слоя – обстоятельство исключительной важности, поскольку этот слой оказывает прямое влияние на состав и структуру, как образуемого минерала, так и водного раствора, изменяя микропотоки воды в местах нуклеации, концентрацию вещества в растворе, поверхностное натяжение, микротеплопроводность, электропроводность и другие параметры. Такой эффект вызван тем, что “в промежуточном слое в буквальном смысле слова поддерживается неравновесная фаза вещества (называемая также мезофазой)» [Николис, Пригожин, 2008, с. 254].

Поскольку с появлением зародыша, процессы растворения исходных пород не прекращаются, раствор непрерывно усложняется и на определенной стадии эволюции системы появляется второй зародыш, затем третий и т.д. [Шварцев, 1998]. Описываемые процессы являются необратимыми, поскольку возврата к исходному растворяемому водой минералу нет, как нет возврата и к исходному, более простому составу воды. Необратимость, как известно, является источником порядка на всех уровнях и неотъемлемым признаком диссипативных систем [Пригожин, Стенгерс, 2003], к которым мы относим и систему вода–порода. Кроме того, необратимость – свойство, тесно связанное с увеличением сложности системы и передачей информации. Всё это ещё раз подчёркивает важность необратимых процессов в ходе образования сложностей в водных средах.

Следовательно, с появлением воды на Земле в неживой природе началась строго направленная абиогенная эволюция, которая, в конечном счете, привела к созданию земной коры, тысяч новых твёрдых минералов, новых типов горных пород и формаций, новых геохимических типов воды или новых “минералов воды” [Вернадский, 2003]. Так шло формирование окружающей нас среды, нового мира, отличающегося всё большей сложностью на каждом последующем этапе своего развития.

Принципиально важно, что все минеральные соединения этого возникающего мира зародились в водном растворе в соответствии с законами термодинамики. Образование зародышей твёрдых фаз отличается строгой последовательностью: каждый химический ион на определённом этапе эволюции находит себе противоположный по знаку анион (или их груп-

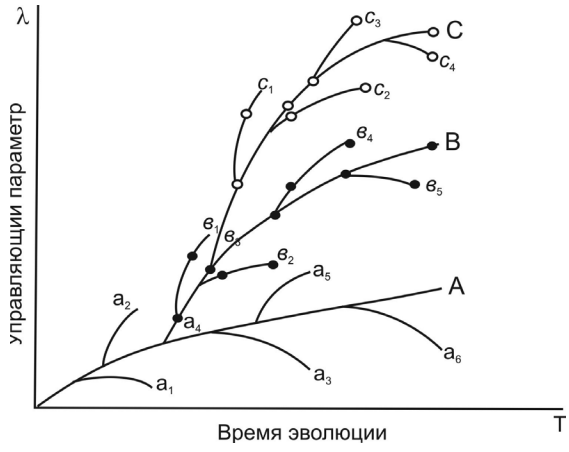


Рисунок. Схема последовательного усложнения состава водного раствора в ходе глобальной эволюции
***Материнские системы*: *A* – "вода – порода"; *B* – "вода – растения"; *C* – "вода – животные"**
***дочерние системы*: a_1– a_n-ветви A; b_1- b_n-ветви B; c_1–c_n-ветви C**

пу), объединяясь с которым образует зародыш твёрдой фазы. При этом именно состав раствора контролирует время, место и состав каждого зародыша. Тем самым возникают новые дочерние диссипативные системы, усложняющие мир. Таким путем на нашей планете сформировано несколько сложных систем, обеспечивающих образование новых (дочерних) систем (царств). Назовём три наиболее крупные такие системы [Шварцев, 2014].

Первая система – "вода – порода", положившая начало абиогенной эволюции, в ходе которой из базальтов сформировалось разнообразное по составу минеральное царство, представленное многочисленными гидрогенно-минеральными комплексами [Шварцев, 2007, 2012].

Вторая система – "вода – растительное органическое вещество", начавшая формироваться с появлением фотосинтеза. Включившись в климатический круговорот воды, органические соединения образовали биологический круговорот: корни растений, питаясь подземной водой определённого состава, доставляют её в область взаимодействия с продуктами фотосинтеза, обеспечивая образование органических соединений, формирующих корни, ствол, кору, листья, цветы, плоды самого растения. В этом случае система вода – растение функционирует в области, далёкой от равновесия, однако новые органические соединения возникают в растворе в условиях равновесия с той водой, которая непрерывно циркулирует в пределах растения, создавая различные биогенные среды.

Третья, наиболее крупная и значимая система – "вода – органическое вещество животных". Она подобна системе вода – растение, хотя отличается от неё способом получения воды и пищи. Животные, в отличие от растений, питаются не только водой, но и твёрдой пищей, у них имеется развитый желудочно-кишечный тракт для перевода принимаемой пищи в растворённое состояние. Получая вещества (питание), находящиеся в неравновесном состоянии с его биохимической средой, организм перерабатывает их – растворяет со всеми вытекающими отсюда последствиями. Только в растворённом состоянии ионы и молекулы поступают в главную часть организма, у теплокровных животных и человека – в кровь. Таким образом, организм непрерывно получает в растворённом виде разные химические элементы, органические соединения, включая сложные молекулы, воздух и т.д. Увеличение концентрации в водной среде организма (в крови) разных соединений обеспечивает образование зародышей многочисленных сложнейших органических и органоминеральных веществ в строгом соответствии с законами термодинамики и по тем же принципам, которые регулируют образование вторичных минералов в минеральном царстве. Здесь главным фактором также выступает состав раствора, а все формирующиеся в этих условиях вторичные образования равновесны со средой, в которой рождаются и потому остаются устойчивыми в течение определённого времени.

Итак, каждая из трёх природных систем (царств), включая человека, создаётся водой путём взаимодействия с горными породами, газами и органическим веществом. Именно вод-

ный раствор в силу особых свойств представляет собой уникальную физико-химическую и биологическую среду, в которой ионы, молекулы, клетки получают возможность формировать новые, ранее не существовавшие на Земле твёрдые соединения, становящиеся, по мере усложнения состава раствора в ходе его эволюции в открытых, неравновесных, нелинейных и необратимых системах, всё более сложными (см. рисунок). При этом эволюцию водного раствора можно разделить на три этапа: на первом усложнение происходит за счёт растворения горных пород (на рисунке ветвь А), на втором добавляется взаимодействие с продуктами фотосинтеза (ветвь В), на третьем – процесс растворения поступающей в организм животного и человека пищи (ветвь С). Таков, по нашему мнению, основной механизм усложнения раствора, а значит, и всего окружающего мира, включая ноосферу В.И. Вернадского. Без воды никакое усложнение невозможно, следовательно, эволюция вещества на Земле является результатом непрерывного усложнения состава водной среды и отдельных вторичных продуктов, строительным материалом для которых первоначально выступают вода, горные породы и газы (CO_2, N_2, O_2 и др.), а затем – органическое вещество.

Сказанное показывает, что вода определила происхождение жизни и ее эволюцию. Поэтому мы считаем, что жизнь – это форма это форма существования не белковых тел, а сложных по составу и структуре водных растворов, а модель глобальной эволюции основана на механизмах взаимодействия воды с горными породами, газами и органическим веществом. Главной причиной эволюции и усложнения мира выступает равновесно-неравновесное состояние природных водных систем, главным фактором – время взаимодействия ведущих компонентов этих систем с водой, управляющим параметром – состав воды, термодинамической переменной – разность констант химических реакций взаимодействия [Шварцев, 2013].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вернадский В.И. История природных вод. – М.: Наука, 2003. – 750 с.

Докинз Р. Самое грандиозное шоу на Земле. Доказательства эволюции. – М.: Астрель: Corpus, 2013. – 496 с.

Марков А.В. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня: неожиданные открытия и новые вопросы. – М.: Астрель: Corpus, 2010. – 527 с.

Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Изд.3^{e}, доп. – М.: ЛКИ, 2008. – 352 с.

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. Изд. 4-е. – М.: УРСС, 2003. – 312 с.

Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. Изд. 2^{e} испр. и доп. – М.: Недра, 1998. – 367 с.

Шварцев С.Л. Прогрессивно самоорганизующиеся абиогенные диссипативные структуры в геологической истории Земли // Литосфера, 2007. – №1. – С. 65–89.

Шварцев С.Л. С чего началась глобальная эволюция? //Вестник РАН, 2010. – №3. – С. 235-244.

Шварцев С.Л. Внутренняя эволюция геологической системы вода-порода//Вестник РАН, 2012. – №3.–С.242–251.

Шварцев С.Л. Вода как главный фактор глобальной эволюции // Вестник РАН, 2013. – Т.83. – №2. – С. 235–244.

Шварцев С.Л. Как образуются сложности?//Вестник РАН, 2014. –Т. 84. – №7. – С. 618–628.

UNDERGROUND SOLUTIONS – MAINLY AMONG EDUCATION DIFFICULTY

Shvartsev S.L.

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and geophysics of Siberian branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk Division, Tomsk, Russia, tomsk@ipgg.sbras.ru

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, gige_ignd@mail.ru

ABSTRACT

The article shows that water plays a major role in the evolution of the world, its complexity and the continuous formation of diversity. The novel compounds at ordinary temperatures and pressures are only formed in the aqueous solution in which chemical elements come from different sources.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНЫХ ВОД ЗЕМЛИ

Зверев В.П.

Институт геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН, Москва

zverev@geoenv.ru

Развивается выдвинутое В.И. Вернадским представление о единстве и подвижности природных вод Земли. Дана сравнительная оценка количественных моделей глобальных циклов водообмена, включая океанический, климатический, поверхностный, биологический, ледниковый, подземный, литосферный и геологический циклы водообмена, что позволяет глубже понять роль воды в развитии основных природных процессов и эволюции Земли.

В классической монографии "Истории природных вод" В.И. Вернадским (1960) впервые была поставлена проблема всестороннего изучения природных вод образующих единую, находящуюся в постоянном круговороте Гидросферу Земли. Важнейшим положением, выдвинутым В.И. Вернадским и поддержанным Б.Л. Личковым (1960) является представление о единстве природных вод Земли, подвижность которых обусловливает их глобальные круговороты, включая подземный цикл.

По сложившейся с середины прошлого века традиции, отдельные циклы водообмена исследуются самостоятельными научными направлениями, в которых воду рассматривают как среду и движущую силу природных явлений и процессов, реализуемых на Земле. Наиболее полно изучен водный баланса и круговорот поверхностной гидросферы в [Мировой…, 1974; Клиге и др., 1998; Котляков, 2004].

На основании большого фактического материала автором [Зверев, 2011, 2013] были созданы глобальные количественные модели содержания воды в земной коре и массопереноса подземных вод, включая их участие в процессах рифтогенеза и субдукции. Все это натолкнуло автора на идею попытаться подойти к объединению отдельных количественных моделей круговорота природных вод в единое целое, которое позволит глубже понять роль воды в эволюции Земли. Автор, конечно, отдает себе отчет в том, что его претензии на такой подход могут выглядеть достаточно дилетантскими, но их необходимость заставляет пойти на риск, обоснованный на более чем полувековой работе в институтах Академии наук.

Важнейшим свойством воды и пара является их текучесть. В этом случае, воду и пар, отвлекаясь от их молекулярного строения, рассматривают как сплошную среду, непрерывно распределенную в занятом ими пространстве, подвижность, которой во многом зависит от условий их нахождения на поверхности, в толще земной коры или в атмосфере. Твердая фаза воды – лед – менее, но, все же, достаточно подвижен, т.к. его существенной особенностью является пластичность и способность течь под давлением верхних частей его массы на нижележащие. Подвижность воды в породах земной коры и биологических телах во многом зависит от поверхности, отделяющей ее от другой среды. Так поверхностные пленки на минералах имеют большую подвижность, а в живых организмах взаимодействие воды с поверхностью обусловливает перенос воды по капиллярам. Перераспределение воды между клетками биологических объектов, происходит осмотическим и диффузионным путями через плазматические мембраны и обеспечивает обмен веществ.

Представление о единстве и подвижности природных вод Земли, обусловливающей их глобальные круговороты, сравнительная оценка количественных моделей которых, включая атмосферный, поверхностный, ледниковый, подземный, океанический и биологический циклы водообмена, дает возможность глубже понять роль воды в развитии основных природных процессов и эволюции Земли.

Приведенные в таблице 1 количественные параметры системы природных вод Земли дают возможность подойти к сравнительной их оценке.

Таблица 1. Количественные параметры системы природных вод Земли

ЦИКЛ ВОДООБМЕНА	ГЕОСФЕРА	ЭЛЕМЕНТ ГЕОСФЕРЫ	МАССА ВОДЫ Г.	МАССОПОТОК Г/ГОД
Климатический	Океан	Испарение	$1{,}37{\cdot}10^{24}$	$505{,}4{\cdot}10^{18}$
		Внутренний перенос		$20{,}0{\cdot}10^{21}$
		Гидротермальный процесс		$0{,}18{\cdot}10^{18}$
	Атмосфера	Испарение, перенос, осадки	$12{,}9{\cdot}10^{18}$	$565{,}4{\cdot}10^{18}$
	Суша	Речной сток	$2{,}1{\cdot}10^{21}$	$44{,}7{\cdot}10^{18}$
	Криосфера	Ледники	$24{,}0{\cdot}10^{21}$	$3{,}06{\cdot}10^{18}$
		Многолетнемерзлые породы	$0{,}3{\cdot}10^{21}$	$0{,}24{\cdot}10^{18}$
Биологический	Биосфера	Растительность, транспирация	$18{,}37\cdot10^{18}$	$20{,}0{\cdot}10^{18}$
		Фотосинтез	$18{,}37\cdot10^{18}$	$0{,}43{\cdot}10^{18}$
		Океанический планктон	$0{,}004{\cdot}10^{18}$	$20{,}0{\cdot}10^{18}$
Гидрогеологический	Свободные подземные воды	Свободные активного водообмена	$1{,}37{\cdot}10^{21}$	$10{,}51{\cdot}10^{18}$
		Свободные замедленного водообмена	$21{,}4{\cdot}10^{21}$	$0{,}66{\cdot}10^{18}$
Геологический	Связанные воды континентальной и океанической коры	Освобождающиеся связанные воды осадочных пород	$108{,}9{\cdot}10^{21}$	$6{,}5{\cdot}10^{15}$
		Освобождающиеся воды гранитно-метаморфической оболочки	$141{\cdot}10^{21}$	$0{,}041{\cdot}10^{15}$
		Освобождающиеся воды осадков океанов	$63{,}8{\cdot}10^{21}$	$0{,}32{\cdot}10^{15}$
		Освобождающиеся воды вулканогенного и базальтовых слоев океанической коры	$195{\cdot}10^{21}$	$0{,}98{\cdot}10^{15}$
	Термальные воды рифтовых систем			$0{,}18{\cdot}10^{18}$
	Зона перехода от океана к континенту	Вулканические извержения		$0{,}115{\cdot}10^{15}$
		Парогидротермы		$4{,}0{\cdot}10^{15}$
Вода биосферы			$18{,}4{\cdot}10^{18}$	$40{,}4{\cdot}10^{18}$
Свободные воды гидросферы и верхов земной коры			$1{,}436{\cdot}10^{24}$	$21{,}14{\cdot}10^{21}$
Связанные воды земной коры			$0{,}509{\cdot}10^{24}$	$7{,}84{\cdot}10^{15}$
Связанные воды верхней мантии			$0{,}95{\cdot}10^{24}$	$0{,}38{\cdot}10^{15}$
Природные воды Земли			$2{,}895{\cdot}10^{24}$	

Массопотоки природных вод, возникающие в результате совместного влияния солнечной радиации, внутри земного тепла и гравитационного поля Земли, реализуются в ходе развития атмосферы, гидросферы и литосферы постоянно.

Следует отметить, что масса природных вод Земли, полученная автором, существенно отличается от общепринятой ($2{,}895{\cdot}10^{24}$ против $1{,}37{\cdot}10^{24}$ г), но в тоже время близка к значению полученным И.Д.Рябчиковым [Рябчиков, 1999], исходя из общих глобальных представлений об эволюции Земли.

Помимо классической триады циклов круговорота природных вод: климатического, биологического и геологического, выделены и оценены более узкие, генетические циклы существования и перераспределения природных вод, реализуемые на Земле и во многом определяющие ее эволюцию.

Это океанический круговорот, включающий внутренний водообмен океанов и гидротермальные циркуляционные системы рифтов; собственно климатический круговорот, объединяющий атмосферные и поверхностные воды; гидрогеологический – свободных подземных вод верхней части земной коры; геологический – освобождающихся связанных вод континентальной и океанической коры и, наконец, мантийный – восходящие в рифтовых системах и нисходящие в зоне субдукции потоки.

Показано, что массы свободных в основном поверхностных вод и связанных вод земной коры и верхней мантии достаточно близки, с некоторым преобладанием последних. В то же время, обусловливающие их массопотоки природных вод далеко неодинаковы. Для свободных вод они на три – четыре порядка быстрее, чем для освобождающихся связанных вод земной коры.

Оценка масштабов массопереноса природных вод показала, что для океанического и атмосферного циклов за время с начала фанерозоя они превышают массу Земли на два – три порядка, для поверхностной гидросферы континентов– на один порядок и для гидрогеологических структур массоперенос гравитационных свободных вод близки массе Земли. Масштабы массопереноса освобождающихся связанных вод геологической и океанической коры существенно ниже, но все же для континентальной и океанической коры они, считая с начала неогея, достаточно внушительны и близки к массе верхней мантии Земли.

Особое место занимает перенос воды в биосфере [Наумов, 2010], который соизмерим с массопотоками поверхностных и свободных гравитационных подземных вод. Это связано с тем, что хотя общая масса воды в живых организмах невелика, на несколько порядков меньше, чем находится в поверхностной и подземной гидросфере континентов, но время их полного водообмена на порядок и более выше.

Значителен и антропогенный водоотбор, который, в настоящее время стал соизмерим с массопотоком свободных подземных вод, составляя примерно его 40%.

Вся гидросфера Земли в своей эволюции прошла через этап дегазации протопланетного вещества. В отличие от других летучих соединений основная масса воды не покинула планету, а вошла, на ранних этапах развития Земли в результате процессов гидратации, в состав ее твердой фазы. Содержание воды в гипотетической примитивной мантии оценено И.Д. Рябчиковым (1999) равным ~0,1% ее массы, что составляет примерно $4 \cdot 10^{24}$ г. Им же сделан вывод, что, содержание H_2O в стёклах MORB (190 г/т) соответствует концентрации воды в деплетированной и дегазированной верхней мантии. Исходя из этого, в настоящее время в мантии должно находиться ~$1 \cdot 10^{24}$ г H_2O и около $3 \cdot 10^{24}$ г воды было дегазировано, значительная часть этой массы пошла на формирование поверхностной и подземной гидросфер и порядка $1 \cdot 10^{24}$ г H_2O было диссипировано в космическое пространство. Показано [Сорохтин и др., 2010], что максимальная скорость дегидратации мантии ($1{,}25 \cdot 10^{15}$ г/год), приходилась на начало протерозоя (2,5 млрд. лет т.н.), постепенно снизившись до $0{,}26 \cdot 10^{15}$ г/год в современную эпоху. Средние темпы выделения воды за это время составляют $0{,}75 \cdot 10^{15}$ г/год.

Сравнительный анализ распределения воды на планетах земной группы показал, что температурный режим Земли позволяет вот уже более 3 млрд. лет существовать поверхностной гидросфере и мощным круговоротам воды, захватывающим земную кору и верхнюю мантию. Вулканическая активность на Земле происходит в течение всей ее истории и, в отличие от других планет, на ней реализуются процессы тектоники плит, включающие рифтинг, дрейф литосферных плит и субдукцию.

Развитие гидротерм, сопровождающих вулканизм, рифтогенез и субдукцию, обычно рассматривают как вторичный продукт этих процессов. Однако, приводимые в статье соображения, позволяют подойти к несколько иному, может быть неожиданному и парадоксальному выводу.

Время существования и особенности развития вулканизма на планетах земной группы и отсутствие процессов рифтинга и субдукции, определяющих тектонику плит позволяет заключить, что количество и особенности распределения воды на планете могут в определенной мере служить причиной ограничивающей возможность реализации этих процессов. Для их реализации необходимо постоянное участие определенных масс воды, поступающих из поверхностной гидросферы и водосодержащих горных пород океанической коры в зоны погружения плит для поддержания физических параметров горных пород, необходимых для конвекции в верхней мантии.

На Земле в срединно-океанических хребтах поступление воды в зону образования магм осуществляется в результате гидротермальной конвекции непосредственно из океанических вод. В зонах субдукции за поступление воды ответственен геологический литосферно-мантийный круговорот подземных вод океанической коры, в результате которого физически связанные воды осадочного и вулканогенно-осадочного слоев океанической коры погружаются под континентальную кору и, переходя в свободное состояние, участвуют в формировании гидротерм и в вулканизме островных дуг и активных континентальных окраин. Хи-

мически связанные воды базальтового слоя океанической коры в ходе дрейфа литосферных плит поступают в глубокие слои земной коры и верхнюю мантию [Файф и др., 1981] до глубины 400 км [Рябчиков, 1999], где, переходя в свободное состояние, перманентно поддерживают необходимые физические параметры горных пород и магматических расплавов, необходимые для конвекции в верхней мантии. В.П. Трубицын (2004) подчеркивает, что влияние воды на вязкость вещества мантии сравнимо с влиянием температуры.

На Земле процессы рифтогенеза и субдукции и соответственно дрейфа литосферных плит начались порядка 2,5 млрд. лет назад, после возникновения океанов и одновременно с образованием гидратированных осадочных и вулканогенных пород океанической коры.

Массы воды, поступившие в нижнюю часть земной коры и верхнюю мантию за время существования геологического круговорота подземных вод и реализации процессов дрейфа литосферных плит, составляют $0{,}947 \cdot 10^{24}$ г, что, соизмеримо с массами воды ($1 \cdot 10^{24}$ г) содержащимися в мантии и диссипированными в космическое пространство. Это дает возможность предположить, что геологический круговорот подземных вод, осуществляемый в ходе дрейфа литосферных плит, может являться механизмом, компенсирующим дегазацию верхней мантии, и поддерживающим содержание в ней воды на уровне необходимом для реализации процесса ее конвекции.

Таким образом, геологический круговорот подземных вод на Земле, захватывающий земную кору и мантию, в определенной степени может компенсировать дегазацию и дегидратацию Земли, позволяя поддерживать ее тектоническую активность в отличие от других планет в течение длительного периода, вплоть до настоящего времени.

Все изложенное в статье на количественной основе подтверждает выдвинутое В.И. Вернадским представление о единстве природных вод Земли, подвижность которых обусловливает их глобальные круговороты, определяющие развитие основных природных процессов и эволюцию Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т.2. История природных вод // Избранные сочинения. Т.4. Кн.2. –М.; Изд-во АН СССР, 1960. – С. 5–536.

Зверев В.П. Подземная гидросфера. Проблемы фундаментальной гидрогеологии. – М.: Научный мир, 2011. – 260 с.

Зверев В.П. Система природных вод Земли. –М.: Научный мир. 2013. – 312 с.

Клиге Р.К., Данилов. И.Д., Конищев В.Н. История Гидросферы. – М.: Научный мир, 1998. – 368 с.

Котляков В.М. Снежный покров и ледники Земли. – М.: Наука, 2004. – 448 с

Личков Б.Л. Природные воды Земли и литосфера. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 164 с.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 638 с.

Наумов Г.Б. Геохимия биосферы. М.: "Академия", 2010. – 384 с.

Рябчиков И.Д. Флюидный режим мантии земли // Вестник ОГГГГН РАН,1999.– №3(9). – С. 141–153.

Сорохтин О.Г., Чилингар Дж.В., Сорохтин О.Н. Теория развития Земли: происхождение, эволюция и трагическое будущее.– М.-Ижевск, ИКИ, 2010. – 752 с.

Трубицын В.П. Фазовые переходы, сжимаемость, тепловое расширение, теплоемкость и адиабатическая температура в мантии // Физика Земли. 2000.. – №2. – С. 3–16.

Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. – М.: Мир, 1981. – 436 с.

COMPARATIVE QUANTITATIVE EVALUATION OF PARAMETERS OF NATURAL WATERS OF THE EARTH

Zverev V.P.

Sergeev Institute of Environmental Geoscience, RAS, Moscow, Russia, zverev@geoenv.ru

ABSTRACT

The V.I. Vernadsky vision about of unity and mobility of the natural waters of the Earth is developed. A comparative evaluation of quantitative models of global water exchange cycles, including oceanic, climatic, surface, biological, glacier, subsurface water, lithospheric and geological cycles of water exchange have been done. This allows to understand better a role of water in development of basic natural processes and evolution of the Earth.

ОЗЁРА И ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ПРОШЛОГО: ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

Субетто Д.А.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

subetto@mail.ru

Представлен обзор палеолимнологических исследований, направленных на восстановление природно климатических условий по результатам изучения стратиграфии донных отложений озер Севера Евразии.

Донные отложения озер, среди других геологических архивов, являются летописями, в которых записана и сохранена информация о прошлых природно-климатических обстановках регионального и планетарного уровня с разрешением от тысячелетий и столетий до года.

В последние десятилетия развернулись активные научно-исследовательские работы по изучению стратиграфии донных отложений озер Севера Евразии и реконструкции палеогеографических и палеоклиматических обстановок прошлого. Следует отметить такие международные проекты, как "Озеро Эльгыгытгын", "Озера Сибири" и др., в рамках которых проводятся палеолимнологические исследования Сибири. В настоящее время в уникальном озере метеоритного происхождения Эльгыгытгын вскрыты отложения, послойное изучение которых позволит реконструировать изменения климата на протяжении 3,6 млн лет.

Новые оригинальные данные получены при изучении озер центральной и северной Якутии, таких, например, как Биллях, Сатагай и др., история которых охватывает временной интервал до 30–40 тыс. лет. Установлено, например, что накопление донных отложений в оз. Биллях, расположенном в районе Верхоянского хребта, идет непрерывно не менее 40 тыс. лет, что свидетельствует об отсутствии в исследуемом регионе значительных ледниковых шапок в максимум последнего оледенения. Получена детальная картина динамики климата и природных обстановок в голоцене для северо-восточной Сибири и выявлены изменения характера озерного органонакопления в зависимости от солнечной активности.

Активно ведутся палеолимнологические исследования на европейском севере России, включающие в себя реконструкции природно-климатических обстановок в послеледниковое время, динамики уровня крупных бассейнов по периферии Балтийского кристаллического щита, выявление причин и механизмов резких климатических изменений на границе плейстоцена и голоцена. Исследованы донные отложения разновысотных озер Карельского берега Белого моря и Соловецкого архипелага, позволившие реконструировать динамику изменения уровня Белого моря в послеледниковое время. Аналогичные исследования были выполнены ранее для восточной части Балтийского моря и Ладожского озера.

В начале 2000-х годов были проведены исследования донных отложений озер на территории Карельского перешейка (Ленинградская область) с целью реконструкции изменений палеоклимата, природных обстановок и выявления возможных геохимических и минералогических следов извержений исландских и центрально-европейских вулканов на рубеже позднего плейстоцена и голоцена. Позже, донные отложения этого озера стали объектом изучения содержания редкоземельных элементов – маркеров возможного импакта, случившегося около 12900 лет назад в результате падения метеорита на Лаврентийский ледниковый щит в Северной Америке.

С 2005 г. на протяжении нескольких лет проводились палеолимнологические исследования на Соловецком архипелаге с целью реконструкции динамики палеоуровня Белого моря в голоцене. В 2014 году палеогеографические работы были продолжены уже на Онежском полуострове Белого моря, где были выполнены исследования разреза на мысу Вейнаволок и озер и болот в губе Конюховской. Данные о возрасте этих болот, в сочетании с результата-

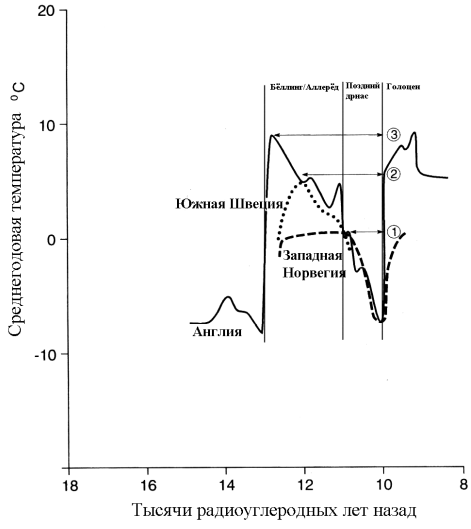


Рис. 1. Кривые палеотемператур, реконструированные для Англии, Южной Швеции и Западной Норвегии, демонстрирующие резкое, скачкообразное потепление в северной Европе около 13000 и 10000 ^{14}C л.н. Цифры в кружочках 1, 2 и 3 отмечают продолжительность этапа снижения температуры воздуха для разных регионов.

ми датирования озерных отложений, позволят детально реконструировать хронологию перемещений береговой линии Белого моря в районе Онежского полуострова.

В настоящее время с целью систематизации данных о генезисе озер Восточно-Европейской равнины разрабатывается и наполняется база данных PaleoLake, в которой анализируются сведения об изученных палеолимнологическими методами озерах. Аналогичные исследования ведутся и в Европе, и на Американском континенте, о чем свидетельствуют последние публикации. Структура метабазы данных включает в себя следующие категории: наименование озера, географическое положение (географические координаты; регион, в котором озеро расположено), морфометрические показатели (глубина средняя, глубина максимальная, площадь, объем) высота над уровнем моря, происхождение котловины, донные отложения (пробоотбор, тип материала, мощность отложений), виды проводимых с образцами анализов (литологический, диатомовый, геохимический, спорово-пыльцевой), методы датирования (валовый радиоуглеродный анализ, AMS-спектрометрия и пр.), а также интервал времени осадконакопления). Кроме того, база данных содержит библиографические источники, которые были использованы в работе. База данных дополняется новыми сведениями об уже учтенных в ней озерах (по мере поступления), и вносятся данные о других озерах, которые ранее не были представлены в ней. В дальнейшем планируется расширение базы данных и создание на ее основе интерактивной карты-справочника.

Развитие озер северо-запада Европейской части России непосредственно связано с распространением четвертичных оледенений, сформировавших современный рельеф и обусловивших возникновение озёр различного генезиса, которые можно подразделить на две большие группы: реликты приледниковых озёр и озёра, развитие которых происходило вне приледниковых бассейнов (термокарстовые, подпруженные, аккумулятивно-просадочные, экзарационные и другие).

Смена климатических условий от холодных, арктических позднего плейстоцена к теплым и влажным условиям голоцена на северо-западе России около 10000 ^{14}C л.н. назад (рис. 1) привела к серьёзным палеогеографическим изменениям, включающим: (1) быструю деградацию ледникового щита валдайского оледенения; (2) катастрофический спуск Балтийского ледникового озера на 25–28 м в связи с отступлением ледника от среднешведской возвышенности, в результате чего снизился базис эрозии и понизились уровни озер. Произошло полное исчезновение приледниковых бассейнов; (3) таяние вечно-мерзлых грунтов; (4) смена тундро-степных ценозов лесными сообществами; переход от азональности к зональности в распределении растительности; (5) сформировался устойчивый почвенный покров.

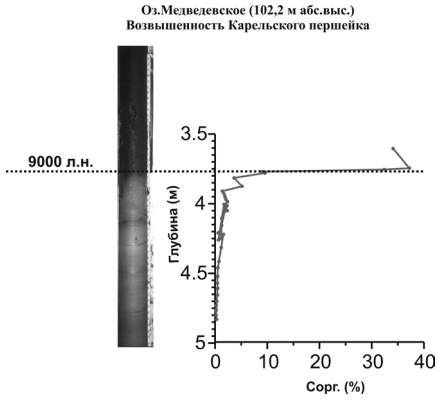


Рис. 2. Содержание органического углерода в разрезе донных отложений оз. Медведевского, Карельский перешеек (слева фотография колонки). Визуально видна четкая граница между минерогенными отложениями позднеледниковья, представленными серыми глинами, и вышележащими органогенными послеледниковыми темно-коричневыми сапропелями.

Весь комплекс палеогеографических изменений привел к смене характера осадконакопления в озерах Севера Европейской части России. Серые, минерогенные, глинистые отложения сменяются вверх по разрезу бурыми, зеленовато-коричневыми, органогенными илами (сапропелями) (рис. 2). Этот переход был настолько резок, что во многих разрезах озерных отложений можно наблюдать ясную, четкую границу смены позднеледниковых отложений, отложениями голоцена.

Исследования показали, что керны озерных отложений имеют, как правило, двухчленное строение. Нижняя часть разреза донных отложений будет представлена минерогенными отложениями позднеледниковья, сформировавшихся в условиях сурового, холодного, континентального (нивального) климата, а верхняя часть разреза – органогенными отложениями голоцена, сформировавшихся в условиях умеренно теплого, влажного (гумидного) климата. Следует отметить, что тип донных отложений довольно резко сменяется от серых глин позднеледникового возраста к темно-коричневым сапропелям голоцена. Все это свидетельствует о катастрофических природно-климатических изменениях. Возраст этой границы перехода от минеральных осадков к органогенным на севере России по данным многочисленных радиоуглеродных анализов варьирует в узком диапазоне 9500–9000 ^{14}C лет назад. Это свидетельствует, по-видимому, о запоздалой реакции наземных и водных экосистем на резкое потепление около 10000 ^{14}C л.н., что связано с отличием природно-климатических условий восточной части Европы от западной. Запоздалая реакция озерных экосистем и наземной растительности на быстрое (катастрофическое) потепление на рубеже плейстоцена и голоцена может быть объяснена различием циркуляции воздушных масс на севере России по сравнению с западными районами Европы, прилегающими к Северной Атлантике. Экстремальная континентальность климата и/или антициклональная циркуляция из-за возможного господства сильных восточных ветров к югу от Скандинавского ледникового щита, могли способствовать сохранению многолетней мерзлоты на СЗ России. Зона высокого давления над территорией распространения многолетней мерзлоты и преобладание восточных ветров могли блокировать перенос теплых воздушных масс с запада на восток на протяжении более 2000 лет (11000–9000 ^{14}C л.н.).

Продолжительность позднедриасового похолодания составила около 1000 лет и оно являлось самым длительным по сравнению с более короткими холодными периодами, прерывавшими длительные периоды потепления. Температура в течение позднего дриаса была ниже, чем во время среднего дриаса и пребореального похолодания.

Похолодание на границе аллерёда и позднего дриаса было быстрым и резким (рис. 1). Это может быть объяснено внезапным, катастрофическим притоком больших масс пресной воды в Северную Атлантику, по сравнению с более постепенным поступлением их на более ранних этапах дегляциации. Это произошло из-за спуска огромных приледниковых бассейнов – озера Агассиса, располагавшегося у края ледникового щита в Северной Америке, и Балтийского лед-

никового озера, прилегавшего к южной окраине Балтийского ледникового щита. Возраст этого катастрофического события варьирует между 11000 и 10500 радиоуглеродных лет.

Относительно недавно появилась гипотеза, связывающая позднедриасовое похолодание с метеоритным ударом. Согласно этой гипотезе, незадолго до начала похолодания, около 12900 калиброванных лет назад (кал. л. н.), крупный болид (диаметром до 4 км) взорвался над Лаврентийским ледниковым щитом Северной Америки. Последствия этого катастрофического события (т.н. "импактная зима") могли привести к резкому изменению климата.

Если взрыв метеорита произошел над Северной Америкой, преобладающее движение воздушных масс с запада на восток могло перемещать микрочастицы, образовавшиеся при взрыве, достаточно далеко, в частности в Западную и Восточную Европу. Результаты геохимических исследований озёрных донных отложений на Карельском перешейке свидетельствует о высокой вероятности такого события в прошлом.

Перечень публикаций, материалы которых использованы при подготовке данной статьи, приведены в списке литературы.

Исследования выполнены, частично, при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№13-05-01039а, 13-05-41457 РГО_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андроников А.В., Субетто Д.А., Лауретта Д.С. (D.S.Lauretta), Андроникова И.Е., Дросенко Д.А., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Сырых Л.С. Поиск следов метеоритного удара: особенности распределения микроэлементов в позднеплейтоценовых осадках оз. Медведевского (Карельский перешеек, Россия)// Доклады Академии Наук, 2014. – №1. – С. 69–73.

Пестрякова Л.А., Субетто Д.А., Герасимова М.А. Андреев А.А. Дикманн Б., Попп С. Эволюция природной среды в центральной Якутии в голоцене. //Известия Русского Географического Общества, 2008. – Т.140, вып. 4. – С. 54–67.

Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции // Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. – 309 с.

Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). Научно-теоретический журнал, 2007. – №1(2). – С. 111–120.

Субетто Д.А. Палеолимнологические реконструкции в бассейне Белого моря // Система Белого моря. Том.1. Природная среда водосбора Белого моря. Отв. ред. Академик РАН А.П.Лисицын – М.: Научный мир, 2010. С. 247–265.

Субетто Д.А., Давыдова Н.Н., Сапелко Т.В., Вольфарт Б., Вастегорд С., Кузнецов Д.Д. Климат Северо-запада России на рубеже плейстоцена и голоцена // Изв. РАН. Сер. Географическая, 2003. – №5. – С. 80-91.

Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., академик Лисицын А.П., Евзеров В.Я., П. ван Беек (P. van Beek), М.Суо (M. Souhaut), Субетто Г.Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления. // Доклады Академии Наук, Серия "Геология", 2012. – Т. 446, №2. – С. 183–190.

Andreev A., Tarasov P., Schwamborn G., Ilyashuk B., Ilyashuk E., Bobrov A., Klimanov V., Rachold V. & Hubberten H.-W. Holocene paleoenvironmental records from Nikolay Lake, Lena River Delta, Arctic Russia. // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2004. – 209. – P. 197-217.

AndronikovA.V., Rudnickaitė E., LaurettaD.S., AndronikovaI.E., KaminskasD., ŠinkūnasP., Melešytė M. Geochemical vidence o the presence of volcanic and meteoritic materials in Late Pleistocene lake sediments of Lithuania. // Quaternary International (in press).

Brigham-Grette J., Melles M., Minyuk P., Andreev A., Tarasov P., DeConto R., Koenig S., Nowaczyk N., Wennrich V., Rosen P., Haltia-Hovi E., Cook T., Gebhardt T., Meyer-Jacob C., Snyder J., Herzschuh U.: Pliocene Warmth, Polar Amplification, and Stepped Pleistocene Cooling Recorded in NE Arctic Russia. // *Science,* 2013. – Vol. 340. – no. 6139. – P. 1421–1427.

Lowe J.J., Coope G.R., Lemdahl G., Walker M.J.C. The Younger Dryas climate signal in land records from NW Europe // The Younger Dryas. Troelstra S.R., van Hinte J.E., Ganssen G.M. (eds). Amsterdam, 1995. – P. 3–26.

Melles M., Brigham-Grette J., Minyuk P., Nowaczyk N.R., Wennrich V., DeConto R.M., Anderson P.M., Andreev A.A., Coletti A., Cook T.M., Haltia-Hovi E., Kukkonen M., Lozhkin A.V., Rosen P., Tarasov P., Vogel H., Wagner B. 2.8 Million Years of Arctic Climate Change from Lake El'gygytgyn, NE Russia. // *Science*, 2012. Vol. 337. no. 6092. – P. 315–320.

Nazarova L., Lüpfert H., Subetto D.A., Pestryakova L.A., Diekmann B. Holocene climate conditions in Central Yakutia (North-Eastern Siberia) inferred from sediment composition and fossil chironomids of Lake Temje. // Quaternary International, 2013. 290-291 (2013). – P. 264–274.

Olaf Jushus et al. Late Quaternary Lake-Level changes of Lake El'gygytgyn, NE Siberia. Quat. Research.,2011. – V. 76. – No 3. – P. 441–451.

Schleusner P., Biskaborn B.K., Kienast F., Wolter Ju., Subetto D., Diekmann B. Basin evolution and palaeoenvironmental variability of the thermokarst lake El'gene-Kyuele, Arctic Siberia. Boreas, 2015 (в печати).

Subetto D.A., Wohlfarth B., Davydova N.N., Sapelko T.V., Björkman L., Solovieva N., Wastegård S., Possnert G., Khomutova V.I. Climate and environment on the Karelian Isthmus, northwestern Russia, 13000-9000 cal. yrs BP // Boreas, 2002. – V. 31. – P. 1–19.

Sundqvist H.S., Kaufman D.S., McKay N.P., Balascio N.L., Briner J.P., Cwynar L.C., H.P.Sejrup, H.Seppä, D.A.Subetto, J.T.Andrews, Y.Axford, J.Bakke, H.J.B.Birks, S.J.Brooks, A. de Vernal, A.E.Jennings, F.C.Ljungqvist, K.M.Ruhland, C.Saenger, J.P.Smol, and A.E.Viau. Arctic Holocene proxy climate database – New approaches to assessing geochronological accuracy and encoding climate variables. Climate of the Past, 2014. – 10. – P. 1605–1631.

LAKES AND NATURAL-CLIMATIC CONDITION IN THE PAST: PALAEOLYMNOLOGICAL RECONSTRUCTION

Subetto D.A.

Institute of Northern Water Problems of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia, subetto@mail.ru

ABSTRACT

The review of the results of palaeolimnological reconstruction of the climate change in the past investigation with help of results of bottom sediment stratigraphy in the North part of Eurasia is presented.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СЕВЕРНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА РОССИИ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И ЭКОНОМИКИ

Филатов Н.Н., Литвиненко А.В., Богданова М.С.

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

nfilatov@rambler.ru

Рассмотрены вопросы обеспеченности и использования водных ресурсов Северного экономического района РФ.

Проблемы использования и сохранения водных ресурсов Северо-Запада Европейской территории России (ЕТР) – одного из самых богатых пресными водными ресурсами региона Российской Федерации – являются чрезвычайно актуальными, в связи с тем, что эти ресурсы используются для питьевого и промышленного водоснабжения [Демин, 2013; Водные ресурсы и качество вод, 2010]. Однако до сих пор не проводилась инвентаризация поверхностных и подземных вод этого региона с использованием современных информационных технологий. Изученность водных ресурсов отдельных субъектов Федерации, входящих в исследуемый район существенно различается. Несмотря на то, что количественные показатели водных ресурсов региона не являются лимитирующими для развития экономики, качество вод для питьевого и промышленного водоснабжения остается невысоким [Водные ресурсы, 2008].

Поэтому в рамках гранта РФФИ №14-05-00663 и проекта ОНЗ РАН №11 была поставлена задача обобщить имеющиеся сведения о водных ресурсах (поверхностных и подземных), выполнить их инвентаризацию с созданием электронных реестров, позволяющих оценить современный водоресурсный потенциал региона с использованием современных ГИС-технологий и математического моделирования. Важно определить влияние антропогенных и климатических факторов на водные ресурсы, водные экосистемы озер и определить ассимиляционный потенциал, допустимую биогенную нагрузку на крупные озера – важные источники промышленного и питьевого водоснабжения [Литвиненко и др., 2014; Меншуткин и др., 2014]. Особое внимание в работе уделено возможности использования подземных вод для улучшения питьевого водоснабжения населения СЭР, что является очень актуальным не только исследуемого региона [Водные ресурсы Карелии и Финляндии, 2008], но и в целом для России [Демин, 2013; Зекцер, 2001].

В качестве территориального объекта исследований по проекту определен Северный экономический район (СЭР) – один из 11 экономических районов Российской Федерации (РФ), который является частью Северо-Западного федерального округа. СЭР занимает площадь 1468,5 тыс. км^2, что составляет около 8,6% территории России. Район является крупнейшим по территории и наименее заселенным в Европейской части РФ с плотностью населения от 0,2 чел. на 1 км^2 в Ненецком автономном округе до 8,3 чел. на 1 км^2 в Вологодской области. Среди других северных территорий страны район отличается высокой численностью городских поселений, которых здесь свыше 200 (включая поселки городского типа).

В результате было выполнено обобщение имеющихся сведений о водных ресурсах, которые для разных субъектов РФ описаны неравноценно. Были разработаны ГИС-системы, которые позволяют систематизировать существующую информацию о водных объектах и водных ресурсах региона; обеспечивать официальной информацией о водных объектах все субъекты водных отношений; производить объективную оценку состояния водных объектов по качественным и количественным показателям [Богданова и др. 2014]. Были внедрены математические модели водных объектов для прогноза изменения их состояния; перспективного планирования использования вод; обоснования устанавливать плату за пользование водными объектами [Мен-

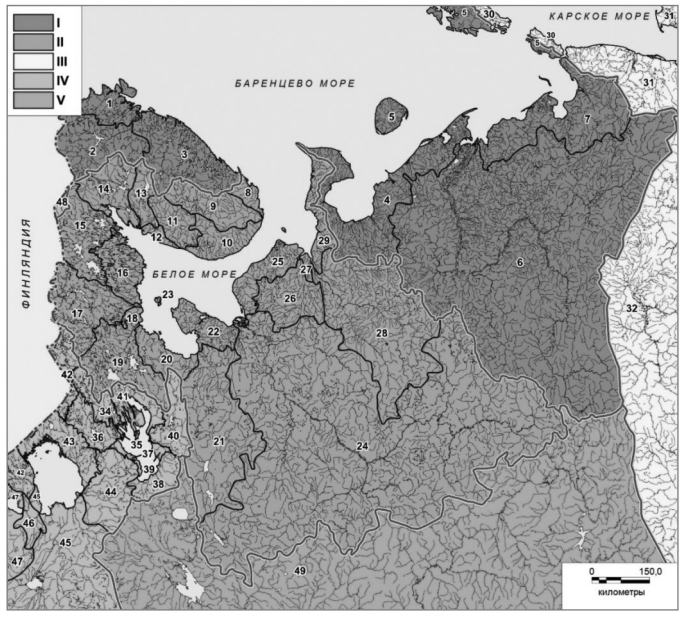


Рисунок. Гидрографическая структура Северного экономического района
Условные обозначения: водосборы морей (I–V),
водосборы основных рек (1–49)

шуткин, 2014; Rukhovets, Filatov, 2010]. В результате исследований были даны рекомендации возможного использования водных ресурсов в экономике. С использованием ГИС технологий и цифровых карт нами было выделено 48 водосборов основных рек (см. рисунок).

Основной составляющей водных ресурсов района является речной сток. В его распределении по территории СЭР наблюдается закономерность, отвечающая ее климатическим и гипсометрическим особенностям. Общее понижение среднего многолетнего стока происходит с севера на юг, что согласуется с уменьшением годовых осадков и увеличением испарения в теплую половину года. Отмеченная закономерность, имеющая зональный характер, местами нарушается влиянием рельефа. Средние многолетние значения стока на территории СЭР изменяются от 300 до 900 мм и более.

Максимумы стока (более 800 мм) наблюдаются в Мурманской области в районе возвышенностей, где за год выпадает более 1000 мм осадков. Минимальные годовые суммы осадков наблюдаются на Понойско-Варзугской и Прибеломорской низменностях, в понижениях у крупных озер-водохранилищ (550 мм), здесь же отмечаются и минимальные значения годового стока (менее 300 мм).

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы СЭР за период с 1930 по 2005 гг. составляют около 520 км^3. Основной объем речного стока формируется на территории СЭР (97%), остальные воды (3%) поступают из сопредельных районов, в основном из Финляндии. Нами были обобщены сведения о многолетних ресурсах речного стока СЭР.

Почти половина водных ресурсов СЭР (45%) приходится на сток двух крупнейших рек Европейской части Российской Федерации – Печоры и Северной Двины, занимающих по водности второе и третье места после Волги.

Наибольшими водными ресурсами располагает Архангельская область. На ее территории формируется около 40% местного стока СЭР. Около 70% суммарного объема стока области составляет сток основных рек – Северной Двины, Мезени и Онеги [Водные ресурсы России и их использование.., 2008].

Основными реками Республики Коми являются Печора, Ижма, Мезень, Сысола, Уса, Вашка, Вычегда, Вымь.

Водные ресурсы Вологодской обл. представлены стоком рек, водосборы которых относятся к бассейнам трех морей. Наиболее крупные реки принадлежат бассейну Белого моря: Сухона, Юг и Свидь. Около 60% водных ресурсов, формирующихся на терри-

Таблица. Удельная водообеспеченность СЭР

Административная территория	Площадь, тыс. км^2	Население, человек	Водообеспеченность, тыс. м^3/год на 1 чел.		Водообеспеченность, тыс. м^3/год на 1 км^2	
			местным стоком	общим стоком	местным стоком	общим стоком
Архангельская обл.	589,9	1 202 295	167	330	341	663
Вологодская обл.	144,5	1 196 196	32,8	41,2	271	341
Республика Коми	416,8	880 639	179	195	379	413
Республика Карелия	172,4	636 932	81,5	85,4	301	316
Мурманская обл.	144,9	780 401	71,8	87,8	386	473
СЭР	1468,5	4 739 252	107	110	344	354
Российская Федерация	17098,2	143 666 900	28,7	30,1	241	253

тории области, приходится на сток рек бассейна Северной Двины и Онеги. К бассейну Каспийского моря относятся реки Молога, Шексна и Суда. Сток рек Каспийского бассейна в пределах Вологодской области составляет 33% от суммарного местного стока. Бассейн Балтийского моря представлен значительно менее крупными реками, впадающими в Онежское озеро: Андома, Мегра, Вытегра и Водлица. Их водные ресурсы составляют около 7%. Всего в пределах области формируется 32,9 км^3/год, а общий сток с учетом притока с соседних территорий равен 49,3 км^3/год.

Поверхностные воды Республики Карелия принадлежат бассейнам Белого и Балтийского морей. Основные запасы водных ресурсов бассейна Белого моря сосредоточены в трех главных озерно-речных системах Карелии – Кеми, Выга и Ковды. Основной объем речного стока формируется на территории Республики (95%) и составляет 51,9 км^3/год. Остальные воды поступают из Финляндии и Архангельской области. Более половины годового речного стока (55%) уходит непосредственно в Белое море, Онежское и Ладожское озера принимают соответственно 25 и 20%.

Реки Мурманской обл. относятся к бассейнам Белого и Баренцева морям. Площадь речных бассейнов, принадлежащих Баренцеву морю составляет 64,4 км^2, Белому – 80,5 км^2. Естественный режим всех этих рек (кроме р. Поной) зарегулирован гидротехническими сооружениями ГЭС. Водные ресурсы, формирующиеся на территории области, составляют 56 км^3 в год, еще 12,5 поступает из Карелии, Финляндии и Норвегии. В Баренцево море уходит 47% суммарного стока и 53 – в Белое море.

Абсолютные показатели не дают полного представления об обеспеченности водными ресурсами регионов. Более показательны относительные характеристики, такие как объем речного стока, приходящийся на единицу площади или одного жителя. Как видно из таблицы, все административные территории, входящие в СЭР, имеют высокую удельную водообеспеченность жителей как общими, так и местными водными ресурсами. Наиболее обеспечены водами местного формирования и общими ресурсами жители Архангельской обл., соответственно 167 и 330 тыс. м^3/год на одного человека и Республики Коми: соответственно 179 и 195 тыс. м^3/год. Удельная водообеспеченность местными и общими ресурсами 1 км^2 площади особенно значительна в Архангельской и Мурманской областях и Республике Коми, где она превышает 340–600 тыс. м^3/км^2 (см. табл.).

В целом по СЭР удельная водообеспеченность местным стоком составляет 107 тыс. м^3 в год на одного человека и 344 тыс. км^3 в год на 1 км^2 территории. Это соответственно в 3,7 и 1.4 раза больше, чем в среднем по Российской Федерации. Таким образом, обеспеченность СЭР поверхностными водными ресурсами достаточно высока и количественные параметры не являются фактором, лимитирующим развитие экономики региона. Серьезные проблемы с водоснабжением населения и отдельных хозяйственных объектов имеют либо организационно-технический и экономический характер, либо связаны с несоответствием качества воды в природных источниках предъявляемым требованиям.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №14-05-00663.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богданова М.С., Литвиненко А.В., Филатов Н.Н. ГИС "Водные объекты Республики Карелия" как инструмент для решения задач управления водными ресурсами и их использования // Геоинформационные системы икосмический мониторинг. – Ростов-на-Дону: 2014. – С. 45–49.

Водные ресурсы Карелии и Финляндии // Под. ред. Н.Н. Филатова, А.В. Литвиненко. – Петрозаводск, 2008.

Водные ресурсы и качество вод. Состояние и проблемы управления // Под ред.В.И. Данилова-Данильяна, В.Г. Пряжинской –М., 2010. – 415 с.

Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. – СПб.:Государственный гидрологический институт, 2008. – 600 с.

Демин А.П. Изменения в хозяйственно-питьевом водоснабжении регионов России в XXI веке. –М.: ВСТ, 2013. – №12. – С. 10–20.

Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. – М.: Научный мир, 2001. – 328 с.

Литвиненко А.В., Филатов Н.Н., Богданова М.С., Карпечко В.А., Литвинова И.А., Сало Ю.А. Антропогенная трансформация и хозяйственное использование озера Выгозеро // Водные ресурсы, 2014. – №4. – С. 419–429.

Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Моделирование экосистем пресноводных озер (обзор) 2. Модели экосистем пресноводных озер // Водные ресурсы, 2014. – №41. – С. 24–38.

Филатов Н.Н. Актуальные водные проблемы европейского Севера России и пути их решения // Труды Карельского научного центра РАН, 2011. – №3. – С. 4–11.

Rukhovets L., Filatov N. (Eds.). Ladoga and Onego– Great European Lakes. –Spinger-Praxis, 2010. – 302 p.

WATER RESOURCESNORTHERN ECONOMIC REGIONRUSSIAIN A CHANGINGCLIMATE ANDECONOMY

Filatov N.N., Litvinenko A.V., Bogdanova M.S.

Institute of Northern Water Problems of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia, nfilatov@rambler.ru

ABSTRACT

The problems of water resources of the Northern economic region of the Russian Federation are examined.

СЕКЦИЯ 1

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОЛОГИИ, ГИДРОФИЗИКИ, ГИДРОХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

ПОДСЕКЦИЯ 1.1

ГИДРОЛОГИЯ

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ ПАВОДОЧНЫЙ СТОК В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ЗОНЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ПОРОД

Аванесова Г.С.[1], Бояринцев Е.Л.[2], Полубок А.Г.[2]

[1] Колымское УГМС, Магадан, Россия

[2] Одесский государственный экологический университет, Одесса, Украина
E.Bojarintsev@mail.ru

Проанализированы условия формирования экстремально высоких дождевых паводков в горных регионах многолетнемёрзлых пород.

Рассматриваемый регион расположен в центральной части Магаданской области России и включает верхнюю часть бассейна Колымы. Климат суровый, резко континентальный. Среднегодовая температура составляет около минус 13°С. Минимальная (обычно в январе) опускается до минус 65°С, а максимальная (в июле) достигает 30°. Результатом сурового климата является повсеместное распространение низкотемпературной многолетней мерзлоты, мощность которой достигает 200–400 м в долинах и 500–700 м – под горными сооружениями. В соответствии с мерзлотным районированием, произведенным по температурному признаку, рассматриваемая территория относится к району с температурой пород от -3,5 до -7,0°С. Сплошность мёрзлой толщи прерывается только под днищами крупных водотоков.

Режим рек данного региона характеризуется ежегодным весенним половодьем, которое начинается в среднем в конце первой декады мая и заканчивается в третьей декаде июня, иногда растягиваясь до середины июля, и летне-осенней меженью, на фоне которой формируются дождевые паводки, иногда достигающие катастрофических размеров. Начало формирования ледовых явлений отмечается уже в середине сентября.

Водно-энергетический баланс осуществляется в толще сезонноталого (деятельного) слоя. Начало оттаивания почвогрунтов совпадает с моментом схода снежного покрова на данном участке и продолжается до середины августа – начала сентября. Максимальная мощность деятельного слоя зависит от характера подстилающей поверхности, экспозиции склона, высоты местности. Наиболее глубокое оттаивание приурочено к приводораздельной части бассейна, где преобладают каменные осыпи, и достигает 1,8–2,0 м. В нижней части склона, на прирусловых участках, оттаивание не превышает 0,2–0,3 м.

В горных регионах зоны многолетнемёрзлых пород сезонноталый слой представлен в основном продуктами выветривания и подстилается мёрзлыми породами. Поверхностный склоновый сток в таких условиях не образуется даже в случае исключительно высокой (для данной территории) интенсивности осадков. Склоновый сток происходит подповерхностным путём по контакту с кровлей мерзлоты. Поверхность мерзлоты представлена сильнольдистыми породами, в отдельных случаях чистым льдом, и характеризуется сложной топографией, обусловленной микроклиматическими и теплофизическими особенностями деятельного слоя.

Под слоем мохово-лишайниковой дернины и толщей рыхлого чехла отмечается хорошо разработанная микроручейковая сеть, которая прослеживается практически до водораздела, но не фиксируется даже на крупномасштабных картах.

В таких условиях поверхностное задержание и впитывание в подстилающий горизонт отсутствуют и единственным видом потерь стока являются потери на перехват напочвенным и растительным покровом, а также на восполнение дефицита влажности дисперсного чехла. Склоновое регулирование паводочного стока минимально.

Баланс склонового стока можно записать в виде [Бефани, 1958]:

$$X = Y + H_3 + R - Z, \quad (1)$$

где

$$Y = S + Z, \quad (2)$$

$$S = X - P + Z. \quad (3)$$

Здесь X – количество паводкообразующих осадков, P – потери стока на почвенное и поверхностное задержание (H_3) и перехват растительностью (R), Z – количество влаги, образованной при оттаивании мерзлоты за период паводка, S – водообразование (общее количество гравитационной воды на поверхности водосбора). Очевидно, что суммарные потери в этом случае меньше начальных на величину ($Z + P_{вр}$), где $P_{вр}$ – временные потери на заполнение ручейковой сети и полузамкнутых понижений на склоне, а слой водообразования превышает слой склонового стока на величину Z. Максимальные модули дождевого стока на очень малых водосборах (менее 2–3 км^2) формируются короткими интенсивными ливнями внутримассового происхождения. По данным наблюдений ливнемерного куста Колымской воднобалансовой станции (КВБС), площадь охвата территории такими ливням весьма ограничена, и не превышает обычно 2–5 км^2. Максимальный модуль стока за более чем 40-летний период наблюдений на руч. Морозова, водосборная площадь которого составляет 0,63 км^2, достиг 1635 л/с·км^2. Он сформировался 2 июля 1982 г. ливнем общим слоем около 20 мм и максимальной интенсивностью 0,26 мм/мин. Слой стока практически совпал по величине со слоем осадков.

Экстремально высокий паводок на водосборах КВБС был отмечен 21 июня 2013 года, когда на фоне резкого потепления сформировался ливень, который за шесть часов дал 68 мм осадков, при этом оттаявший слой практически отсутствовал. Все гидрометрические сооружения были полностью выведены из строя, а максимальный расход удалось зафиксировать только на одном створе – руч. Встреча – устье руч. Угроза (площадь 6,57 км^2). Модуль стока здесь достиг 822 л/с·км^2.

При выпадении продолжительных осадков с момента времени $t > t_{ск}$ на очень малых водосборах устанавливается фаза полного стока, когда интенсивность склонового притока следует за ходом водообразования. Но уже при площади водосбора F > 5 км^2 гидрограф принимает вид одномодального нелинейного треугольника и достаточно легко поддаётся аналитическому описанию.

Выдающиеся максимумы на крупных русловых системах формируются циклональными осадками при заходе влагонасыщенных воздушных масс с акватории Охотского моря или Ледовитого океана. Их приход сопровождается обычно понижением температуры воздуха, вплоть до отрицательных значений, и в горных районах (на высотах более 900–1000 м над уровнем моря) устанавливается временный снежный покров, что значительно снижает площадь одновременного стока. Установлена зависимость максимального модуля стока от количества осадков за дождь и температуры воздуха на дату их выпадения.

Наиболее благоприятные условия для прохождения исторических максимумов в пределах Верхней Колымы за период гидрологических наблюдений сложились 19–23 августа 1939 г. и 17–21 августа 2013 г. В первом случае центр дождя находился в бассейне р. Бохапча, во втором – в районе посёлка Усть-Омчуг, в центре бассейна р. Детрин. За трое суток выпало близкое количество осадков, более 120 мм, а температурный фон также практически совпал, было достаточно тепло, около 15°С, при дальнейшем похолодании до 3–5°С.

Максимальный модуль стока паводка 1939 г. на р. Бохапча почти в два раза превысил значение, следующее в ранжированном ряду дождевых максимумов (соответственно, 0,438 и 0,225 м^3/км^2) за более чем 70-летний период наблюдений, а для р. Детрин – п. Усть-Омчуг (период наблюдений 1956–2013 гг.) – почти в три раза (0,774 и 0,265 м^3/км^2). Эмпирическая обеспеченность этих максимумов близка к 1%, поэтому их характеристики могут быть использованы как модельные при разработке параметров расчётных формул максимального стока дождевых паводков для рек Верхней Колымы.

В условиях многолетнемёрзлых пород водообразование на склонах начинается одновременно с началом выпадения осадков, а продолжительность спада склонового стока, по данным наблюдений на малых водосборах Колымской ВБС, практически не зависит от величины максимальной ординаты, и может быть принята равной 24 часам. Учитывая, что продолжительность выдающихся ливней составляет четверо суток, продолжительность склонового притока при оценке дождевых

максимумов для развитых русловых систем может быть принята равной 120 часам.

Показатель степени в уравнении графика склонового притока оценивался двумя способами – с помощью экстраполяции зависимости коэффициента неравномерности руслового стока $K_m = (m + 1/m)$ от площади водосбора F в область малых площадей, а также путём представления гидрографов склонового притока в относительных координатах в развёртке от максимального значения. Оба способа дали практически одинаковый результат, n = 0,32.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока //Тр. ОГМИ, 1958. – Ч.II вып. 14. – 302 с.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS

Avanesova G.S.[1], Boyarintsev Y.L.[2], Polubok A.G.[2]

[1] Kolyma hydrometeorological observatory, Magadan

[2] Odessa state environmental university, Bo413@yandex.ru

ABSTRACT

Extreme floods runoff in mountain regions of subambient permafrost soils are examined.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕЧНОГО СТОКА С НЕИЗУЧЕННЫХ ВОДОСБОРОВ

Айзель Г.В., Гусев Е.М.

Институт водных проблем Российской академии наук, Москва

ayzelgv@gmail.com

Благодаря интенсивному развитию методов машинного обучения, за последние 20 лет мы стали свидетелями глобальных прорывов в таких отраслях знаний как био- нейроинформатика, генетика, теория распознавания образов и речи, автономное управление и искусственный интеллект. Несмотря на интенсификацию работ по теме исследований формирования речного стока с неизученных водосборов, связанную с прошедшей международной гидрологической декадой "Prediction in ungauged basins" (2004–2013), работы, так или иначе затрагивающие тему применения методов машинного обучения, не получили должного распространения. В работе показана перспектива получения модельных параметров, необходимых для оценки расчетных характеристик речного стока для неизученных водосборов, что открывает широкие горизонты по улучшению методик оценки водно-ресурсного потенциала территорий, оценки ресурсов поверхностных вод, в том числе и в условиях изменяющегося климата.

Расчеты речного стока для неизученных в гидрометрическом отношении речных бассейнов являются актуальной научной темой и обладают большим потенциалом практической реализации при решении прикладных задач гидротехнического и инфраструктурного строительства в труднодоступных регионах [Hrachowitz et al., 2013; Sivapalan et al., 2003]. Опыт работы с гидрологическими моделями показывает, что для более или менее точного воспроизведения речного стока требуется достаточно качественная информация о наиболее важных модельных параметрах. Обычно достижение этой цели осуществляется на основе метода калибровки таких параметров при наличии информации об измеренном речном стоке [Sorooshian, Gupta, 1995; Насонова и др., 2015]. Во многих случаях модельеры сталкиваются с проблемой недостатка гидрометрических наблюдений на водосборах, в этих случаях модель не может быть откалибрована, и возникает проблема оценки модельных параметров другими методами [Razavi, Coulibaly, 2012].

За последние десятилетия гидрологами были сделаны различные попытки разработки подобных методов оценки модельных параметров. Наиболее распространённый подход основан на использовании множественной регрессии [Gibbs et al., 2012; Merz, Bloschl, 2004], кроме того, довольно широко используются методы, основанные на пространственной близости водосборов ("метод ближайшего соседа") и на физико-географической близости [Гусев и др., 2011; McIntyre et al., 2005].

В большинстве случаев при работе с регрессионными методами используются стандартные схемы построения линейных зависимостей, позволяющие явно формализовать связь "модельные параметры – дескрипторы водосбора", в то же время современным методам статистического многомерного нелинейного моделирования зависимостей практически не уделяется внимание. Одной из немногих работ, в которой была выполнена попытка применения аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) для нахождения связи между природными условиями и параметрами гидрологической модели, была работа [Heuvelmans et al., 2006]. Недостатком данной работы стоит признать использование недостаточной выборки водосборов для построения зависимостей (13 водосборов), небольшой территориальный охват (Бельгия), а также недостаточную методическую обоснованность (использование одной архитектуры ИНС). Стоит заметить, что работа [Heuvelmans et al., 2006] не имела целью расчет гидрографа стока, а была направлена на сравнение модельных параметров в ракурсе изменения ландшафтных условий и прогноза будущего землепользования. В данной работе мы предприняли попытку разработки современной методики оценки модельных параметров физико-математической модели формирования стока (использована модель SWAP) для водосборов недостаточно обеспеченных гидрометеорологической информацией на основе применения одного из самых распространённых в мире методов машинного обучения [Rasouli et al., 2012] – аппарата ИНС.

В качестве исследуемых географических объектов в работе были выбраны 323 водосбора (рис. 1) из набора, предложенного организаторами проекта MOPEX.

Модели ИНС, а также их программные или аппаратные реализации, построены по принципу органи-

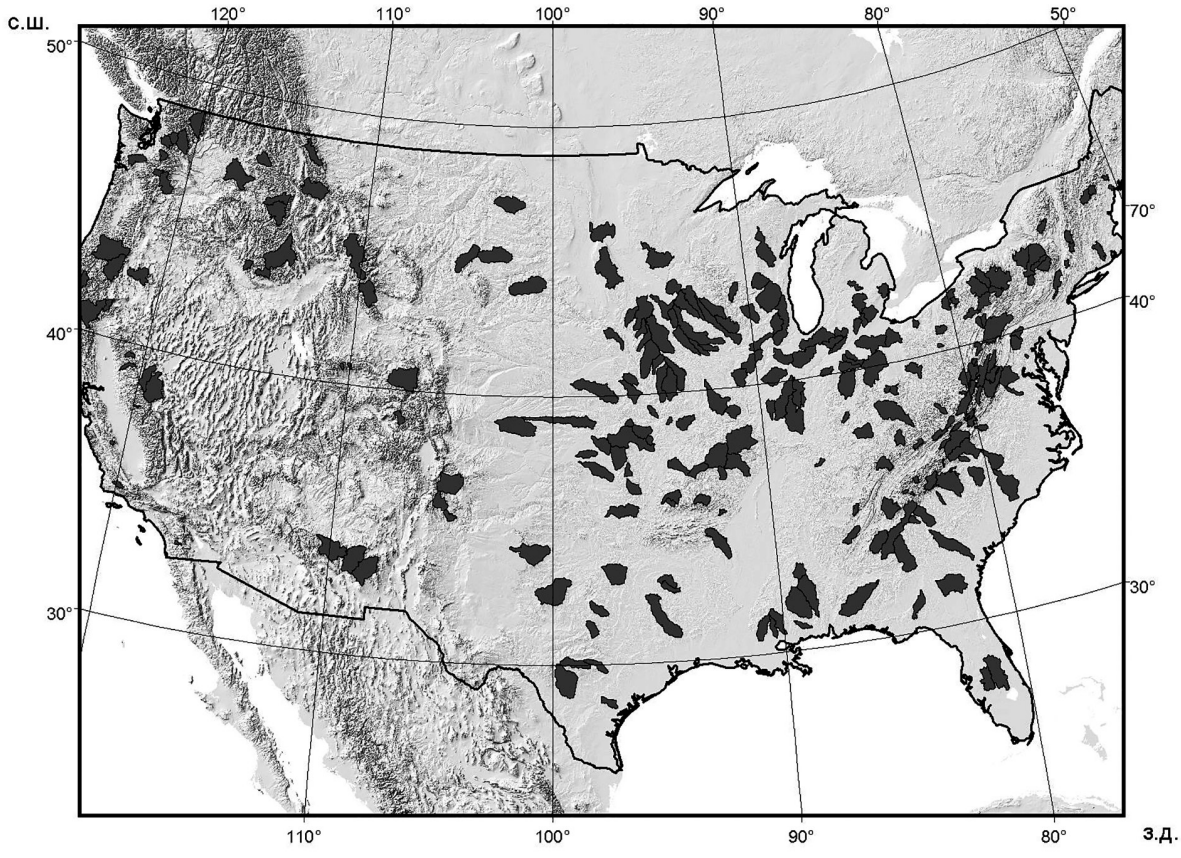


Рис. 1. Расположение 323-MOPEX бассейнов на территории США

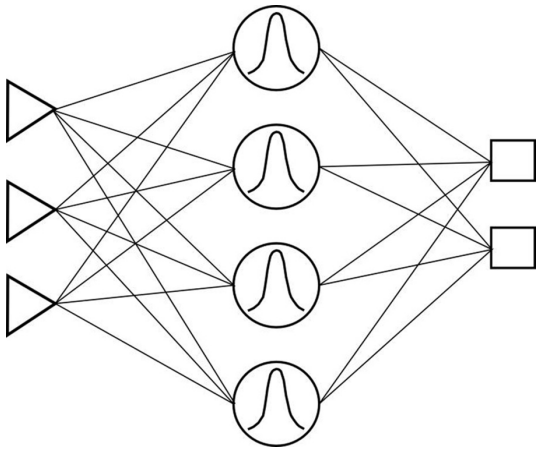


Рис. 2. Схема организации архитектуры искусственной нейронной сети

зации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. ИНС представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов) (рис. 2).

Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. Будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие локально простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи. Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами.

Обучение нейронных сетей для каждого из выбранных модельных параметров происходило на группе в 210 водосборов (что составляет 65% от всей выборки), включающих как подгруппу непосредственного обучения, так и подгруппу кросспроверки. При построении искусственных нейронных сетей в работе использовались две базовые архитектуры ИНС – многослойный персептрон (МП) и радиальная базисная функция (РБФ). Было принято решение не ограничиваться одной архитектурной реализацией ИНС, а использовать четыре реализации на базе МП и три на базе РБФ. Это позволило более широко освоить описанный инструментарий решения поставленной задачи. Таким образом, после процесса обучения мы получили семь ИНС, для каждого из 11 параметров модели SWAP.

Расчеты речного стока с помощью модели SWAP для бассейнов, относящихся к группе “не обеспечен-

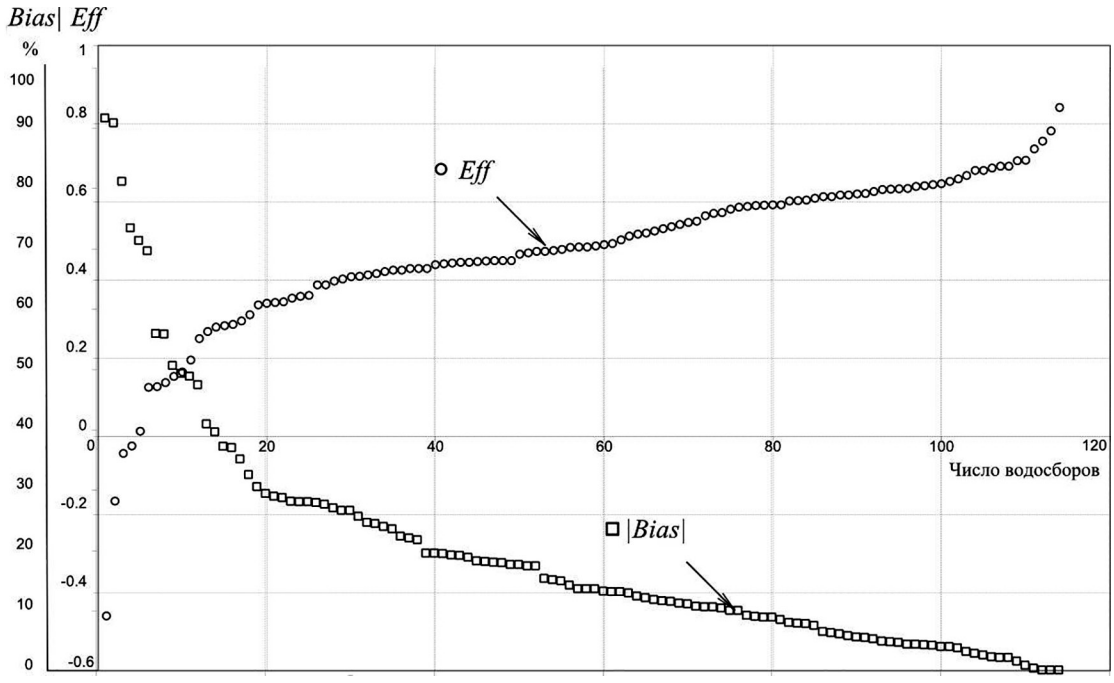


Рис. 3. Эффективности Eff (○) и модули систематической ошибки Bias (□) расчета суточных значений стока по модели SWAP для каждого из 113 водосборов.

ных информацией", с использованием параметров, полученных путем применения методов ИНС, производились для периода с 1986 по 1995 гг. Для всей группы из 113 исследуемых водосборов были последовательно рассчитаны суточные гидрографы стока, затем вычислены для данной выборки статистики качества расчетов *Eff* и |*Bias*|. Следуя концепции "исключительности" каждого водосбора, заключающейся в том, что каждому водосбору соответствует своя базовая архитектура ИНС, единственно использование которой дает лучший и приемлемый результат, для всех водосборов в отдельности были выделены архитектуры ИНС, дающие лучший результат в терминах *Eff* и |*Bias*| (рис. 3).

Рассчитанные медианы *Eff* и |*Bias*| равны 0,484 и 13,7% соответственно, что соответствует удовлетворительному качеству расчетов.

Разработанная методика расчетов речного стока для не обеспеченных гидрологическими наблюдениями водосборов с использованием метода машинного обучения показывает удовлетворительные результаты, но имеет ряд недостатков. Во-первых, машинное обучение нейронных сетей занимает достаточно длительное время. Во-вторых, в мире пока не разработано универсальных подходов в определении внутренней структуры сетей под конкретные задачи, в каждом отдельном случае приходится полагаться на эксклюзивные литературные источники, либо личный исследовательский опыт. В-третьих, нейронные сети требуют большого числа переменных, применение данного подхода оправдано при наличии базы данных за достаточно длительный период по большой выборке речных водосборов. В-четвертых, нет универсального решения по выбору "лучшей" сети (или архитектуры сети) для решения конкретных задач. Исследователь должен перебрать как можно большее число вариантов, а на следующем шаге разработать механизм априорного выбора, взамен постериорному (в нашей работе этому методу соответствует концепция "исключительности" водосбора). Из-за сложного, нелинейного характера, как самой природы, так и методов ее изучения, которые также вносят свою неопределенность в исследования, мы можем не наблюдать географических закономерностей, в предоставляемых нами решениях.

Также стоит отметить, вклад российской группы гидрологов, так или иначе занимающихся решением задач моделирования речного стока, в развитие и применение современных методов машинного обучения крайне мал. Из всего доступного функционала методик, российскими учеными активно используются только методы, построенные на архитектуре искусственных нейронных сетей [Айзель, 2014а; Айзель, 2014б]. Это можно объяснить, в первую очередь, приверженностью сложившихся еще в СССР и продолживших свое развитие в России научных школ к процесс-ориентированному познанию (в противовес к информационно-ориентированному, вмещающему в себя весь функционал доступных методик

машинного обучения). Во вторую очередь сложившуюся ситуацию, конечно, можно объяснить кадровыми проблемами российской науки, когда талантливая молодёжь выбирает более перспективные в финансовом отношении области приложения своего труда.

Показанная в работе перспектива получения необходимых для оценки расчетных характеристик речного стока модельных параметров для неизученных водосборов, притом с высокой долей достоверности их определения, открывает широкие горизонты по улучшению методик оценки водноресурсного потенциала территории, оценки ресурсов поверхностных вод, в том числе и в условиях изменяющегося климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Айзель Г.В. Особенности применения метода искусственных нейронных сетей в задачах расчета стока с неизученных водосборов //В мире научных открытий, 2014а. –Т. 50. – №2.1. – С. 602–617.

Айзель Г.В. Расчеты речного стока для неизученных бассейнов: потенциал применения гидрологической модели и аппарата искусственных нейронных сетей // Инженерные изыскания, 2014б. – №7. – С. 60–66.

Гусев Е.М., Насонова О.Н., Джоган Л.Я., Ковалев Е.Э. Моделирование стока р.Северной Двины с использованием модели взаимодействия поверхности суши с атмосферой SWAP и глобальных баз данных //Водные ресурсы, 2011. –Т.38. – №4. – С. 439–453.

Насонова О.Н., Гусев Е.М., Айзель Г.В. Оптимизация параметров подстилающей поверхности для моделирования речного стока с 323 MOPEX-водосборов // Водные ресурсы, 2015. – Т. 42. – №2. – С. 161–174.

Gibbs M.S., Maier H.R., Dandy G.C. A generic framework for regression regionalization in ungauged catchments //Environmental Modelling & Software, 2012. – Т. 27. – P. 1–14.

Hrachowitz M., Savenije H.H.G., Blöschl G., McDonnelld J.J., Sivapalan M., Pomeroyg J.W., Arheimer B., Blume T., Clark M.P., Ehret U., Fenicia F., Freer J.E., Gelfan A., Gupta, D.A. Hughes, R.W. Hut, A. Montanari, S. Pande, D. Tetzlaff, P.A. Troch, S. Uhlenbrook H.V., Wagener T., Winsemius H.C., Woods R.A., Zehe E., Cudennec C. A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB) – a review //Hydrological Sciences Journal, 2013. – №58(6). – P.1198–1255.

Heuvelmans G., Muys B., Feyen J. Regionalisation of the parameters of a hydrological model: Comparison of linear regression models with artificial neural nets //Journal of Hydrology, 2006. – Т. 319. – №1. – P. 245–265.

McIntyre N., Lee H., Wheater H., Young A., Wagener T. Ensemble predictions of runoff in ungauged catchments //Water Resources Research, 2005. – Т. 41. – №12. – P. 1–14.

Merz R., Blöschl G. Regionalisation of catchment model parameters //Journal of Hydrology, 2004. – Т. 287. – №1. – P. 95–123.

Rasouli K., Hsieh W.W., Cannon A.J. Daily streamflow forecasting by machine learning methods with weather and climate inputs //Journal of Hydrology, 2012. –Т. 414. – P. 284–293.

Razavi T., Coulibaly P. Streamflow prediction in ungauged basins: review of regionalization methods //Journal of Hydrologic Engineering, 2012. – Т. 18. – №8. – P. 958–975.

Sivapalan M., Takeuchi K., Franks S.W., Gupta V.K., Karambiri H., Lakshmi V., Liang X., McDonnell J.J., Mendiondo E.M., O'Connell P.E., Oki T., Pomeroy J.W., Schertzer D., Uhlenbrook S., Zehe E. IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences //Hydrological Sciences Journal, 2003. – Т. 48. – №6. – P. 857–880.

Sorooshian S., Gupta V.K. Model calibration //Computer models of watershed hydrology. Water Resources Publications, 1995. – P.23–68.

MODERN MACHINE LEARNING TECHNIQUES IMPLEMENTATION FOR RUNOFF CALCULATION IN UNGAUGED BASINS

Ayzel G.V., Gusev Y.M.

Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ayzelgv@gmail.com

ABSTRACT

Due to the intensive development of machine learning methods over the past 20 years we have witnessed the global breakthroughs in such fields of scientific research like bio- and neuroinformatics, genetics, theories of voice and image recognition, independent regulation and artificial intelligence. Investigations that affect machine learning techniques implementation have not receive proper distribution despite of the intensification of studies related to the runoff formation processes in ungauged basins associated with the last international hydrological decade "Prediction in Ungauged Basins" (2004-2013). The article shows the prospect of the model parameters receiving needed to assess characteristics of the river flow in ungauged basins, which opens wide horizons for improving techniques for assessing the water resources potential, amount of surface water resources, including in a changing climate conditions.

ВАРИАЦИИ ВОДОЗАПАСА СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ИНТЕНСИВНОСТИ ЕГО ТАЯНИЯ КАК ФАКТОР ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

Голубев В.Н., Фролов Д.М.

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,
Географический факультет, Москва

golubev@geol.msu.ru

Рассмотрена роль водозапаса снежного покрова и интенсивности его таяния в формировании весеннего половодья на примере бассейна Северной Двины.

Продолжительность и масштабы весеннего половодья определяются комплексом факторов, в первую очередь, таких как особенности климатических условий зимнего периода (температурный режим, ледовый покров водоемов, строение и водозапас снежного покрова), характеристики периода таяния снежного покрова (интенсивность и продолжительность таяния), которые, в свою очередь, зависят от термических условий весеннего периода и водозапаса снежного покрова, а также степени согласования (с учетом добегания) календарных сроков таяния снега на всех участках водосбора. Изменения климатических условий зимнего периода, а также толщины и водозапаса снежного покрова проанализированы на основе срочных наблюдений на 45 сетевых метеостанций северных регионов и в полосе умеренного климата РФ. На рисунке 1 представлены вариации и трендовые изменения средних значений температуры (t,°C), суммы зимних осадков (q, мм) (ноябрь-март) и толщины снежного покрова (H, см) в феврале.

В субарктическом поясе положительный тренд многолетних изменений температуры второй половины XX века сохранился и в XXI веке, тогда как в регионах умеренного пояса Сибири и Дальнего Востока и в среднем по России он сменился в конце XX века на нейтральный и даже слабо отрицательный. В XXI веке отрицательными стали и коэффициенты в трендах толщины снежного покрова. При этом значения межгодовых вариаций климатических показателей и толщины снежного покрова превосходят их трендовые изменения более чем на порядок и имеют характер случайных явлений, что и определяет сложность заблаговременного прогнозирования таких опасных гидрологических явлений, как половодья или маловодья.

Сведения о сумме зимних осадков и толщине снежного покрова позволяют оценить плотность и теплопроводность снежного покрова, термический режим и глубину промерзания грунтов, как возможного водоупора при миграции влаги в период весеннего таяния снежного покрова. Рассчитанные глубины сезонного промерзания для 1984/85-2007/08 гг. в субарктическом и умеренном поясах РФ удовлетворительно согласуются со сведениями о температуре грунтов в скважинах глубиной до 320 см.

Значимость этих факторов в формировании половодья проанализирована на примере реки Северная Двина и ее основных притоков (Вычегды и Малой Северной Двины) в период с 1991 г. по 2012 г. Опорные метеостанции и гидрологические посты в пределах этого речного бассейна расположены в городах Котлас, Вологда и Архангельск. У города Котлас река Вычегда имеет средний годовой расход 1160 м^3/с; река Малая Северная Двина у города Великий Устюг – 770 м^3/с, а Северная Двина в устье – 3490 м^3/с. В таблице 1 приведены сведения о среднемесячных расходах воды (с 1881 г. по 1998 г.) Северной Двины и Сухоны, а также Вычегды (с 1962 г. по 1999 г.).

Рис. 1. Межгодовые вариации и трендовые изменения климатических характеристик зимнего периода на территории РФ

Таблица 1. Среднемесячные расходы воды на реках бассейна Северной Двины, м^3/с

РЕКА	МЕСЯЦ											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Северная Двина	1037	830	730	2446	13876	6965	2974	2173	2321	2898	2324	1399
Вычегда	345	282	261	749	4466	2242	970	669	674	839	629	463
Сухона	130	93	75	868	1570	720	423	284	303	392	340	194

Таблица 2. Сроки начала и завершения (в днях от начала года), а также длительности периода снеготаяния с возможной водоотдачей на опорных метеостанциях

ГОДЫ	ВОЛОГДА			СЫКТЫВКАР			АРХАНГЕЛЬСК		
	НАЧАЛО	КОНЕЦ	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ	НАЧАЛО	КОНЕЦ	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ	НАЧАЛО	КОНЕЦ	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ
1991	90	102	12	93	106	13	90	104	14
1992	78	95	17	110	123	13	109	121	12
1993	88	101	13	109	123	14	108	121	13
1994	90	101	11	91	111	20	88	118	30
1995	80	103	23	89	105	16	97	100	3
1996	90	100	10	92	118	26	116	126	10
1997	91	98	7	102	112	10	118	128	10
1998	98	116	18	109	128	19	108	124	16
1999	84	98	14	102	115	13	103	110	7
2000	90	104	14	96	114	18	96	116	20
2001	90	101	11	97	115	18	98	114	16
2002	78	95	17	101	117	16	98	113	15
2003	96	109	13	94	115	21	99	121	22
2004	70	98	28	118	128	10	98	123	25
2005	91	101	10	93	115	22	93	119	26
2006	89	100	11	92	111	19	91	110	19
2007	64	81	17	90	111	21	68	95	27
2008	83	95	12	93	110	17	87	115	28
2009	98	108	10	115	128	13	101	121	20
2010	85	97	12	88	108	20	88	100	12
2011	92	100	8	93	108	15	90	107	17
2012	100	108	8	92	107	15	101	114	13
μ	87,0	100,5	13,5	98,1	114,9	16,8	97,5	114,5	17,0
σ	8,7	6,6	4,9	8,6	7,0	4,0	10,7	8,8	7,0

В апреле и мае на реках бассейна отмечаются превышения стока в связи с таянием снежного покрова.

В 1991–2012 гг. водозапас снежного покрова на водосборах Северной Двины, Вычегды и Сухоны достигал наибольших значений в 1997 г. в Архангельске, в 2002 г. в Сыктывкаре, в 2001 г. в Вологде. Более чем на 10% снегозапасы превышали средние значения в 1996, 2000, 2004, 2009 гг. в Архангельске, в 2007, 2008 гг. в Сыктывкаре, в 1998, 2007, 2010 гг. в Вологде. Наименьшие значения были зафиксированы в Архангельске в 2010 г., а в Сыктывкаре и Вологде – в 1996 г.

Вариации значений водозапаса снежного покрова в 1991–2012 гг. достигали 100 мм, а отклонения от средних значений – 30%, т.е. при средней интенсивности весеннего потепления 0,2–0,25°С/день это могло вести к удлинению весеннего периода повышения интенсивности стока. В таблице 2 приведены данные о вариациях сроков начала и завершения и длительности периодов весеннего снеготаяния в бассейне Северной Двины, которые, в общем, соответствуют трем основным типам весеннего потепления.

Максимумы распределения сроков начала и конца весеннего снеготаяния для Вологды, Сыктывкара и Архангельска приурочены к значениям 87 и 101; 98 и 115; 98 и 115 дней от начала года, соответственно, а отклонения, σ, сроков начала и конца весеннего снеготаяния составляют 8,7 и 6,6, 8,6 и 7,0 и 10,7 и 8,8 соответственно. Самые ранние

Таблица 3. Соотношение случаев половодий с повышенными значениями водозапаса и интенсивности снеготаяния на водосборах рек бассейна Северной Двины

	СУХОНА		ВЫЧЕГДА		СЕВЕРНАЯ ДВИНА	
ГОДЫ	СНЕГОЗАПАС	ИНТЕНСИВНОСТЬ ТАЯНИЯ	СНЕГОЗАПАС	ИНТЕНСИВНОСТЬ ТАЯНИЯ	СНЕГОЗАПАС	ИНТЕНСИВНОСТЬ ТАЯНИЯ
1993						
1995					+	+
1997		+		+	+	+
1998	+					
2003			+			
2012	+	+				

сроки таяния характерны для Вологды, в Сыктывкаре и Архангельске период снеготаяния приходятся на более поздние сроки. Сроки начала и конца снеготаяния в Архангельске выражены менее четко, что и находит свое отражение в увеличении среднеквадратичного отклонения каждого из сроков. За период 1991–2012 гг. во всех пунктах наблюдений отмечались случаи, когда самые поздние сроки начала снеготаяния были позже самых ранних сроков завершения снеготаяния. Максимумы распределения длительности снеготаяния для указанных станций приходятся на 14 суток в Вологде, на 17 в Сыктывкаре и в Архангельске, а среднеквадратичные отклонения распределения длительности снеготаяния в Вологде, Сыктывкаре и Архангельске составляют, соответственно, 4,9, 4,0 и 7,0 суток. Почти двукратное увеличение длительности снеготаяния в Архангельске по сравнению с Вологдой и Сыктывкаром реализуется в менее четком положении максимума. Ранние сроки и меньшая продолжительность периода снеготаяния в Вологде обусловлены более южным расположением ее (средняя температура с ноября по март в 1991–2012 гг. составляет в Вологде -7,25°С против -9,86°С в Сыктывкаре и -8,68°С в Архангельске), а также меньшими значениями водозапаса снежного покрова (169 мм в Вологде против 204 мм в Сыктывкаре и 199 мм в Архангельске).

Значения интенсивности таяния охарактеризованы по величине снегонакопления на водосборах рек и по графикам понижения толщины снежного покрова в период, когда температура воздуха между соседними сроками наблюдений превышала 0°С. Средние значения интенсивности таяния снежного покрова составляли в эти годы 12–13 мм/сутки. Повышенная более чем на 20% интенсивность таяния имела место на водосборе Сухоны в 1997, 2001, 2010–2012 гг., Вычегды – в 1991, 1992, 1997, 2002, 2004, 2009 гг. и Северной Двины в 1992, 1995–1997, 1999 гг., причем в 1997 г. одновременное повышение интенсивности таяния наблюдалось на водосборах всех трех рек.

На сайте ВНИГМИ-МЦД половодья весной 1993, 1995, 1997, 1998, 2003, 2012 гг. в бассейне Северной Двины зафиксированы как случаи, когда поступление талой воды существенно превышало средний уровень весеннего повышенного стока. Основные причины отмечены в таблице 3 знаком (+), за исключением 1993 г., когда снегозапасы были близки к норме, а интенсивность снеготаяния отклонялась менее чем на 20%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГО и РФФИ (проект №13-05-41172).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961. – 346 с.

VARIATIONS OF SNOWCOVER WATER EQUIVALENT AND ITS THAWING INTENSITY AS A FACTOR OF A SPRING FLOODS

Golubev V.N., Frolov D.M.

Geographical faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, golubev@geol.msu.ru

ABSTRACT

The role of variations of snowcover water equivalent and its thawing intensity in formation of spring floods is considered on the instance of North Dvina basin.

ОЦЕНКА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Джамалов Р.Г.[1], Фролова Н.Л.[2], Бугров А.А.[1], Григорьев В.Ю.[1], Киреева М.Б.[2], Рец Е.П.[1], Сафронова Т.И.[1], Телегина А.А.[1], Телегина Е.А.[1]

[1] Институт водных проблем РАН, Москва

[2] МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва

dzhamal@aqua.laser.ru

Выполнена оценка и проведен анализ изменений характеристик годового, меженного и минимального месячного стока рек Европейской части России за последние 35 лет (до 2010 г.) в сопоставлении с предыдущими периодами наблюдений. Исследованы генезис стока для разных бассейнов рек и выявлены основные причины современных изменений стоковых характеристик. Установлены региональные закономерности гидролого-гидрогеологических процессов и проведено районирование территорий с выделением особенностей формирования стока рек. Проведена переоценка возобновляемых (естественных) ресурсов поверхностных и подземных вод за 1970–2010 гг.

Региональная оценка и анализ распределения водных ресурсов на Европейской части России (ЕЧР) позволяют судить о пространственно-временной динамике подземной и поверхностной составляющих речного стока с учетом современных особенностей их формирования под влиянием нестационарного климата. Положительные изменения средних годовых и особенно зимних температур воздуха в совокупности с атмосферными осадками оказали значительное влияние на водность рек и режим их стока. Изменения климата уже привели к существенным изменениям водного режима и условий формирования водных ресурсов в ряде крупных регионов.

Пространственно-временные распределения средних годовых, меженных и минимальных характеристик стока практически всех речных водосборов ЕЧР использованы как показатели возобновляемых водных ресурсов подземных и поверхностных вод по речным бассейнам и субъектам РФ. Для визуализации и анализа распределения полученных величин водных ресурсов и ряда других параметров построены карты с использованием ГИС-технологий.

Гидролого-гидрогеологические условия ЕЧР сравнительно хорошо изучены. Собраны материалы по 359 водосборам ЕЧР, выбранным в качестве репрезентативных для пространственно-временно́го анализа изменений условий формирования и динамики водных ресурсов с 1945 по 2010 г.

Для выделенных водосборов рек рассчитаны среднемноголетние значения и коэффициенты вариации средних годовых и минимальных месячных расходов воды зимней и летней межени, коэффициента естественной зарегулированности стока. Для проверки статистической однородности рядов использовались критерии Фишера и Стьюдента, а для выяснения наличия монотонного возрастающего или убывающего тренда – непараметрический критерий Спирмена.

Расчеты среднемноголетних значений и коэффициента вариации проводились для интервалов в 30 и более лет, которые соответствуют периодам, когда изменения в метео- и гидрологических рядах наблюдений могут рассматриваться как репрезентативные. Показано, что именно 1978 год характеризуется как пороговый с началом отчетливо регистрируемых изменений климатических условий для большей части ЕЧР. Последнее установлено на основе совместного анализа разностных интегральных кривых стоковых характеристик для 60 репрезентативных створов бассейнов средних рек по всей территории ЕЧР. Вместе с тем, детальный анализ изменений минимальных расходов притоков рек Нижней Волги и Урала свидетельствует, что переломный год в водности на юге и юго-востоке ЕЧР сдвигается к 1982–1985 гг. Несмотря на некоторый разброс переломных лет в водности (5–7 лет), региональный анализ влияния долговременных климатических вариаций на сток рек и водные ресурсы оценивается по отклонению средних многолетних характеристик за период 1978–2010 гг. относительно значений за период 1945–1977 гг.

Анализировались также данные по рядам наблюдений годовых и сезонных осадков и температуре приземного воздуха для более 200 метеостанций в пределах ЕЧР.

Речные водосборы ЕЧР отличаются определенной антропогенной нагрузкой. В связи с этим современные условия формирования водных ресурсов на этой территории следует понимать как условно-естественные и, соответственно, ввести понятие "условно-естественные ресурсы поверхностных и подземных вод". Учитывая возобновляемость данных ресурсов, для краткости в дальнейшем используется понятие "возобновляемые ресурсы" или устоявшийся термин "естественные ресурсы". Неоднородность формирования водных ресурсов в различных естественных и нарушенных условиях оценивается по величине модуля в л/(с·км²) как основной характеристики при региональной оценке и их картировании в мелком и среднем масштабах.

Возобновляемые (естественные) ресурсы подземных вод оценивались по среднему меженному расходу воды, когда практически отсутствует снегодождевое питание и река пополняется преимущественно подземными водами, а также по методу генетического расчленения гидрографа среднего годового расхода речного стока [Куделин, 1960]. Сопоставление результатов расчетов этими основными методами показало состоятельность такой оценки для всех климатических зон ЕЧР. Значения меженных расходов воды за 20–30 лет практически совпадают со средними величинами подземного стока по расчленению гидрографов. Систематическое отклонение составляет не более 5–20% в зависимости от ландшафтно-климатических и гидролого-гидрогеологических условий для различных водосборов ЕЧР. Следовательно, сопоставление результатов генетического расчленения гидрографа с расчетами меженного стока различными методами показало состоятельность такой оценки для всех климатических зон ЕЧР.

В результате сложившейся климатической ситуации создались в целом благоприятные условия для формирования водных ресурсов. Характер атмосферной циркуляции, увеличение числа, продолжительности и "глубины" оттепелей, общее сокращение длительности холодного периода года служат причиной общего уменьшения глубины промерзания зоны аэрации. Уменьшение глубины промерзания почвы сопровождается также значительным повышением минимальной годовой температуры почво-грунтов в горизонтах глубже 60 см, что отмечается во всех природных зонах ЕЧР [Калюжный, Лавров, 2012; Джамалов и др., 2012].

Важным следствием увеличения числа, продолжительности и "глубины" оттепелей на ЕЧР служит рост потерь талого стока на инфильтрацию по сравнению с предыдущими десятилетиями. Рост уровня грунтовых вод на водно-балансовых станциях составляет 50–130 см. В связи с увеличением питания подземных вод их гидродинамическое состояние в последние годы в целом условно стабильное. Даже в зоне влияния крупного водоотбора в пределах сформированных воронок депрессии на территории Центрального федерального округа истощение запасов в 2013 г. не отмечалось.

Реакция стока на изменчивость климатических факторов особенно быстро проявляется на малых водосборах, где сокращение глубины промерзания зоны аэрации сопровождается активным формированием ячеистой структуры с преобладанием слабо мерзлых площадей (до 50–60%). В связи с этим снижаются весенний склоновый сток и пики половодья в речной сети, что приводит к значительному росту меженного стока рек. Коэффициент талого стока уменьшается до 0,3–0,4, гидрограф половодья распластывается [Водные ресурсы…, 2008; Джамалов и др., 2013]. Следовательно, происходит перестройка водного режима стока рек ЕЧР, приводящая к сокращению расходов за половодье и увеличению зимних расходов воды, т. е. к изменению основных фаз гидрологического режима.

Следует отметить неоднородную реакцию формирования половодного, меженного и минимального стока рек, которая зависит, прежде всего, от широтного расположения водосбора, а также от характера и масштабов хозяйственной деятельности. Закономерности распределения величин ресурсов подземных вод на территории ЕЧР определяются тремя основными природными факторами: климатическими (соотношение внутригодового распределения температур, атмосферных осадков и испарения), ландшафтно-орографическими (рельеф и абсолютные отметки подстилающей поверхности, эрозионная расчлененность, характер растительности) и гидрогеологическими (состав и фильтрационные свойства водовмещающих пород и зоны аэрации, глубина залегания грунтовых вод, степень дренированности).

Статистический анализ рядов годового стока рек севера ЕЧР за 1945–2010 гг. показал отсутствие значимых изменений годового стока практически для всех створов. Вместе с тем, незначительный рост общих водных ресурсов, или годового стока, (на 15–30%) наблюдается на реках, распо-

ложенных примерно между 56° и 60° с. ш. (левобережные притоки Волги в ее верхнем и среднем течении, часть бассейна Камы), т.е. преимущественно в лесостепной зоне. К северу и югу от этой полосы рост общих водных ресурсов находится в пределах ошибки их региональной оценки, т. е. выше средних многолетних значений на 5–15%. Такая тенденция характерна для бассейна Печоры, верховьев Северной Двины, бассейна Вычегды, левобережных притоков Волги и верховьев Днепра, а также для левобережных притоков Дона и рек горной части бассейна Кубани. На остальной части ЕЧР современные изменения годового стока незначительны, более того, в отдельных случаях наблюдается слабая тенденция уменьшения годового стока.

Во внутригодовом распределении стока заметно последовательное снижение максимальных расходов и распластывание волны половодья, постепенное увеличение меженного стока. В результате одновершинные гидрографы с четким весенним максимумом сменяются современными гидрографами с гребенчатой формой в фазу повышенной водности. При этом превышение весенних максимальных расходов воды над меженными сокращается с 10–15 до 3–5 раз. Анализ фактических данных за последние 100 лет показывает, что ранее таких изменений водного режима не происходило [Водные ресурсы…, 2008].

Таким образом, в последние годы происходят радикальные изменения условий формирования годового стока и его режима, сопровождающиеся значительным снижением неравномерности внутригодового распределения, увеличением подземной и уменьшением поверхностной составляющих речного стока. Эти процессы носят региональный характер, что в конечном итоге привело к значительному увеличению естественной зарегулированности стока. Статистически значимый возрастающий тренд коэффициента ϕ (отношение базисного стока к годовому) проявляет себя для большинства рассматриваемых рек ЕЧР [Водные ресурсы…, 2008; Джамалов и др., 2012].

Изменение естественных ресурсов подземных вод (меженного стока) отмечается для большинства рек ЕЧР. Положительные значимые тренды (при уровне 95%) стока зимней и летне-осенней межени характерны для бассейнов верхней и средней Волги, Оки (южная часть лесной и лесостепной зон), большей части бассейна Урала. Наибольшие изменения ресурсов подземных вод (70% и более) характерны для верховьев рек Ока, Урал. В начале XXI в. модули меженного (подземного) стока рек и, соответственно, естественные ресурсы подземных вод ЕЧР возросли в среднем на 40–60%, или примерно в 1,5 раза, по сравнению с величинами до середины 1970-х гг. Максимальное изменение меженного стока характерно для лесостепной зоны, что связано не столько с увеличением снегозапасов, сколько с особенностями снижения весеннего стока и перевода его в подземный.

Ресурсы подземных вод европейского севера показывают некоторую тенденцию их увеличения для большинства бассейнов рассмотренных рек. В среднем доля подземного стока составляет ~30–40% и незначительно меняется для рек этого региона. Для рек бассейна Волги (за исключением Камы) наблюдается существенное увеличение (45–70%) зимнего меженного стока. Примерно такая же величина характерна для изменения подземного стока верховьев Дона. Вместе с тем на севере ЕЧР, а также южнее Цимлянского водохранилища отмечается либо незначительное уменьшение меженного стока, либо столь же статистически незначимое увеличение. На реках южного склона ЕЧР (рр. Дон, Кубань, Терек и др.) увеличение стока за маловодный период происходит за счет роста как зимних расходов воды, так и летних минимальных расходов, обусловленных увеличением суммы атмосферных осадков.

Подземный сток (ресурсы подземных вод) в различных климатических зонах формируется за счет так называемых эффективных осадков (просачивающихся до уровня подземных вод). Для средней полосы ЕЧР это обычно осадки зимне-весеннего и осеннего сезонов года. Однако в современных климатических условиях зимний сезон за счет частых оттепелей характеризуется повышенным стоком снегодождевого происхождения с ноября по февраль–март. Для величин подземного стока ряда рек установлены тесные корреляционные связи (0,5–0,7) с суммарным количеством осадков за ноябрь–апрель предшествующего года.

Изменения минимального месячного стока, или естественных минимальных водных ресурсов, не столь существенны и в среднем составляют 1–2 л/(с·км²). Максимальные модули месячных ресурсов (до 2–3 л/(с·км²)) характерны для северных регионов. В низовьях Дона и Волги значения минимального модуля уменьшаются до 1 л/(с·км²) и менее. Наиболее существенное увеличение минимальных ресурсов (50–70%) происходит в верхнем течении Оки, среднем течении Волги, в бассейне Урала, в верхнем течении Дона. К югу от этой полосы (устье и среднее течение Дона, Предкавказье) рост минимального стока менее значителен (до 15%) вплоть до его снижения.

Актуальность выполненных исследований постоянно возрастает в связи с сохраняющейся нестационарностью климатических характеристик. В результате установлено, что наиболее значимые изменения условий формирования водных ресурсов связаны с подземной составляющей речного стока (меженный и минимальный месячный сток), которая служит лимитирующим фактором водообеспечения территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Водные ресурсы России и их использование (под ред. И.А. Шикломанова).– СПб: ГГИ, 2008.– 598 с.

Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Кричевец Г. Н., Сафронова Т. И., Киреева М. Б., Игонина М. И. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России //Водные ресурсы, 2012. – Т. 39, – № 6. – С. 571-589.

Джамалов Р. Г., Фролова Н. Л., Киреева М. Б. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона // Водные ресурсы, 2013. – Т. 40. – № 6. – С. 573-584.

Калюжный И.Л., Лавров С.А. Основные физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек в условиях потепления климата // Гидрология и метеорология, 2012. – № 1. – С. 68–81.

Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. – М.: Изд-во МГУ, 1960. – 344 с.

ESTIMATION OF RENEWABLE WATER RESOURSES IN EUROPEAN RUSSIA AND SPACE-TIME ANALYSIS OF THEIR DISTRIBUTION

Dzhamalov R.G.[1], Frolova N.L.[2], Bugrov A.A.[1], Grigoriev V.Yu.[1], Kireeva M.B.[2], Rets E.P.[1], Safronova T.I.[1], Telegina A.A.[1], Telegina E.A.[2]

[1] *Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, dzhamal@aqua.laser.ru*

[2] *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, frolova_nl@mail.ru*

ABSTRACT

General features of water resources formation were established. The absolute and specific amounts of water resources for river basins, federal districts of RF were calculated. The time distribution mean annual, dry-season, and minimal water resources and their space distribution over river basins were evaluated.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РУССКОЙ РАВНИНЫ

Долгов С.В., Коронкевич Н.И.

Институт географии РАН, Москва

svdolgov1978@rambler.ru

Предложена схема гидрологической дифференциации вертикального разреза Русской равнины. Разработана и апробирована методика регионального пространственно-временного анализа водного баланса. Получены статистические зависимости, отражающие различные аспекты пространственно-временной изменчивости основных элементов водного баланса. Оценены изменения стока, его поверхностной и подземной составляющих в зависимости от изменений осадков и температуры воздуха. На примере биогенов выявлены особенности гидрохимического функционирования вертикального разреза речного бассейна.

Эффективность и точность используемых в гидрологии методов расчета и прогноза во многом зависит от полноты знаний о гидрологических процессах и возможности их детализации. Между тем, явно преобладают подходы, базирующиеся на интегральных для речного бассейна показателях. На гидрологическую его неоднородность одним из первых обратил внимание В.Г. Глушков. Он выступил с идеей географо-гидрологического метода. Метод предполагает дифференциацию гидрологических процессов в соответствии с ландшафтным устройством территории. В развитие этой идеи М.И. Львовичем, А.И. Субботиным, А.Н. Антиповым и другими выявлены закономерности пространственного распределения элементов водного баланса. Исследования выполнены в основном для среднемноголетних условий и характеризуют преимущественно плановую ландшафтную структуру речных бассейнов.

Однако неоднородность речных бассейнов выражается не только в пространстве, но и в вертикальном (высотно-глубинном) разрезе. В этом направлении наблюдается наибольшая изменчивость условий формирования водного и вещественного балансов. Обобщение существующих представлений в гидрологии, гидрогеологии и физической географии позволяет заключить, что не только в горных, но и равнинных условиях существует вертикальная гидрологическая зональность (ярусность). Она проявляется в закономерных пространственно-временных изменениях по вертикали водного и вещественного балансов. Эти изменения отражают смену, как в надземном, так и в подземном интервале, различных ярусов, поясов и слоев, по-разному трансформирующих атмосферные осадки в другие составляющие водного баланса.

Особенности вертикального строения территории учитываются в элементной структуре водного баланса. Региональный уровень исследований освещен достаточно детально как в гидрологии, так и в гидрогеологии. Составлены карты составляющих водного баланса для различных регионов мира, в том числе для Русской равнины. Обобщение данных воднобалансовых стационаров позволило выделить важные генетические составляющие (склоновый сток с разных угодий, сток верховодки и сток с гидрографической сети и т.д.) стока, фиксируемого в замыкающем створе. По сути, территория в такой схеме представлена уже не одной "точкой" (уравнение А. Пенка), а множеством "точек" (балансовых элементов) или параллельных "плоскостей", занимающих различное высотное положение на одной и той же вертикали. В качестве примера можно привести результаты расчетов элементов среднего многолетнего водного баланса для бассейнов рек Волги (лесная зона) и Дона (степная зона), представленные в работах [Долгов, Коронкевич, 2010]. В этих работах дан сравнительный анализ для этих бассейнов не только осадков, испарения и полного речного стока, но и его поверхностной и подземной составляющих, а также задержанных растительностью осадков, валового увлажнения территории и почв, стока по поверхности почвы, верховодки и общего стока инфильтрационного происхождения.

В основном, однако, прояснены средние многолетние характеристики. Пространственно-временной тип структуры водного баланса остается недостаточно изученным. Много вопросов остается в отношении формирования структуры водного баланса в годы разной водности и увлажненности, о соотношении поверхностной и подземной составляющих речного стока. Нами эти вопросы рассмотрены для территории Русской равнины [Долгов, Коронкевич, 2010; Долгов, 2012]. Исходная информация представлена временными рядами годового

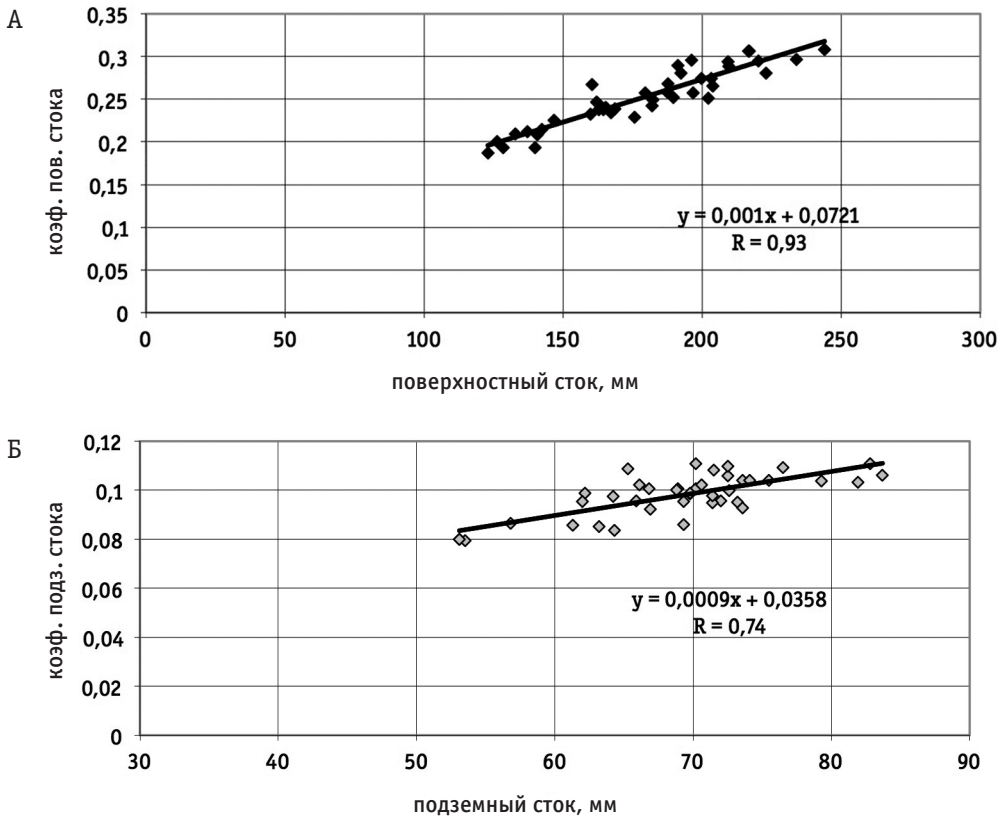


Рис. 1. Зависимость коэффициента поверхностного (А) и подземного (Б) стока от среднегодовой их величины

речного стока, его поверхностной и подземной составляющих, минимального зимнего стока (каждый массив включает 192 пункта). Она включает также годовые осадки, осадки за холодный и теплый периоды (162 метеостанции) и дефицит влажности воздуха (168 пунктов).

Для пространственно-временного анализа структуры водного баланса построена серия карт, отражающих особенности распределения по территории основных его элементов, их соотношения и сопряженности в годы разной водности, в том числе поверхностной и подземной составляющей стока 5 и 95% обеспеченности, а также доли подземного питания рек 5 и 95% обеспеченности.

Анализ распределения по территории речного стока за конкретные годы показал, что оно обусловлено, прежде всего, особенностями распределения годовых осадков. Причем в многоводные годы осадки расходуются более эффективно (с наименьшими потерями) на образование как поверхностной, так и подземной составляющих стока, чем в маловодные годы. В многоводные годы увеличиваются коэффициенты суммарного стока, поверхностной и подземной его составляющих (рис. 1). При этом возрастает доля поверхностного стока в суммарном речном стоке, а доля подземного стока снижается.

На характере многолетних колебаний суммарного стока в первую очередь сказывается гидрологическое функционирование поверхностного яруса речного бассейна. В меньшей мере, но существенным образом, оказывает влияние и подземный ярус, особенно в маловодные годы, когда увеличивается доля подземного питания рек. Между показателями пространственно-временной изменчивости суммарного речного стока и его генетических составляющих – поверхностного и подземного стока, существует достаточно тесная коррелятивная связь. Она существует, например, для коэффициентов вариации и автокорреляции.

Для рассматриваемой территории получены оценки климатических изменений, как годового стока, так и его основных составляющих (рис. 2). Важно отметить, что изменения осадков в холодный и теплый периоды года по-разному сказываются на многолетних колебаниях стока, а изменение температуры воздуха на одну и ту же величину сопровождается разным по территории изменением осадков и стока в зависимости от физико-географической зональности и сезона.

Разработанная схема расчета климатических изменений пространственной структуры стока может использоваться и в прогностических целях,

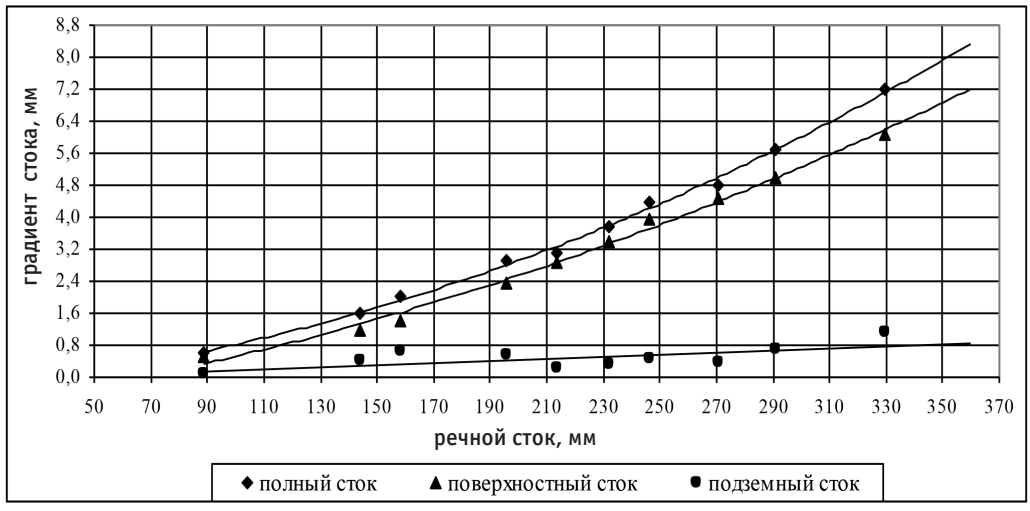


Рис. 2. Градиент увеличения стока и его составляющих на территории Русской равнины при росте годовых осадков на 10 мм в зависимости от среднемноголетнего зонального стока

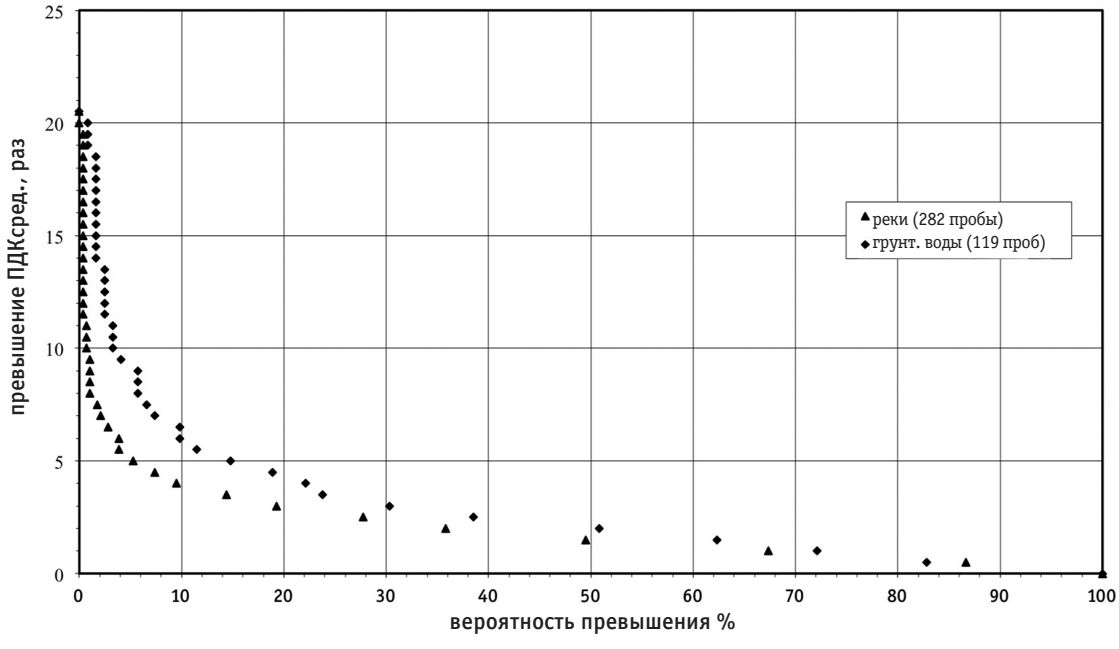


Рис. 3. Содержание биогенов в речных и грунтовых водах Донского бассейна в летнюю межень 1993–2004 гг.

допуская, что и в будущем сохранятся современные тенденции в реакции гидрологических систем на колебания осадков и температуры. Детерминированный прогноз изменений климата даже на ближайшие десятилетия остается нерешенной проблемой. Поэтому для прогнозной оценки гидрологических последствий этих изменений наиболее корректен сценарный подход. В качестве примера выполнена прогнозная оценка увеличения речного стока, его поверхностной и подземной составляющих на территории Русской равнины при росте годовой температуры на 3 градуса и трехкратном превышении роста температуры холодного периода над ростом температуры теплого периода. Это близко к наблюдаемому в последние годы соотношению. Учитывалось связанное с этим увеличение осадков. Расчеты выполнены отдельно для холодного и теплого периодов. Тем самым учитывалась разнонаправленность влияния изменений температур в эти периоды на сток. Расчеты на независимом материале (по данным о стоке за 1990–2007 гг.) показали, что такая расчетная схема оценки изменений стока по изменению температуры является удовлетворительной.

Вертикальная неоднородность водосборов играет важную роль в формировании и качества водных ресурсов. Так, выявлено существенно большее содержание биогенов (среднее превышение ПДК

нитратами, нитритами, аммонием и фосфатами) в грунтовых водах по сравнению с речными в бассейне Дона (рис. 3).

Активным и ежегодно возобновляемым источником биогенов и других химических веществ, поступающих в подземные и поверхностные воды, является такой элемент вертикальной структуры речного бассейна, как растительность. Следствием этого является то, что значительное поступление азота в грунтовые воды и накопление в них возможны и в естественных условиях, а не только на сельскохозяйственных угодьях.

Одно из основных направлений дальнейших исследований видится в совместном изучении водного и вещественного балансов вертикальной гидрологической структуры территории в различных природных и хозяйственных условиях, особенно в годы разной водности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Долгов С.В. Пространственные и временные изменения вертикальной структуры речного стока в Европейской части России // Вопросы географии / Моск. отделение Русского геогр. о-ва. – М., 1946-2012. – Сб. 133: Географо-гидрологические исследования/Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова. – М.: Издательский дом "Кодекс", 2012. – С. 189–210.

Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Высотно-пространственный и пространственно-временной анализ водного баланса Европейской части России //Вод. ресурсы, 2010. – Т. 37, № 2. – С. 134–149.

Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Гидрологическая ярусность равнинной территории //Изв. РАН. Сер. геогр., 2010. – № 1. – С. 7–25.

VERTICAL HYDROLOGICAL STRUCTURE OF RUSSIAN PLAIN

Dolgov S.V., Koronkevich N.I.

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, svdolgov1978@rambler.ru

ABSTRACT

Hydrological scheme of differentiation of the vertical section of the Russian Plain was proposed. Methodic of regional spatial-temporal analysis of the water balance was developed and tested. Statistical dependences, reflecting the various aspects of spatiotemporal variability of the main elements of the water balance was obtained. Changes of runoff, its surface and underground components, depending on the changes in air temperature and rainfall were evaluated. On the example of biogens peculiarities hydro chemical functioning of the vertical section of the river basin was revealed.

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЛИНЕАРИЗАЦИИ СВЯЗЕЙ И НОРМАЛИЗАЦИИ ИСХОДНЫХ РЯДОВ ПРИ РАСЧЕТАХ ПО УРАВНЕНИЯМ РЕГРЕССИИ

Долинная С.Я., Шелутко В.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
shelutko@rshu.ru

Рассматриваются вопросы применения методов линеаризации и нормализации исходной информации при расчетах по уравнениям регрессии. Исследуются особенности этих методов в связи с граничными условиями регрессионной модели. Даются рекомендации по их учету этих особенностей для повышения эффективности расчетов.

К настоящему времени опубликовано значительное число работ, в которых парный или множественный регрессионный анализ применялся для идентификации математических моделей процессов стока. Наряду с работами, содержащими положительный опыт применения регрессионного анализа, отмечались случаи, когда достичь желаемой точности математического описания не удавалось. Последнее обстоятельство послужило поводом для скептического отношения некоторых авторов к методам парной и множественной регрессии.

Между тем, часто основная причина неудач заключается в механическом приложении схемы регрессионного анализа без учета специфических особенностей используемого математического аппарата. Эти особенности, сформулированные в виде граничных условий, были опубликованы еще в 1983 году [Шелутко, 1991].

Особенно большое влияние на результативность оценки взаимосвязей природных процессов на основе регрессионной модели оказывает несоблюдение двух основных граничных условий:

– связь между сопоставляемыми рядами должна быть линейной;
– сопоставляемые ряды должны подчиняться нормальному закону распределения.

В практике исходные ряды часто не соответствуют этим условиям. В этих случаях для учета названных условий используются различные методы линеаризации и нормализации связей. Среди них наибольшее распространение получили метод логарифмирования исходной информации и метод нормализации и линеаризации связи Г.А. Алексеева [1971].

Между тем, результаты применения этих методов при расчетах по уравнениям парной или множественной корреляции нередко оказываются неэффективными, несмотря на то, что они в достаточной степени учитывают названные граничные условия.

Целью настоящей работы является выяснение причин недостаточной эффективности названных методов и разработка рекомендаций по ее повышению.

Как известно [Статистические методы…, 1967; Шелутко, 1991], логарифмирование заключается в преобразовании исходных данных в десятичные или натуральные логарифмы. Полученные в результате логарифмирования сопоставляемых рядов связи, в случае если эти связи являются монотонно убывающими или монотонно возрастающими, становятся линейными.

Метод линеаризации и нормализации Г.А. Алексеева был предложен еще в 1960-ые гг., но из-за трудоемкости расчетов не получил особого распространения.

Полученные в результате применения этого метода связи, в случае если по исходным рядам они являются монотонно убывающими или монотонно возрастающими, также как и при логарифмировании становятся линейными. Кроме того, полученные в результате нормализации ряды подчиняются нормальному закону распределения. Таким образом, в результате применения нормализации методом Г.А. Алексеева учитываются оба рассматриваемые граничные условия.

При анализе эффективности рассмотренных методов необходимо было произвести довольно трудоемкие расчеты. Поэтому в среде Делфи (Delphi) была разработана специальная программа, способная производить расчеты характеристик уравнений регрессии по любому заданному числу аргументов и их преобразований.

Для иллюстрации результатов исследований в данном случае было отобрано четыре примера, разных по характеру связи между сопоставляемыми рядами и эффективности рассматриваемых пре-

Таблица 1. Результаты расчетов уравнений парной и множественной корреляции по исходным и преобразованным рядам

РЯДЫ ДАННЫХ	ЧИСЛО АРГУМЕНТОВ	ПО ПРЕОБРАЗОВАННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ИСХОДНЫХ РЯДОВ		ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ИСХОДНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ	
		R_0	σ	R_0	σ
Максимальные расходы воды р. Амур в пунктах Богородское (Y), Комсомольск-на-Амуре (X_1) и Хабаровск (X_2) за период 1893–2013 гг.					
исходные	2			0,98	0,004
нормализованные	2	0,97	0,01	0,96	0,007
логарифмированные	2	0,97	0,01	0,97	0,006
Р. Великая, г. Опочка, нижний створ: БПК (Y), растворенный кислород (X_1), расход воды (X_2), верхний створ: БПК (X_3)					
исходные	3			0,67	0,05
нормализованные	3	0,77	0,03	0,73	0,04
логарифмированные	3	0,74	0,04	0,67	0,05
Коэффицент разбавления сточных вод в период весеннего половодья на р. Юг у села Подосиновца (Y), запас воды в снеге+осадки (X_1), показатель осеннего увлажнения почвы (X_2)					
исходные	2			0,65	0,13
нормализованные	2	0,81	0,08	0,85	0,06
логарифмированные	2	0,33	0,20	0,44	0,19
Бассейн р. Уайт-Холлоу, сток за декабрь (Y), осадки за октябрь (X_1), ноябрь (X_2), декабрь (X_3)					
исходные	3			0,79	0,80
нормализованные	3	0,86	0,60	0,78	0,09
логарифмированные	3	0,86	0,60	0,90	0,04

образований. В таблице 1 представлены результаты расчетов сводных коэффициентов корреляции R_0 по исходным, логарифмированным и нормализованным рядам рассматриваемых примеров. В первой колонке таблицы указан вид исходной информации; во второй колонке – число использованных аргументов при построении уравнения регрессии; в третьей и четвертой колонках приведены, соответственно, сводный коэффициент корреляции и средняя квадратическая погрешность его расчетов по преобразованным значениям исходных рядов; в пятой и шестой колонках указаны, соответственно, сводный коэффициент корреляции и средняя квадратическая погрешность его расчетов по рядам, полученным после перехода от преобразованных значений к исходным.

По большинству представленных примеров нормализация и логарифмирование исходной информации повышают сводные коэффициенты корреляции уравнений регрессии сопоставляемых рядов и, следовательно, увеличивают точность расчетов по уравнениям регрессии.

Наибольшее повышение сводного коэффициента корреляции, судя по приведенным примерам, получается после нормализации исходных рядов методом Г.А. Алексеева. Логарифмирование дает несколько меньшую эффективность.

В двух случаях в выбранных примерах указанные преобразования оказываются неэффективными, в частности, они не улучшили результатов расчетов максимальных расходов воды р. Амур в пункте Богородское по связи с максимальными расходами в пунктах Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре, а при расчетах разбавления сточных вод в период весеннего половодья (река Юг у села Подосиновца) по логарифмированным рядам результаты оказались значительно хуже, чем по исходным рядам.

Метод Г.А. Алексеева, полностью линеаризующий монотонно убывающие и монотонно возрастающие связи и, что особенно важно, приводящий путем преобразований исходные ряды к нормальному закону распределения, казалось бы, должен быть эффективным во всех случаях. Теоретически им доказано, что сводный коэффициент корреляции, рассчитанный по нормализованным рядам, должен быть всегда больше или равен сводному коэффициенту корреляции по исходным рядам. Однако при практических расчетах в ряде случаев это положение не соблюдается.

Поэтому для обоснованного использования метода преобразования Г.А. Алексеева необходимо было выяснить причины расхождения ожидаемых и действительных результатов расчетов уравнений множественной корреляции на основе линеаризации и нормализации.

В таблице 1 в качестве примера представлены характеристики уравнения регрессии максимальных расходов воды по р. Амур в пунктах Богородское (Y), Комсомольск-на-Амуре (X_1) и Хабаровск (X_2) за период 1893–2013 гг. В примере приводится предельный случай, когда сводный коэффициент корреляции уравнения регрессии по исходным рядам достаточно велик: $R_0 = 0,98$. В то же время сводный коэффициент корреляции уравнения множественной корреляции, полученный по нормализованным данным, равен 0,97, то есть меньше сводного коэффициента корреляции, полученного по исходным рядам наблюдений.

Конечно, исходя из чисто практических соображений, в данном случае вряд ли стоило применять какие-то преобразования, так как сводный коэффициент корреляции и так достаточно велик. И все же в чем дело, почему в случае почти функциональной связи нормализация не только не улучшает результаты расчета по уравнению регрессии, а в некоторой степени ухудшает их.

По нашему мнению, это определяется тем, что переходы от исходных к нормализованным рядам и обратно совершаются по теоретической кривой обеспеченности. Между тем, эмпирические кривые обеспеченности, как и в данном случае, не полностью совпадают с теоретическими кривыми обеспеченности. Вследствие этого, при переходе от исходных значений ряда к нормализованным и обратном переходе происходит сглаживание исходной информации в тем большей степени, чем больше рассеивание эмпирических точек относительно теоретической кривой обеспеченности. Например, для исходного ряда максимального стока р. Амур у п. Богородское дисперсия D = 38450000, а дисперсия нормализованного ряда, то есть ряда значений, снятых по соответствующим обеспеченностям с теоретической кривой обеспеченности, равна 36780205. Таким образом, за счет нормализации дисперсия нормализованного ряда снижается на 4,3% по отношению к дисперсии исходного ряда. Очевидно, что то же самое происходит при нормализации и с другими рядами. Важно также отметить, что и обратный переход от нормализованных, рассчитанных по уравнению регрессии значений, к исходным, также совершается по теоретической кривой обеспеченности. Это еще больше снижает дисперсию рассчитанных значений и в конце концов при большом разбросе значений ряда относительно теоретической кривой обеспеченности может привести к значительному снижению эффективности метода.

Таким образом, эффективность применения метода нормализации и линеаризации связей Алексеева во многом зависит от согласия эмпирической и теоретической кривой обеспеченности для всех исходных рядов, использованных при построении уравнения регрессии. Следует учесть, что разброс значений эмпирической кривой обеспеченности относительно теоретической в некоторой степени зависти от длины исходного ряда, Как показывает опыт, для эффективного использования метода нормализации и линеаризации длина совместного периода наблюдений по исходным рядам должна быть не меньше 15–20 лет.

При расчетах уравнения регрессии разбавления сточных вод в период весеннего половодья (река Юг у села Подосиновца) (табл. 1) по исходным рядам сводный коэффициент корреляции $R_0 = 0,65$, а по логарифмированным рядам $R_0 = 0,33$. То есть, логарифмирование исходных рядов резко уменьшило тесноту связи. В тоже время по существующим представлениям логарифмирование исходных данных при построении монотонно убывающих или монотонно возрастающих связей должно или увеличивать тесноту связи или оставлять ее неизменной.

Для разрешения этого противоречия была проанализирована связь рассчитанных по уравнению регрессии логарифмов исходного ряда X и значений исходного ряда Y. Как и следовало ожидать, в соответствии со сводным коэффициентом корреляции 0,33 связь выражена очень слабо. Особенно сильно отклоняются от линии регрессии две точки в левой части графика при минимальных значениях ряда логарифмов. При исключении этих точек из исходных рядов связь существенно изменилась и стала более выраженной. Увеличился и сводный коэффициент корреляции уравнения. Так, по исходным рядам сводный коэффициент корреляции при исключении этих двух точек стал равным 0,86, а по логарифмам – 0,88.

Для обоснования полученного результата была проведена проверка однородности исходных рядов и рядов их логарифмов по критерию Диксона для минимальных значений. Оказалось, что гипотеза об однородности ряда по критерию Диксона опровергается по ряду логарифмов X_2 (показатель осеннего увлажнения почвы). Следовательно, эти значения и соответствующие им по дате значения рядов Y и X_1 необходимо исключать при построении уравнения регрессии [Малинин, 2008]. Вместе с тем, тогда возникает другой вопрос, почему исходный ряд X_2 является однородным, а ряд логарифмов это-

го ряда имеет выбросы. Возможно, дело в том, что в результате логарифмирования получается новый ряд с особыми свойствами, не присущими исходному ряду. Причем, эти отличия возрастают от меньших значений членов ряда к большим.

Таким образом, на результаты расчетов по уравнениям парной и множественной корреляции в значительной степени влияет несоблюдение ряда граничных условий применения этих уравнений. С помощью методов линеаризации и нормализации можно во многих случаях добиться увеличения тесноты связи сопоставляемых рядов и, следовательно, повышения точности расчетов по уравнению регрессии

Для учета условия о линейности связей сопоставляемых рядов, в случае если связи являются монотонно убывающими или монотонно возрастающими, во многих случаях достаточно эффективным оказывается метод логарифмирования исходной информации. Вместе с тем, при наличии выбросов в исходных или логарифмированных рядах эффективность этого метода уменьшается, поэтому желательно перед анализом связи проверить исходные ряды на наличие выбросов и, если они есть, убрать их.

Во многих случаях более эффективным методом, является метод линеаризации и нормализации связи Г.А. Алексеева. Однако, эффективность этого метода резко понижается при периоде совместных наблюдений меньше 10–15 лет и при большом разбросе значений эмпирической кривой обеспеченности относительно теоретической кривой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 362 с.

Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.

Статистические методы в гидрологии /Перевод с английского. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 271 с.

Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 240 с.

QUESTIONS ON THE USE OF LINEARIZATION AND NORMALIZATION METHODS OF ORIGINAL SERIES IN REGRESSION EQUATIONS' CALCULATING

Dolinnaya S. Ya., Shelutko V.A.

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

shelutko@rshu.ru

ABSTRACT

Questions on the use of linearization and normalization methods of original series in regression equations' calculating are regarded in this article. The features of these methods are investigated in relation to the boundary conditions of the regression model. Recommendations are given to register these features to improve the efficiency of calculations.

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОЗЕР, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РЕГИОНАХ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ

Измайлова А.В., Шмакова М.В.

Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург

ianna64@mail.ru

Предлагается схема расчета водных ресурсов озер, расположенных в зоне недостаточного увлажнения в годы разной водности.

К регионам недостаточного увлажнения принято относить территории, в пределах которых величина испарения в среднем за многолетний период превышает количество выпадающих за год атмосферных осадков. В России зона недостаточного увлажнения занимает значительную часть юга страны (около 15% площади РФ). Ее характерной чертой является высокая временная изменчивость водных ресурсов (включая озерные воды), как во внутригодовом, так и в многолетнем разрезе.

В регионах недостаточного увлажнения РФ находится большое количество озер, как пресных, так и минерализованных. Водный реестр, являющийся в настоящее время официальным систематизированным сводом документированных сведений о водных объектах, находящихся в федеральной собственности, представляет лишь осредненные данные по площадям озер. Вместе с тем, при значительной вариации уровней воды, такие данные для рассматриваемых регионов представляются малоинформативной характеристикой, требующей введения дополнительных параметров. То же касается и данных, полученных в результате проведенной в Институте озероведения РАН (ИНОЗ РАН) новой оценки водных ресурсов озер РФ, выполненной по всем субъектам федерации с учетом осредненных значений площади озерного покрытия [Измайлова, 2014]. Именно при проведении данной оценки возник вопрос о необходимости ее расширения при расчете водных ресурсов озер регионов недостаточного увлажнения, характеризующихся высокой временной изменчивостью водных запасов. При низких запасах озерных вод в таких регионах начинают возникать экологические проблемы, ухудшается качество воды, снижается рыбохозяйственный потенциал водоемов, проявляются проблемы водопользования. В то же время высокие запасы вод могут приводить к значительному подтоплению территорий, что вызывает материальный ущерб в регионах хозяйственного освоения. В связи с этим, оценка изменений водных ресурсов озер в районах недостаточного увлажнения в периоды разной водности крайне актуальна.

Регионы недостаточного увлажнения характеризуются низкой лимнологической изученностью. Лишь относительно небольшое количество расположенных здесь озер входит в систему мониторинга Росгидромета. Оценка временной изменчивости озерных водных ресурсов таких регионов требует специального методического обоснования. При этом методика оценки должна опираться на весьма скудные данные гидрометрических измерений, в тоже время могут быть использованы данные космической съемки за различные сезоны года и периоды водности.

Задача разработки методики оценки водных ресурсов озер для регионов недостаточного увлажнения за счет ввода дополнительных параметров, позволяющих учесть их значительную временную изменчивость, поставлена в рамках проекта ИНОЗ РАН по Программе ОНЗ-10. Работа над темой начата в 2015 г.

Среди регионов недостаточного увлажнения РФ значительную площадь занимает юг Западной Сибири, характеризующийся большим количеством озер и наиболее полной (в сравнении с югом ЕТР и Восточной Сибири) лимнологической изученностью. В связи с этим именно данная территория была выбрана для разработки методического подхода к оценке водных ресурсов озер в периоды различной водности.

Анализ имеющихся данных по измерениям уровней воды осуществляемым Росгидрометом свидетельствует, что в шести областях Западной Сибири, полностью или частично расположенных в зоне недостаточного увлажнения, наблюдения за уровнем воды проводились по 58 озерам (табл. 1), в том числе по 12 крупным с площадями зеркала более 50 км^2 (всего таких озер 19). Озер, на которых наблюдения за уровнем воды ведутся более 25 лет – 42 (в том числе 13 крупных), более 40 лет – 30 (в том числе 11 крупных).

К сожалению, необходимо констатировать, что для Западной Сибири мы имеем очень небольшое

Таблица 1. Гидрометрическая изученность Западной Сибири

Субъект федерации	Количество озер, на которых ведутся наблюдения					
	всего			с площадью > 50 км²		
		продолжительность рядов			продолжительность рядов	
		> 25 лет	> 40 лет		>2 5 лет	> 40 лет
Омская область	11	9	3	4	4	1
Новосибирская область	23	13	12	5	5	5
Алтайский край	7	5	3	4	3	3
Тюменская область	9	7	7	0		
Курганская область	9	7	4	1	1	
Кемеровская область	1	1	1	0		
Всего	**58**	**42**	**30**	**14**	**13**	**9**

количество измеренных данных, тем более, что периоды наблюдений сильно различаются. Однако, несмотря на ограниченность данных, только реальные наблюдения Росгидромета могут быть положены в основу оценки изменения запасов озерных вод рассматриваемой территории. Ограниченность данных лишь осложняет возможный методический подход к такой оценке, и снижает ее точность. При этом дефицит данных, частично, может быть восполнен за счет использования спутниковой информации, а именно, за счет данных по площадям всех дешифрируемых озер, определенных по спутниковым снимкам в конкретные годы и в конкретный период. Такие данные (уже определенные ранее для периода средней водности) позволяют нам построить кривые распределения площадей зеркала и объемов озер всей исследуемой территории, получив, таким образом, важнейшую информацию, необходимую для начала статистических построений. Накопленная к сегодняшнему дню спутниковая информация также дает нам возможность оценить изменения площади водного покрытия территории в годы разной водности и в разные периоды (межень и половодье). Однако только статистический анализ может привести нас к оценке озерных ресурсов различной обеспеченности.

Следует сразу заметить, что оценку водных ресурсов озер планируется проводить отдельно для двух временных масштабов – для лет различной водности и для минимальных и максимальных среднемесячных значений за многолетний период. Согласно СП 33-101-2003, "при периоде наблюдений n от 15 до 30 лет выделяют три группы лет: многоводные годы ($P < 33{,}3\%$), средние по водности годы ($33{,}3\% \leqslant P \leqslant 66{,}7\%$) и маловодные годы ($P > 66{,}7\%$). При продолжительности наблюдений более 30 лет выделяют пять групп: очень многоводные годы ($P < 16{,}7\%$), многоводные годы ($16{,}7\% \leqslant P < 33{,}3\%$), средние по водности годы ($33{,}3\% \leqslant P < 66{,}7\%$), маловодные годы ($66{,}7\% < P \leqslant 83{,}3\%$) и очень маловодные годы ($P > 83{,}3\%$). Во всех методах расчета по значениям стока за отдельные водохозяйственные годы (а в методах компоновки и реального года и за расчетные внутригодовые интервалы времени: лимитирующий период, лимитирующий сезон, нелимитирующий сезон, лимитирующий месяц и др.) определяют расчетные квантили. Стандартными квантилями кривых распределения вероятностей стока являются следующие: для многоводных лет, периодов, сезонов и месяцев – 1%, 3%, 5%, 10% и 25%; для маловодных лет, периодов, сезонов и месяцев – 75%, 90%, 95%, 97% и 99%, для средних по водности лет – 50%".

Для оценки изменений запасов воды в озерах, расположенных в зоне недостаточного увлажнения в исследуемом регионе, для каждой административной единицы вся совокупность озер была разделена на группы в зависимости от площади зеркала (> 50 км², 1–50 км² и < 1 км²). Озера первой группы (с площадью зеркала более 50 км²) достаточно освещены наблюдениями и поэтому расчет будет проводиться непосредственно для каждого озера. Озера с площадями зеркала < 1 км² не входят в число объектов изучаемых Росгидрометом. Их оценка, к сожалению, может опираться лишь на данные по изменениям суммарных площадей покрытия водоемами данного размера, полученные со спутниковых снимков в выборочные годы конкретной обеспеченности (отдельно за паводковый и меженный периоды). Однако их доля в суммарном объеме воды по большинству субъектов федерации невелика.

Для средней группы озер с площадью от 1 до 50 км² были назначены так называемые реперные озера. Реперные озера характеризуются наиболее типовыми для данной группы исследуемого региона характеристиками, являются хорошо изученными и имеющими достаточно продолжительные ряды наблюдений.

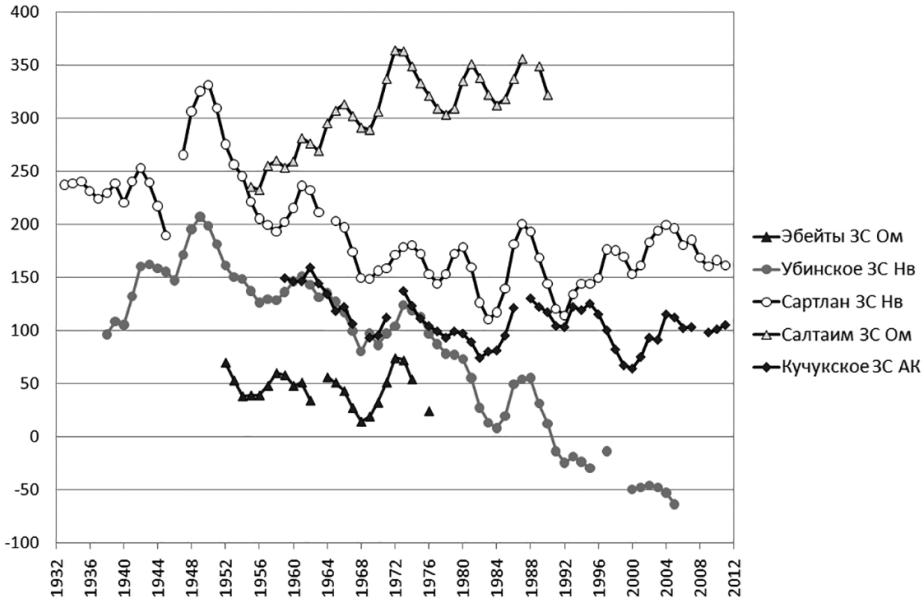


Рис.1. Хронологический ход уровня воды некоторых озер исследуемой территории

Предлагаемая схема оценки запасов воды озер данной группы имеет статистическую основу. Основными расчетными характеристиками являются:

1. параметры функционально-нормального распределения рядов объемов озер в период средней водности;
2. параметры распределения среднегодовых и среднемесячных рядов уровней воды реперных озер;
3. параметры функциональной зависимости объема водной массы озера V от площади зеркала $F_{зер}$ и средней глубины h для каждой группы $V = f(F_{зер}, h)$. В оценке этих параметров могут быть полезны батиграфические кривые.

Для подтверждения правомерности использования отдельных (реперных) озер и распространения рассчитанных по данным этих озер характеристик на всю группу, необходимо проверить синхронность многолетних колебаний уровня их воды. На рис. 1 представлен хронологический ход среднегодовых уровней некоторых озер Западной Сибири. Необходимо отметить, что коэффициент корреляции между всеми парами реперных озер, входящих в группу обычно превышает 0,7, что дает основания полагать многолетние колебания уровней воды этих озер синхронными.

В основе дальнейших построений лежат кривые функционально-нормального распределения объемов озер в период средней водности по каждой группе для административных единиц исследуемой территории. Для построения этих кривых использовались данные по оценке средних значений водных ресурсов субъектов РФ [Измайлова, 2014]. Кривые функционально-нормального распределения объемов озер, расположенных в пределах Омской и Новосибирской областей и Алтайского края приведены на рис. 2. Для нормализации рядов использовалась функция $v' = V^n$, где v' – нормализованное значение объема; n – параметр. Ось ординат на графике не размечена, т.к. для каждой кривой распределения свой нормализующий параметр.

Следующим этапом расчетов является оценка параметров распределения среднегодовых уровней воды реперных озер. Далее, используя батиграфические кривые, вычисляются значения объемов реперных озер различной обеспеченности.

Полагая изменение объема реперных озер прямо пропорциональным изменению объемов всех озер средней группы исследуемой территории (что подтверждается приведенным выше коэффициентом корреляции), оценим параметры функционально-нормального распределения объемов озер отдельно для многоводного и маловодного периодов. Принятое допущение (о прямой пропорциональности) позволяет полагать, что, как и для рядов объемов воды в период средней водности, так и для рядов объемов маловодного и многоводного периодов, реперные озера будут занимать одно и то же положение в ранжированном ряду (иметь одну и ту же обеспеченность).

То есть, исходя из обеспеченностей объемов реперных озер, определенных по кривой распределения (рис. 2), и объемов, обеспеченностью 33,3% и 66,7%, определенных по кривой распределения среднегодовых объемов реперных озер, вычислим среднее и среднее квадратичное отклонение кривых распределения обеспеченностей объемов соответственно для маловодного и многоводного периода.

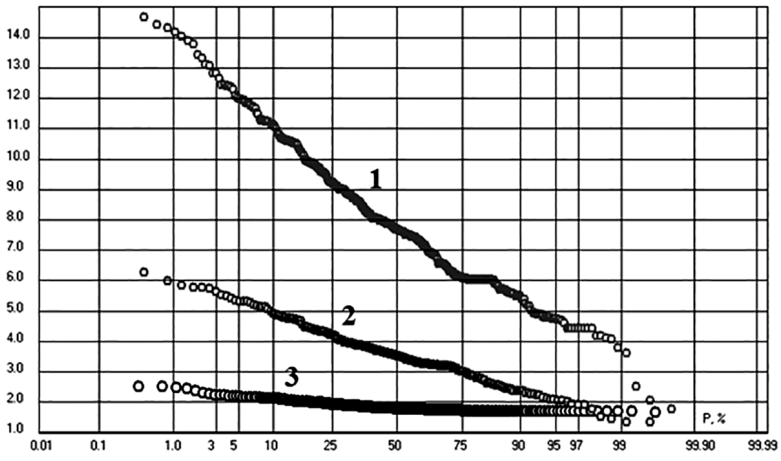


Рис.2. Кривые функционально-нормального распределения среднемноголетних объемов озер (1 – Новосибирская обл.; 2 – Алтайский край; 3 – Омская обл.)

Среднее и среднее квадратичное отклонение рассчитывается по формулам нахождения уравнения прямой линии по координатам двух известных точек.

Далее суммарные объемы воды всех озер для маловодного и многоводного периодов, представленных в группе, можно вычислить умножением средних значений функционально-нормальных кривых распределений объемов заданной обеспеченностей на общее количество озер данной группы *(N)*.

В силу ряда принятых допущений полученные результаты могут несколько отличаться от реальных. Для снижения ошибки в случае необходимости схема может быть откорректирована за счет учета объемов воды в реальные годы конкретной обеспеченности (определяемой по ряду, полученному суммированием всех измеряемых озер), рассчитанные при определении водного покрытия по спутниковым снимкам.

Ценность водных ресурсов в регионах недостаточного увлажнения очень высока, так что оценка временной изменчивости ресурсов расположенных здесь озер представляется крайне важной при планировании различных видов регионального водопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Измайлова А.В. Результаты новой оценки ресурсов озерных вод Российской Федерации//Труды итоговой конференции по результатам работы над Программой Президиума РАН №31 “Роль пространства в модернизации России: природный и социально-экономический потенциал”. 2012–2014 гг. (18–20 декабря 2014 г., Вологда). – Вологда. ИСЭРТ РАН, 2014. –С. 67-70.

СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М., 2004.– 84 с.

TEMPORAL VARIABILITY OF LAKE’S WATER RESOURCES LOCATED IN THE REGIONS OF INSUFFICIENT MOISTURE

Izmailova A.V., Shmakova M.V

Limnology Institute, RAS, St.-Petersburg, Russia, ianna64@mail.ru

ABSTRACT

Estimation of temporal variability of lake’s water resources by regions with insufficient moisture is extremely urgent, at the same time there is no suitable technique for it until now. The calculation scheme for lake’s water resources in different water content years is proposed.

СИСТЕМНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА ГОРНЫХ РЕК

Кирста Ю.Б.[1, 2], Пузанов А.В.[1]

[1] Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

[2] Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул

kirsta@iwep.ru

Предложен системно-аналитический метод построения имитационных моделей стока горных рек в условиях нехватки гидрометеорологической информации. На примере 34 средних и малых рек Алтае-Саянской горной страны разработана универсальная модель сезонной и межгодовой динамики стока. Модель включает 144 параметра, которые отвечают общим закономерностям формирования речного стока в горной стране. Характеризующий погрешность расчетов коэффициент Нэша–Сатклиффа равен 0,66, что по общепринятым представлениям соответствует хорошему качеству модели. С помощью модели возможен прогноз среднего стока на 3 месяца вперед с двукратно уменьшенной дисперсией по сравнению с долгосрочным прогнозом по среднемноголетнему значению наблюдаемых величин стока.

Построение адекватных математических моделей речного стока требует подробной пространственно распределенной информации об осадках, температурах воздуха, эвапотранспирации, подземных водоносных горизонтах, морфометрии речных бассейнов, свойствах водонасыщенных почв и пород, сопротивлении течению на склонах и в русловой сети, а также о других характеристиках водосборной территории. В условиях гор подобная информация практически отсутствует. Для решения этой проблемы и разработки модели речного стока применено системно-аналитическое моделирование сложноорганизованных систем.

При построении модели стока использованы наблюдения за стоком средних и малых рек, проведенные на территории Алтае-Саянской горной страны Гидрометеорологической службой СССР и России в 1951–2003 гг. Наблюдения за стоком дополнены данными о месячных осадках, среднемесячных температурах воздуха, GIS-информацией о ландшафтной структуре территории, площади и высоте ландшафтов над уровнем моря. Проанализировано 34 речных створа с параллельными наблюдениями за стоком. Площади отвечающих створам водосборных бассейнов составили от 177 до 21000 км^2.

Для учета в модели ландшафтной структуры водосборных бассейнов выделены 12 типологических групп геосистем и отдельно 13-я для аквальных ландшафтов [Кирста, Лубенец и др., 2011]. Каждой группе в модели отвечают собственные значения параметров, характеризующие протекающие в них гидрологические процессы. Тем самым каждый речной бассейн разделен на типичные зоны, имеющие собственные типы гидрологического режима и, в совокупности, характеризующие общий гидрологический режим бассейна.

Учитывая особенности внутригодовой динамики речного стока, в модели рассмотрено 4 гидрологических периода/сезона: первый (зимняя межень, XII-III месяцы), второй (весенне-летнее половодье, IV-VI), третий (летняя межень, VII-VIII), четвертый (осенняя межень с возможными паводками при сильных дождях, IX-XI). Ежедневные наблюдения за стоком на каждом из 34 створов осреднены по отдельным сезонам, и в модели использованы четыре среднесезонных значения стока по каждому году наблюдений. В среднем по створам сток составил около 10, 130, 40, 30 м^3/с для 1, 2, 3, 4-го сезонов соответственно.

Ранее, для Алтае-Саянской горной страны, получена единая по территории многолетняя помесячная динамика нормированных температур и нормированных осадков за 1951–2010 гг. [Кирста, 2011]. Она была рассчитана с помощью метода пространственного обобщения климатических характеристик по 11 реперным метеостанциям, находящимся за пределами рассматриваемых бассейнов, но имеющим непрерывные ряды наблюдений. Динамика выражена в процентах/долях от трех соответствующих среднемноголетних месячных значений *in situ* (среднемноголетней январской температуры для X-IV месяцев, среднемноголетней июльской температуры для V-IX месяцев и среднемноголетних июльских осадков для всех месяцев года), не зависит от координат или высоты расположения характеризуемого участка и является одинаковой для всех речных бассейнов Алтае-Саянской горной страны.

Были нормированы и значения речного стока. Для этого наблюдаемые величины стока разделены на отвечающие им среднемноголетние сезонные значения в каждом бассейне. Тем самым, вместо единиц измерения стока в м^3/с, использова-

лись безразмерные единицы нормированного стока. Аналогично, площади групп геосистем (км^2) в каждом бассейне были переведены в доли/проценты делением на площадь этого бассейна.

В целом, база данных модели включала следующие характеристики речных бассейнов: гидрологические (5300 нормированных среднесезонных величин стока для 34 речных бассейнов и 4 сезонов по каждому году за период 1951–2003 гг.), метеорологические (636 + 636 = 1272 нормированных месячных значений температур воздуха и осадков или 1272/4 = 318 их сезонных значений за период 1951–2010 гг.), ландшафтные (352 значения площадей и высот).

Метод системно-аналитического моделирования (САМ) [Kirsta, 2006; Кирста Ю., Кирста Б., 2014] использован для поиска и количественной характеристики функциональных связей речного стока с факторами среды. Модель представляет собой систему найденных в ходе САМ алгебраических уравнений, которые обеспечивают минимальную квадратичную невязку (расхождение) между рассчитываемыми и наблюдаемыми значениями стока. Параметры уравнений и квадратичная невязка определяются через решение обратной задачи с привлечением оптимизационных методов. При этом в качестве левых частей уравнений речного стока использовались его наблюдаемые значения. Система уравнений имеет вид:

$$Q^i = \sum_k \{a_k S_k^i P_1 H(c_1, c_1, 1, 1, c_2, c_3, T_1) H(c_4, c_4, 1, 1, c_5, c_6, h_k^i)\} + + \sum_k \{b_k S_k^i P_2 H(c_7, c_7, 1, 1, c_8, c_9, T_2) H(c_4, c_4, 1, 1, c_5, c_6, h_k^i)\} + c_{10}, \quad (1)$$

где Q^i – нормированный на среднемноголетнее значение среднесезонный водный сток для замыкающего створа бассейна i, i = 1, 2,…, 34; первое и второе слагаемые в (1) отвечают вкладам предшествующего и рассматриваемого гидрологического сезона года, соответственно, а при расчете 1-го сезона (зимняя межень) – отвечают 3- и 4-му сезонам предшествующего года, так как зимой снег остается на поверхности и не влияет на сток; a_k, b_k – параметры, характеризующие вклад k-й группы геосистем в соответствующие сезоны, k = 1 – 13; S_k^i– относительная площадь k-й группы геосистем в бассейне i; h_k^i– средняя высота этой же группы в бассейне i, м БС; P_1, P_2 – нормированные месячные осадки в среднем за соответствующий сезон; T_1, T_2 – отклонения нормированных температур воздуха от единицы (это среднемноголетнее значение нормированной характеристики) в среднем за соответствующий сезон; H – пробная кусочно-линейная функция с подбираемыми в процессе САМ параметрами; c_{1-9} – параметры, отражающие влияние температур T_1, T_2 и высоты h_k^i на сток в бассейне; c_{10} – параметр, характеризующий постоянное пополнение ($c_{10} > 0$) или потери ($c_{10} < 0$) стока в грунтовые воды и воды зон трещиноватых пород.

Функция H в (1) является непрерывной кусочно-линейной функцией из трех линейных фрагментов и задается выражением:

$$H(X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2, X) = \begin{cases} Y1 + Z1(X - X1), & \text{если } X < X1 \\ \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}(X - X1) + Y1, & \text{если } X1 \leqslant X < X2, \; X1 \neq X2 \\ Y2 + Z2(X - X2), & \text{если } X \geqslant X2 \end{cases}$$

где $X1$, $X2$, $Y1$, $Y2$, $Z1$, $Z2$ – параметры; X –фактор среды или переменная модели.

В правой части (1) суммируются вклады групп геосистем в сезонный сток бассейна Q^i. Вклад k-й группы геосистем в первом слагаемом (1) представляет собой задержанный водный сток и формируется осадками P_1 предшествующего гидрологического сезона. Вклад k-й группы геосистем во втором слагаемом обеспечивается осадками P_2 текущего гидрологического сезона. В целом, достаточно простые уравнения (1) характеризуют влияние на речной сток шести важнейших факторов среды: P_1, P_2, T_1, T_2, S_k^i, h_k^i.

Уравнения (1) включают по 36 параметров для каждого гидрологического сезона, что составляет 36 × 4 = 144 параметров для всех 4-х выделенных сезонов. При этом 36 параметров характеризуют 13 групп геосистем, то есть для характеристики сезонных особенностей гидрологического режима каждой группы используется не более трех (36/13 < 3) параметров. Еще один коэффициент для перехода к стоку в м^3/с уже для конкретного бассейна определяется из сопоставления нормированного речного стока с наблюдаемым за 1–2 года.

Для проверки качества модели речного стока введен критерий, позволяющий оценивать адекватность моделей путем сравнения рядов наблюдаемых и рассчитанных данных:

$$A = S_{\text{разн}} / \sqrt{2} S_{\text{набл}}, \quad (2)$$

где A – критерий адекватности; $S_{\text{разн}}$ – стандартное (среднеквадратическое) отклонение для разности расчетного и наблюдаемого рядов данных (для невязки модели); $S_{\text{набл}}$ – стандартное отклонение для наблюдаемого ряда; $\sqrt{2}$ – множитель. Согласно (2) A представляет собой погрешность модели, нормированную на стандартное отклонение

Таблица 1. Адекватность модели и ее чувствительность к вариациям факторов среды

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СЕЗОНЫ	1	2	3	4
Адекватность A модели по уравнению (2)	0,65	0,56	0,58	0,59
Чувствительность FS_P к осадкам P_1 и P_2 по уравнению (3), %	17	22	16	34
Чувствительность FS_T к температурам T_1 и T_2	6	16	6	4
Чувствительность FS_L к ландшафтной структуре	4	6	11	4
Чувствительность FS_A к высоте ландшафтов	0,3	0,2	~0	0,6
Чувствительность FS_{P2} только к осадкам P_2	6	9	11	18
Чувствительность FS_{T2} только к температуре T_2	4	5	2	1

данных наблюдений. Интервал 0–0,71 значений A характеризует различную степень адекватности модели с наилучшей при $A = 0$. При этом критерий A подобен показателю RSR [Moriasi et al., 2007; Koch, Cherie, 2013] и коэффициенту Нэша–Сатклиффа NSE [Koch, Cherie, 2013], с которыми связан зависимостями $RSR = A\sqrt{2}$, $NSE = 1RSR^2 = 1 - 2A^2$.

Критерий A удобен для расчета другого критерия FS, характеризующего чувствительность модели к естественным вариациям факторов среды. FS близок по смыслу к известной статистической характеристике "процент объясненной дисперсии" и рассчитывается как:

$$FS = (A')^2 - (A)^2 = \frac{(S_{\text{разн}})^2 - (S_{\text{разн}})^2}{2(S'_{\text{набл}})^2} = \frac{2(S_{\text{факт}})^2}{2(S_{\text{набл}})^2} = \frac{(S_{\text{факт}})^2}{(S_{\text{набл}})^2}, \quad (3)$$

где FS – чувствительность модели к конкретному входному фактору модели; A' – значение A по (2), получаемое при подстановке перепутанных случайным образом наблюдаемых значений входного фактора модели (имеющих, очевидно, прежнее статистическое распределение и дисперсию); $(S'_{\text{разн}})^2$ – дисперсия для разности расчетного и наблюдаемого значений выходной переменной модели (речного стока) при подстановке перепутанных значений фактора; $(S_{\text{разн}})^2$ – эта же дисперсия для наблюдаемых значений фактора, рассчитываемая согласно (2); $(S_{\text{факт}})^2$ – вклад естественных вариаций выбранного входного фактора в дисперсию выходной переменной модели (рассчитываемого стока); $(S_{\text{набл}})^2$ – дисперсия наблюдаемых значений выходной переменной.

В соответствии с правилом сложения дисперсий значение $(S'_{\text{разн}})^2$ превышает $(S_{\text{разн}})^2$ на две одинаковые дисперсии $(S_{\text{факт}})^2$. К последним относятся (а) – дисперсия, обусловленная вкладом реальных вариаций входного фактора в наблюдаемые значения выходной переменной и (б) – дисперсия от вклада искусственно введенных случайных вариаций входного фактора (путем перепутывания его наблюдаемых значений) в рассчитываемую по модели выходную характеристику. Очевидно, что для адекватных моделей дисперсии "а" и "б" отсутствуют в $(S_{\text{разн}})^2$ вследствие вычитания рассчитанного и наблюдаемого вкладов входного фактора. В то же время дисперсия, обусловленная ошибками наблюдений за входным фактором (например, погрешностью пространственного обобщения метеорологических факторов), присутствует и в $(S'_{\text{разн}})^2$, и в $(S_{\text{разн}})^2$, а значит, вычитается в (3). Тем самым критерий FS в (3) оценивает чувствительность модели непосредственно к естественным вариациям входного фактора, исключая ошибки наблюдений последнего. FS позволяет оценить не только чувствительность модели к вариациям отдельных факторов среды, но и их относительную значимость для модели. Поскольку FS согласно (3) выражается в долях от $(S_{\text{набл}})^2$, то FS целесообразно выражать в процентах, умножая на 100. Выполненные оценки адекватности модели по критерию A и ее чувствительности FS приведены в таблице 1.

Для дисперсии невязки у математических моделей сложноорганизованных природных систем справедливо правило сложения вкладов, обусловленных погрешностями данных наблюдений [Кирста Ю., Кирста Б., 2014]. Тогда в соответствии с (2) для дисперсии невязки модели можно составить следующее уравнение:

$$D_P + D_T + D_L + D_A + D_M + D_R \approx 2A^2 \times 100\%, \quad (4)$$

где D_P – вклад в дисперсию невязки из-за погрешности пространственного обобщения осадков; D_T – то же из-за пространственного обобщения температур воздуха; D_L – из-за "размытости" границ ландшафтной структуры речных бассейнов; D_A – из-за вариаций высоты (м БС) в пределах каждой группы геосистем; D_M – из-за погрешности самих уравнений модели; D_R – из-за погрешности данных по стоку.

Проведенные оценки дали следующие значения компонентов (4): $D_R = 1\%$, $D_P = 32\%$, $D_T = 4\%$, $D_L \approx 0\%$, $D_A = 0\%$, $D_M = 34\%$. Расчет показателей адекватности модели RSR и NSE (см. выше) как частного случая компонента D_M, обусловленного погрешностью самих уравнений модели, дал $RSR = \sqrt{D}_м = \sqrt{0},34 = 0,58$ и $NSE = 1 - (RSR)^2 = 1 - 0,34 = 0,66$. Хорошему качеству гидрологических моделей соответствуют значения $0,50 < RSR \leqslant 0,60$ и $0,65 < NSE \leqslant 0,75$ [Koch, Cherie, 2013]. Таким образом, хорошее качество разработанной универсальной модели стока горных рек позволяет рекомендовать ее к практическому применению для горных территорий в условиях недостатка гидрометеорологической информации.

Рассмотрим возможность прогноза речного стока на следующий гидрологический сезон, то есть на 3 месяца вперед в среднем. При наличии метеонаблюдений в самом речном бассейне, сведений о его ландшафтной структуре и регулярных наблюдений за стоком значения D_P, D_T, D_L, D_A, D_R в (4) будут пренебрежимо малы. При прогнозе подставляем осадки и температуры воздуха текущего сезона в первое слагаемое уравнения (1) и среднемноголетние значения этих факторов во второе слагаемое, характеризующее еще не наступивший сезон. Замена во втором слагаемом в (1) реальных (еще не наступивших) P_2 и T_2 на среднемноголетние значения означает добавление вкладов FS_{P2} и FS_{T2} (табл. 1) от естественных вариаций этих факторов в общую дисперсию прогнозного варианта модели. Эта дисперсия составит $D_{прог} = D_M + FS_{P2} + FS_{T2} \approx 34 + 11 + 3 = 48\%$, что в два раза меньше дисперсии (100%) прогноза по среднемноголетнему значению наблюдаемого стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кирста Ю.Б. Пространственное обобщение климатических характеристик для горных территорий //Мир науки, культуры, образования, 2011. – № 3 (28). – С. 330–337.

Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю. Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2014. – 283 с.

Кирста Ю.Б., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Типизация ландшафтов для оценки речного стока в Алтае-Саянской горной стране //Устойчивое развитие горных территорий, 2011. – №2(8). – С. 51–56.

Kirsta Yu.B. System-analytical modelling. I. General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // Ecol. Modelling, 2006. – Vol. 191. – P. 315–330.

Koch·M., Cherie N. SWAT-modeling of the impact of future climate change on the hydrology and the water resources in the upper blue Nile river basin, Ethiopia. //Proceedings of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research, ICWRER 2013. Koblenz, Germany, June 3-7, 2013. – P. 428–523.

Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation //Transactions of the ASABE, 2007. – 50(3). – P. 885–900.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS

Kirsta Yu.B.[1,2], Puzanov A.V.[1]

[1] *Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, puzanov@iwep.ru*

[2] *Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia, kirsta@iwep.ru*

ABSTRACT

A system-analytical method for creation simulation models of mountain rivers runoff under the lack of hydrometeorological information is proposed. Using 34 medium-size and small rivers of the Altai-Sayan mountain country as a case study, a universal model of seasonal and long-term runoff dynamics is developed. The model includes 144 parameters that satisfy the common patterns of river runoff formation in mountain country. The Nash–Sutcliffe coefficient, characterizing the model inaccuracy, is equal to 0.66 that according to general notion means its good efficiency. The model allows the forecast of the mean runoff for three months to come with a doubly reduced dispersion as compared to the forecast based on long-term value of the runoff observed.

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА ДЛЯ РЕК ГОРНОГО КРЫМА

Овчарук В.А., Тодорова Е.И.

Одесский государственный экологический университет, Одесса, Украина
dean-gid@odeku.edu.ua

Описывается методика расчета характеристик максимального стока для рек Горного Крыма.

ВВЕДЕНИЕ

Территория Крыма относится к паводкоопасным регионам, соответственно обоснование методики расчета максимального стока для неизученных рек является актуальной научной задачей для данной территории.

По своему водному режиму реки Крыма относятся к рекам с паводочным режимом крымского подтипа [Кузин, 1960]. В паводочный период происходит 80–95% всего годового стока. Расходы воды на Крымских реках во время паводков резко возрастают, абсолютные максимумы формируются в теплый период года при выпадении обильных дождей, и могут в 200–400 раз превышать среднегодовые расходы воды.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В работе рассматриваются реки, которые протекают по западной и восточной частям северного склона Крымских гор и Южного берега Крыма. Для нормирования характеристик максимального стока дождевых паводков рек Горного Крыма использованы материалы режимных изданий за многолетний период наблюдений (от начала наблюдении по 2010 г. включительно) по 56 водосборам. Диапазон изменения площадей – от 0,32 до 3540 км^2, наибольшая продолжительность наблюдений составляет 82 года.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Несмотря на большое разнообразие формул применяемых для расчета максимального стока дождевых паводков, для горных рек предлагаются различные варианты редукционных формул, нашедшие широкое распространение во многих странах мира. Базовое уравнение для этого вида формул можно представить в виде

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} . \qquad (1)$$

Редукционного вида формула также может быть получена непосредственно из модели русловых изохрон. Базовой структурой для них является формула (2) в редакции Е.Д. Гопченко [Гопченко, Овчарук, 2002]

$$q_m = q'_m \Psi(t_p / T_0)\varepsilon_F. \qquad (2)$$

Сопоставив уравнения (1) и (2), получим

$$\Psi(t_p / T_o)\ \varepsilon_F = \frac{1}{(F+1)^{n_1}} . \qquad (3)$$

Тогда редукционная формула упрощается до уровня

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} . \qquad (4)$$

Расчетное выражение для q'_m имеет вид

$$q'_m = \frac{n+1}{n}\ \frac{1}{T_0}\ Y_m . \qquad (5)$$

где $(n + 1)/n$ – коэффициент неравномерности склонового притока; T_0 – продолжительность притока воды со склонов в русловую сеть, час; Y_m – слой стока за паводок, мм.

Таким образом, для нормирования характеристик максимального стока паводков теплого периода в работе использована модифицированная редукционная структура вида (4).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе работы проведена стандартная статистическая обработка исходной информации по максимальному стоку паводков рек рассматриваемой территории. В результате получены средние многолетние значения максимальных расходов и слоев стока паводков, а также соот-

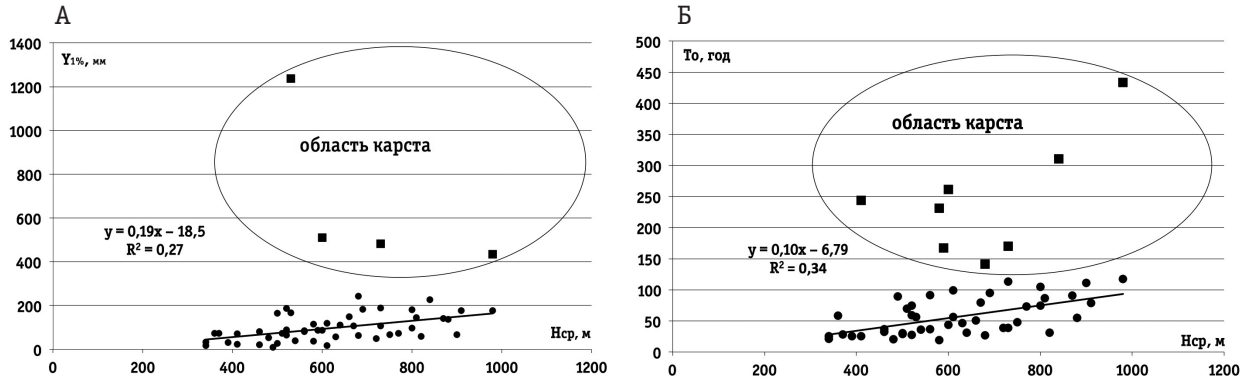


Рис. 1. Зависимость слоев стока паводков 1%-ой обеспеченности (А) и продолжительности притока воды со склонов в русловую сеть (Б) от высоты водосборов рек Горного Крыма

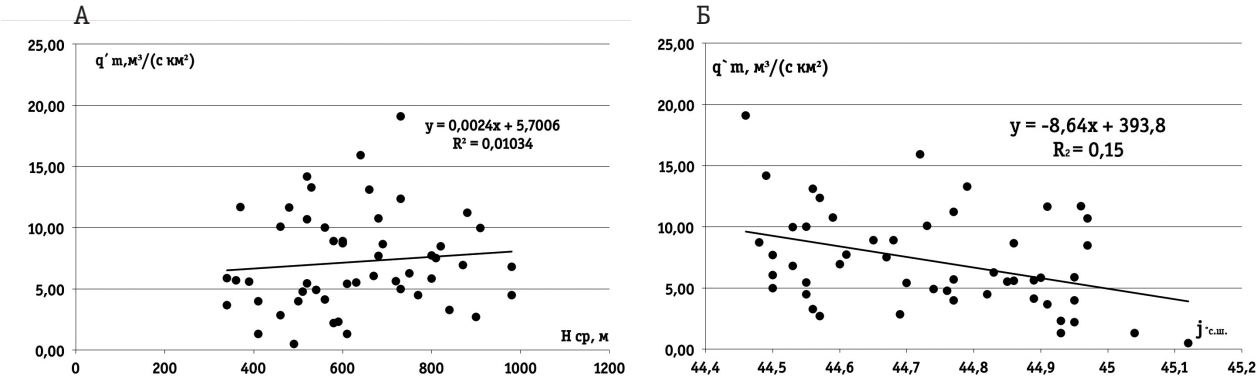


Рис. 2. Зависимость максимального модуля q'_m от высоты водосборов (А) и от широты центров тяжести водосборов (Б) рек Горного Крыма

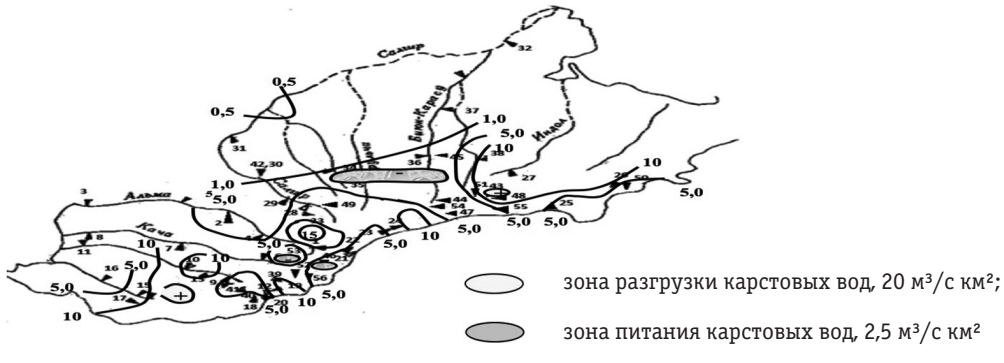


Рис. 3. Распределение максимальных модулей склонового притока по территории Горного Крыма, м³/с км²

ветствующие им коэффициенты вариации и асимметрии. Характерной особенностью территории является большая изменчивость расчетных характеристик стока, а также, во многих случаях, несоответствие стока величине площади водосбора, что можно объяснить наличием карста. Далее, имея все необходимые данные, определены расходы и слои стока редкой вероятности превышения (1, 3, 5 и 10%). С целью обобщения расчетных характеристик по территории исследовалась их факторная обусловленность. Установлено, что для рек Горного Крыма наблюдается четкая высотная зональность в распределении характеристик склонового стока – его продолжительности T_0 и слоя стока Y_m (рис.1).

Что касается коэффициента неравномерности $(n + 1)/n$, то он осреднен для рек исследуемой территории на уровне 16. Поскольку для рек Горного Крыма обе характеристики склонового притока изменяются в одном направлении с ростом высоты водосборов, то интегральная характеристика склонового притока (его максимальный модуль q'_m), рассчитанная по формуле (5), практически не зависит от этого фактора (рис. 2А).

С другой стороны, получена зависимость q'_m от широты центров тяжести водосборов (рис. 2Б). В данном случае зависимость выражена довольно четко, со значимым коэффициентом корреляции (r = 0,39), что является основанием для картирования максимального модуля склонового притока (рис. 3).

В целом расчетные модули увеличиваются с северо-востока на юг от 0,5 м³/с·км² до 15 м³/с·км². В отдельных районах наблюдаются локальные максимумы (до 20 м³/с·км²) и минимумы (до 2,5 м³/с·км²) связанные с зонами разгрузки и питания карста, соответственно.

Для обоснования показателя степени редукции n_1 в логарифмических координатах построена зависимость максимальных модулей стока от площади водосборов, которая позволила получить региональное значение n_1 на уровне 0,53.

Таким образом, для рек Горного Крыма предлагается следующая расчетная формула для максимальных модулей паводков теплого периода:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{0,53}}, \qquad (6)$$

где q'_m – максимальный модуль склонового притока, определяемый по карте (рис.3).

Точность расчета по предлагаемой методике находится на уровне 22,6%, что при точности исходной информации ±22% является хорошим результатом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гопченко Е.Д. Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. – Одесса: ТЭС, 2002. – 110 с.

Кузин П.С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. – Л.; Гидрометеоиздат, 1960. – 455 с.

METHOD OF NORMALIZATION OF CHARACTERISTICS OF MAXIMAL RUNOFF OF FLOODS CAUSED BY RAIN DURING WARM PERIOD FOR THE RIVERS OF MOUNTAIN CRIMEA

Ovcharuk V.A., Todorova E.I.

Odessa State Environmental University, Odessa, Ukraine
dean-gid@odeku.edu.ua

ABSTRACT

Methodology of the calculation of maximum runoff characteristics for rivers of the Crimean Mountains is described in this paper.

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ОБЩИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ПОЛОВОДЬЯ ДЛЯ БАССЕЙНА РЕКИ ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ

Осипова Н.В., Филиппова И.А.

Институт водных проблем РАН, Москва, irinafil@yandex.ru

Ряды максимального стока половодья для всего водосборного бассейна реки слоев стока на основе кластер-анализа и методом совместного анализа для объединенных совокупностей с учетом выявленной нестационарности некоторых рядов. Получены карты-схемы параметров для исследуемого региона, определенные разными способами. Очертания районов, однородных с точки зрения синхронности колебаний стока за половодье, в целом соответствуют границам районов, полученных при районировании бассейна р. Волги на основе методики совместного анализа.

ВВЕДЕНИЕ

При решении разного рода гидрологических задач часто остро стоит вопрос о недостаточном количестве исходной информации, обусловленном малой плотностью сети гидрометеорологических станций. Для качественной оценки экстремальных характеристик, таких как максимальный сток, увеличение объема исходных данных становится необходимым условием.

Классическим примером анализа гидрологических характеристик в случае недостатка информации является метод совместного анализа Крицкого-Менкеля. Также для изучения пространственно-временных закономерностей колебаний стока предложен ряд методов районирования, позволяющих в условиях недостатка информации упростить задачу интерполяции и реализовать принцип гидрологической аналогии. Одним из таких методов является модифицированный алгоритм гидрологического районирования, предложенный В.А. Жуком и Е.А. Романовой [Жук, Романова, 1981].

В настоящее время становится принципиальным вопрос о выявлении и учете нестационарности в рядах стока вследствие наблюдаемых климатических и антропогенных изменений.

МЕТОДЫ И ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Существует множество подходов к решению проблемы объединения данных с целью увеличения числа независимой информации.

В статье для территории водосборного бассейна реки Волга рассмотрена возможность использования двух методов объединения данных с целью получения среднерайонных оценок: 1) метод группирования данных на основе методики совместного анализа, разработанной С.Н. Крицким и М.Ф. Менкелем [Крицкий, Менкель, 1981] с применением критерия оценки соотношения коэффициента асимметрии и вариации; 2) метод Жука и Романовой [Жук, Романова, 1981], с помощью которого получено районирование территории бассейна р. Волги на основе данных о максимальных срочных расходах и слоях воды в период половодья.

ПОЛУЧЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ПОЛОВОДЬЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ

Изучены хронологические графики и разностно-интегральные кривые (РИК) рядов максимального стока в половодье. Наибольшее количество нестационарных рядов расположено в бассейне Нижней Волги. Для этих рядов характерна смена фазы повышенной водности на фазу пониженной водности. Эта картина обратна картине смены фаз водности для меженного стока в бассейне, что свидетельствует о внутригодовом перераспределении стока в бассейне [Болгов и др., 2014]. Присутствие в базе данных нестационарных рядов осложняет проведение совместного анализа и районирование территории по общепринятым методикам. Полученные резуль-

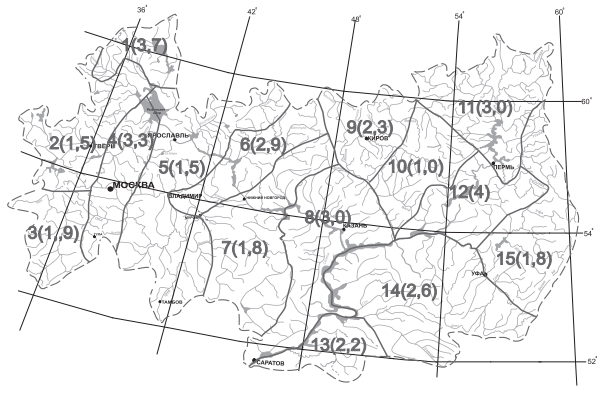


Рис. 1. Карта-схема однородных районов по соотношению C_s/C_v для бассейна реки Волга (половодье).

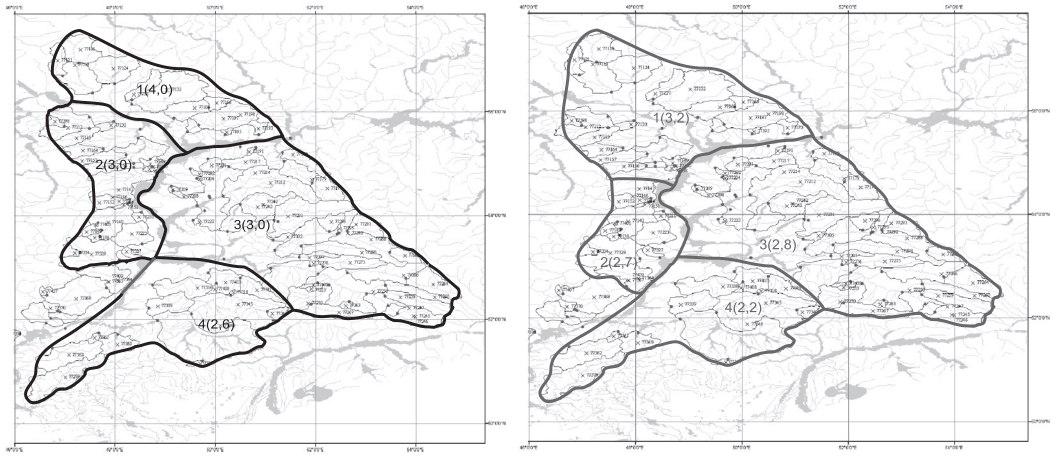


Рис. 2. Карта-схема расположения гидрологических постов с выделенными однородными районами по соотношению C_s/C_v для бассейнов рек Нижневолжского региона (половодье): а) для полных рядов; б) для рядов с учетом нестационарности

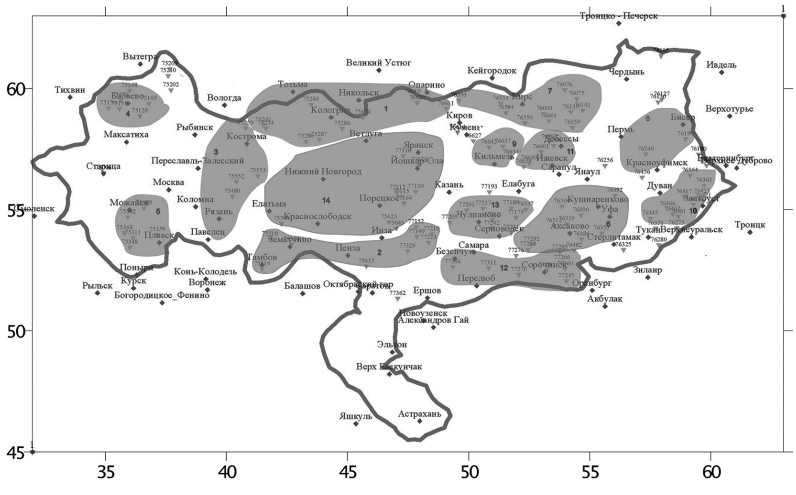


Рис. 3. Схема расположения районов с синхронными колебаниями слоев стока за половодье

таты должны быть учтены при районировании бассейна по методике совместного анализа.

По данным 307 гидрологических постов с площадями водосборов от 500 до 50000 км^2 и продолжительностью наблюдений более 25 лет (данные до 2010 г. включительно) выполнено районирование всего бассейна реки Волги по соотношению коэффициента вариации и асимметрии C_s/C_v. Всего было выделено 15 однородных районов, границы которых нанесены на карту-схему бассейна (рис. 1). Цифрами на рисунке обозначены номер района и рядом в скобках приведено значение C_s/C_v для данного района.

Так как выборочная оценка коэффициента асимметрии имеет отрицательное смещение, повышающееся с увеличением коэффициента асимметрии, коэффициента корреляции между смежными членами ряда и уменьшающееся с увеличением объема выборки, то для устранения смещения использовалась формула, рекомендованная А.Ш. Резниковским [Гидрологические основы гидроэнергетики, 1989]. Для районирования использовались скорректированные значения.

Для ряда бассейнов рек Нижневолжского региона, где было выявлено явное нарушение стационарности процессов, для расчетов использовалась только вторая половина ряда, отражающая современное состояние гидрологического режима водного объекта.

Отдельно для Нижневолжского региона по данным 46 гидрологических постов, из которых на 16 наблюдается нарушение стационарности, было произведено районирование для двух вариантов: 1) полные, наблюденные ряды; 2) ряды, разделенные на стационарные участки.

Результаты представлены на рис. 2, в каждом случае всего было выделено 4 однородных района по соотношению C_s/C_v. Значения среднерайонных оценок C_s/C_v для случая "с учетом нестационарности" скорректировались в сторону понижения.

Следует отметить, что учитывая данные о нестационарности рядов в определенные периоды,

и отсекая значения, подверженные другим механизмам формирования, присущим более раннему периоду, мы учитываем современные климатические, хозяйственные, физические процессы формирования стока рек, что представляется более обоснованным решением.

РАЙОНИРОВАНИЕ БАССЕЙНА ВОЛГИ ПО СИНХРОННОСТИ КОЛЕБАНИЙ СТОКА ПОЛОВОДЬЯ

Для получения однородных районов по синхронности многолетних колебаний стока использован модифицированный вариант алгоритма классификации полей гидрометеорологических характеристик типа кластер-анализа [Жук, Романова,1981]. Выполнен анализ синхронности колебаний слоев стока за половодье на 93 средних реках бассейна Волги и выделены районы с синхронными колебаниями половодного стока без учета нестационарности в рядах.

Алгоритм классификации заключается в анализе корреляционной матрицы по всем рассматриваемым пунктам наблюдений с целью выделения групп, элементы которых связаны между собой корреляцией не ниже критического значения. При этом теснота связи объектов внутри группы остается не ниже заранее установленного уровня $r_{кр}$, а корреляция между объектами из разных кластеров ниже, чем внутри групп. Районирование территории проведено на уровне $r_{кр} = 0{,}50$. Таким образом, было получено районирование исследуемой территории по синхронности колебаний слоев стока за половодье за период наблюдений до 2010 года. Результаты представлены на рисунке 3. Для выделенных районов получены средние значения коэффициента корреляции и среднего квадратичного отклонения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для гидрологических расчетов важно получение достоверных надежных обоснованных характеристик. Особенное внимание необходимо уделять расчетам, связанным с получением оценок максимальных значений стока, так как всегда желательно минимизировать ущербы от катастрофических природных явлений и устранить риски для жизни людей. К сожалению, гидрологическая сеть в России во многих районах недостаточно подробна, наблюдения на реках ведутся нерегулярно, часто оцениваются только уровенные характеристики водотока, расходы не измеряются. Для таких регионов можно и нужно использовать различные карты осредненных статистических параметров и методики объединения исходных данных.

При сравнении результатов районирования можно заметить, что соответствие выделенных разными способами однородных районов наблюдается в бассейне Верхней Волги, где не обнаружено нестационарных рядов максимальных расходов воды.

Следовательно, для того, чтобы полученное районирование дополнило расчетную схему определения параметров распределения максимального стока в бассейне и позволило более точно интерполировать значения стока для неизученных водосборов, необходимо проводить предварительный анализ данных и обязательно учитывать обнаруженную нестационарность в рядах.

В каждом конкретном случае способ учета нестационарности может быть различным, например, с применением метода суммы распределений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги // Метеорология и гидрология, 2014. – №3. – С. 75–85.

Гидрологические основы гидроэнергетики. Под редакцией А.Ш.Резниковского. М.: Энергоатомиздат, 1989.– 263 с.

Жук В.А., Романова Е.А. Об одном методе автоматической классификации гидрометеорологических величин // Вестник Московского университета, 1981. – Сер. 5, №4. – С.33–38.

Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. – 270 с.

THE OBTAINING OF REGIONAL RELATIONS BETWEEN MAXIMUM FLOOD RUNOFF CHARACTERISTICS FOR VOLGA BASIN IN NON-STATIONARY CONDITIONS

Osipova N.V., Filippova I.A.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, irinafil@yandexl.ru

ABSTRACT

The maximum flood runoff stable clasters are received for all Volga river basin by two methods: 1) by applying the algorithm of hydrological regionalization according to the long-term climatic fluctuations synchronism and 2) by Kritskiy-Menkel method taking account runoff non-stationarity. The regionalization of the territory obtained by these methods coincide with each other and the main ideas of the hydrological regime and landscapes of the territory under investigation.

ПОСЛЕДСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ПАВОДКА 2014 ГОДА В ГОРНОМ АЛТАЕ

Робертус Ю.В.[1], Достовалова М.С.[2]

[1] Алтайский региональный институт экологии, Майма, Республика Алтай
ariecol@mail.gorny.ru

[2] ОАО "Алтай-Гео", Майма, Республика Алтай, Россия
altaigeo@mail.gorny.ru

Охарактеризованы причины, особенности прохождения и последствия экстремального дождевого паводка 2014 г. в Горном Алтае. Намечено районирование территории региона по уровню паводковой опасности. Проведен анализ обеспеченности сооружениями защиты от паводков.

Прошедший в конце мая – начале июня 2014 г. аномально высокий дождевой паводок на территории Горного Алтая, отнесенный к ЧС федерального характера, стал катастрофическим событием по масштабам воздействия и нанесенному ущербу. По многим показателям он был близок, а зачастую превышал характеристики максимального паводка, наблюдавшегося на большинстве рек региона в весеннее половодье 1969 года.

На территории Республики Алтай (РА) негативному воздействию паводка подверглись 116 населенных пунктов (48% от их общего количества), в которых было затоплено и подтоплено 12 тыс. приусадебных участков, 7372 жилых дома, в которых проживает 33,3 тыс. человек. Паводком повреждено и разрушено 235 мостов, 224 км автодорог, 89 опор ЛЭП.

Основными факторами формирования экстремального паводка явились продолжительные интенсивные осадки в последней декаде мая (рис. 1), составившие 272–477% нормы, на фоне высокого увлажнения почв (109–212% нормы на севере региона). Паводок был усилен за счет "сгона" дождями снего-ледниковых влагозапасов в высокогорной части территории РА [Люцигер, 2014].

Кроме природных факторов, негативному воздействию вод на инженерно-хозяйственные объекты способствовал и ряд техногенных, обусловленных недостаточными размерами или отсутствием водовыпусков в полотне дорог, малой высотой дорожных насыпей, низкими пролетами мостов, занесением этих сооружений древесно-каменным материалом и др.

В совокупности эти факторы привели к резкому повышению уровней воды в реках региона, в большинстве своем превысивших наивысшие значения за весь период инструментальных наблюдений

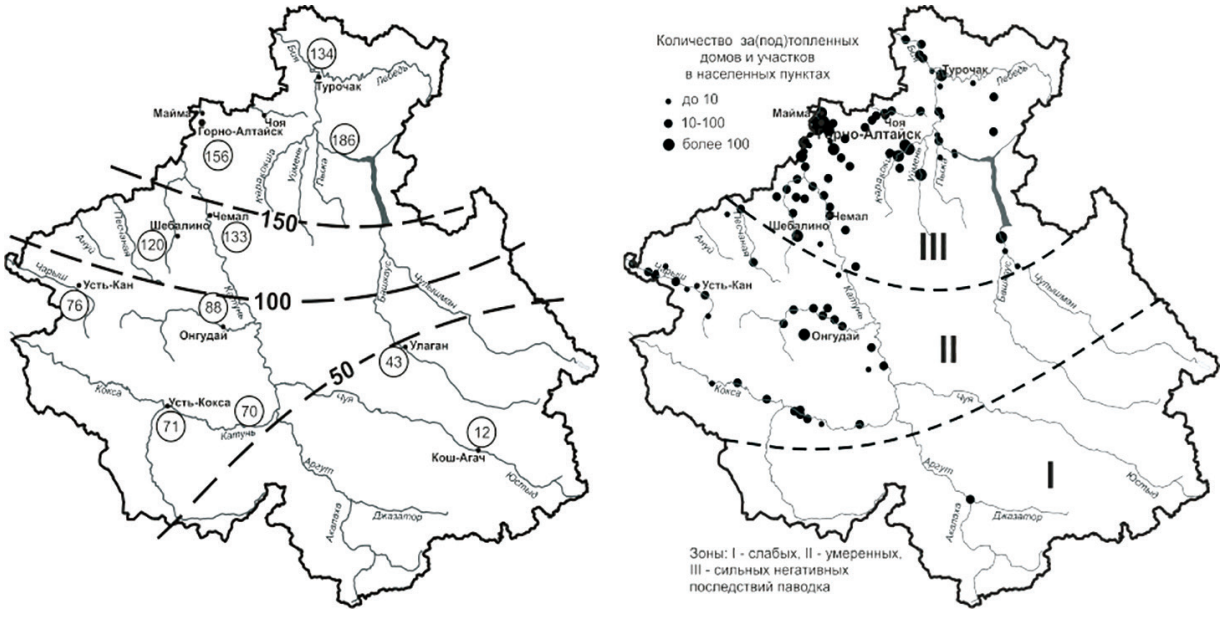


Рис. 1. Сумма осадков (мм), выпавших на территории Республики Алтай в 3-й декаде мая 2014 г. (слева); населенные пункты, пострадавшие от паводка (справа)

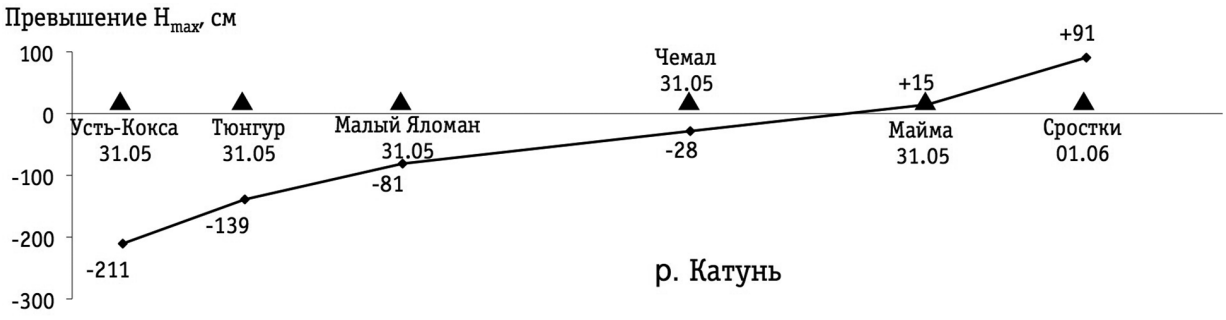


Рис. 2. Уровень воды р. Катунь
относительно его наивысшего уровня на гидропостах

Таблица 1. Уровни дождевого паводка 2014 г.
на водных объектах Республики Алтай

ГИДРОПОСТ (ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ)	НАИВЫСШИЙ УРОВЕНЬ НАД "0" ГИДРОПОСТА, СМ		КРИТИЧЕСКИЕ УРОВНИ ЗАТОПЛЕНИЯ
	ДО 2014 Г. (ДАТА)	В 2014 Г. (ДАТА)	
ГП-I Терехта (р. Бол. Терехта)	524 (29.05.1969 г.)	**553** (30.05.2014 г.)	**524**
ГП-I Усть-Кокса (р. Кокса)	589 (18.04.1943 г.)	378 (31.05.2014 г.)	**310**
ГП-I Тюнгур (р. Катунь)	710 (30.05.1969 г.)	571 (31.05.2014 г.)	**580**
ГП-II Малый Яломан (р.Катунь)	1300 (31.05.1969 г.)	1219 (31.05.2014 г.)	**1140**
ГП-II Чемал (р. Катунь)	1029 (30.05.1969 г.)	1001 (31.05.2014 г.)	**970**
ГП-I Балыкча (р. Чулышман)	857 (30.05.1969 г.)	**860** (30.05.2014 г.)	**700**
ГП- I Кебезень (р. Бия)	770 (30.05.1969 г.)	704 (29.05.2014 г.)	**606**
ГП-I Турочак (р. Бия)	742 (29.05.1969 г.)	**782** (30.05.2014 г.)	**650**
ГП-II Удаловка (р. Бия)	719 (30.04.2006 г.)	**843** (30.05.2014 г.)	**660**
ГП-I Онгудай (р. Урсул)	252 (02.04.1936 г.)	232 (30.05.2014 г.)	**196**
ГП-I Шебалино (р. Сема)	231 (09.04.1969 г.)	**287** (30.05.2014 г.)	**169**
ГП-I Майма (р. Майма)	548 (14.04.1958 г.)	444 (30.05.2014 г.)	**424**
ГП-I Усть-Кумир, р. Чарыш	904 (25.05.1993 г.)	**913** (30.05.2014 г.)	**889**
ОГП-I Яйлю (оз. Телецкое)	680 (30.05.1969 г.)	556 (31.05.2014 г.)	**480**
ОГП-I Артыбаш (оз. Телецкое)	677 (30.05.1969 г.)	554 (31.05.2014 г.)	**461**

Примечание: выделены уровни паводка 2014 г., превысившие наивысшие и критические уровни

(60–80 лет), на основании чего дождевой паводок 2014 г. на севере Горного Алтая можно рассматривать как событие, близкое по величине к расчетному (1%-ной обеспеченности).

Время подъема уровня воды на реках региона при паводке составляло 4–5 дней, сроки прохождения 6–12 дней. Общая продолжительность паводка определялась порядком реки. Так, например, на реках 4-го порядка паводок длился всего 3–5 дней.

Подъем уровня воды (относительно предпаводкового значения на начало 3-й декады мая) составил от 1,4–1,6 м (реки Урсул, Майма, Кокса) до 4,6 м (р. Бия у с.Удаловка) и 7,2 м (р. Катунь у с. Чемал). При этом наивысшие за весь период наблюдений уровни воды основных рек Горного Алтая (Катунь, Бия, Чарыш) нарастали вниз по течению и были превышены на 0,03–1,24 м в северной части региона, а также на сопредельной с ним территории Алтайского края (рис. 2).

Общий подъем уровней воды на основных реках региона составил 3,2–7,4 м, а превышение отметок затопления – 0,8–2,9 м [Люцигер, 2014]. Среднегодовые модули поверхностного стока в речных бассейнах были превышены в 1,4–3,7 раза, при этом наивысшие их значения были отмечены в бассейнах малых рек.

При паводке 2014 г. были превышены критические уровни затопления почти на всех гидропостах региона (табл. 1): в бассейне р. Катунь на 31–36 см (Чемал, Онгудай); р. Бия – на 94–210 см (Кебезень, Турочак, Удаловка); р. Чулышман – на 160 см (Балыкча); в бассейне р. Чарыш на 101 см

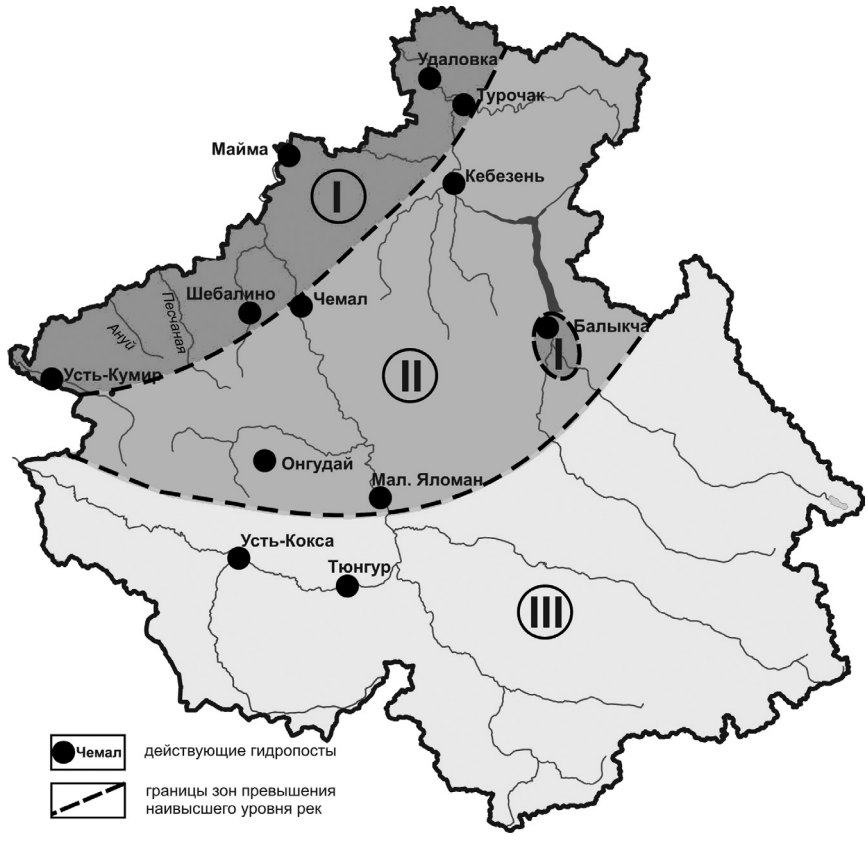


Рис. 3. Зоны затопления 2014 г.:
I – превысившие наивысший уровень воды рек;
II – с уровнем рек в интервале 0–1 м ниже наивысшего уровня;
III – то же в интервале 1-3 м

(Усть-Кумир); озеро Телецкое – на 105–123 см (Артыбаш, Яйлю). Критические уровни были превышены и для большинства из 116 подвергшихся затоплению населенных пунктов Республики Алтай (РА), в которых отсутствуют пункты наблюдений за уровнем воды.

Аномально высокие уровни воды крупных рек при паводке способствовали широкому проявлению подпорных явлений в устье их притоков, в результате чего происходило дополнительное затопление ряда населенных пунктов. В частности, это характерно для р. Майма на территории с. Майма, которая при паводке "подпирается" рекой Катунь.

После прохожения пиковых значений уровни воды на всех реках региона не вернулись к исходным значениям, а превышали их на 15–180 см (максимально для рек Катунь и Бия).

Таким образом, в северной части региона и в устье р. Чулышман уровень затопления при паводке 2014 г. превысил наивысшие многолетние уровни. В центральной части РА достигнутый наибольший уровень воды рек был ниже наивысших уровней на 0–1 м, а в южной части региона ниже на 1–3 м (рис. 3).

Площади затопления застроенной части населенных пунктов варьировали от первых га до 338 га (г. Горно-Алтайск) при преобладании значений 10–50 га. Доля затопленной в паводок территории составила от 2% в с. Ело до 85% в с. Уймень при преобладании величин 15–20%. Глубина наибольшего затопления застроенной территории населенных пунктов при паводке варьировалась в пределах 0,3–2,05 м при среднем значении 0,95 м [Робертус, Достовалова, 2014].

Как показал прошедший паводок, с участками затопления были тесно сопряжены зоны подтопления, образовавшиеся за счет гидравлического подпора грунтовых вод в области их разгрузки. Нередко зоны подтопления объединялись с зонами затопления или проявлялись в сложных сочетаниях, обусловленных характером мезорельефа земной поверхности и динамическим режимом грунтовых вод. В наибольшей степени подтопление проявилось на пологих участках широких террасированных долин, в частности, долины р. Катунь, где захватило до 30% площади с. Майма.

Процессы подтопления протекали с запаздыванием на 1–2 сутки по отношению к затоплению.

Установлено, что во время паводка, в центральной части бассейна р. Катунь уровень грунтовых вод в водоносном комплексе четвертичных отложений поднялся на 1,5–5 м, а дебиты каптирующих его родников увеличились в 2–5 раз.

Дождевой паводок 2014 г. вызвал на территории региона беспрецедентную активизацию экзогенных геологических процессов гидрогенного класса, особенно на малых и средних реках (Саракокша, Сема и др.), в результате которых на ряде участков их долин произошла перестройка русел рек, появились новые протоки, острова и пр.

Наряду с затоплением, береговой размыв оказался одним из главных негативных проявлений паводка. Наивысшие его показатели (до 15–30 м/год) имели место на участке "Катунский водозабор" в с. Майма. Пораженность береговой эрозией территорий в пределах населенных пунктов региона варьировала от 3% (с. Амур) до 70–77% (села Красносельск, Каракокша, Гагарка) при средних значениях 25–30%. В республиканском центре – г. Горно-Алтайске и пригородном селе Кызыл-Озек общая пораженность береговой эрозией застроенных берегов р. Майма при паводке составила 3,5 км или более трети их длины.

Во время паводка на значительной части региона экстремальным осадкам и стоку сопутствовало интенсивное, но локальное проявление гравитационных склоновых процессов (оползне- и селеобразование, обвалы, камнепады и пр.), приуроченных, в основном, к временным водотокам и прилегающим к ним склонам. Их негативное воздействие отмечено, главным образом, на участках автомагистралей, дорог местного значения, мостов и значительно реже на территории населенных пунктов.

Полученные в 2014 г. данные позволили провести районирование территории Республики Алтай по уровню паводковой опасности с использованием двух показателей: 1) высота возможных паводков (высокая, средняя, низкая); 2) потенциальная опасность затопления населенных пунктов (очень высокая, высокая, повышенная, низкая). С учетом этих показателей, на территории региона предварительно выделено три основных области потенциальной паводковой опасности.

Область низкой паводковой опасности охватывает юго-восточную часть территории республики – Кош-Агачский и Улаганский районы (кроме нижнего течения р. Чулышман). Область высокой опасности включает северную и северо-восточную части региона (Майминский и, частично, Чойский, Турочакский и Улаганский районы). Северо-западная, западная, юго-западная, центральная и южная части республики (Усть-Канский, Усть-Коксинский, частично Шебалинский, Чемальский, Онгудайский и Кош-Агачский районы) относятся к области с преобладающей умеренной паводковой опасностью, в пределах которой выделяются населенные пункты с низкой и повышенной опасностью.

Одним из важных итогов прошедшего катастрофического паводка явилось понимание масштабов воздействия водных объектов в целом на территорию региона и, в частности, на отдельные населенные пункты. С учетом его последствий и возможного повторения в будущем основная роль в обеспечении гидроэкологической безопасности РА должна отводиться мерам превентивной противопаводковой защиты, в т. ч. мероприятиям по регулированию речного стока, по строительству и ремонту сооружений инженерной защиты, расширению сети гидрологических наблюдений [Робертус, 2014].

Представляется, что реализацию этих мероприятий необходимо осуществлять в рамках целевой программы по защите населения и хозяйственной инфраструктуры от негативного воздействия водных объектов, разработке которой должны предшествовать работы по оценке потенциальной опасности затопления населенных пунктов и инженерно-хозяйственных объектов на всей территории региона. Результаты этих работ позволят также внести необходимые коррективы в существующие генеральные планы поселений и схемы территориального планирования муниципальных образований республики.

В настоящее время обеспеченность населенных пунктов РА инженерными сооружениями защиты в целом низкая. Они имеются лишь в четвертой части поселений. Их общая длина 20,9 км позволяет обеспечить защиту береговой линии на 27,3% ее суммарной протяженности. После прохождения катастрофического паводка 2014 г. значительная часть существующих сооружений защиты была частично или полностью разрушена. Лишь некоторые дамбы оказались достаточно эффективными и выдержали пропуск большой воды. Высота большинства "допаводковых" и вновь построенных дамб незначительно – на 0,3–0,7 м превышает уровень воды паводка 2014 г., при этом в ряде населенных пунктов (г. Горно-Алтайск, частично села Майма, Кызыл-Озек, Онгудай, Камлак) высота дамб ниже уровня затопления на 0,2–1 м.

Риск наводнений может усиливаться в условиях глобальных климатических изменений. Предполагается [Изменения…, 2011], что в будущем на территории Алтае-Саянского региона будет сохраняться и даже повышаться вероятность опасных наводнений при высоких половодьях

и паводках, а также опасность активизации русловых деформаций и сопряженных с ними негативных гидрогенных процессов.

В качестве примера последствий таких суперпаводков оценен масштаб затопления основных населенных пунктов республики – г. Горно-Алтайска и с. Майма, для двух гипотетических сценариев паводковой ситуации, при которых уровень воды 2014 г. будет превышен на 0,5 и 1 м. Установлено, что при превышении этого уровня воды на 0,5 м площадь затопления г. Горно-Алтайска составит 40%, при повышении на 1 м – 50% его территории. Для с. Майма эти значения составят 80 и 90% соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А.О. Кокорина. – М.: WWF России, 2011. – 168 с.

Люцигер А.О. Аномальный паводок 2014 года на Алтае / Тр. II Всерос. науч. конф. "Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии". Том 1. – Барнаул: 2014. – С. 118–129.

Робертус Ю.В., Достовалова М.С. Режимоообразующие факторы экстремальной гидрологической ситуации в Горном Алтае в 2014 году //Тр. II Всерос. науч. конф. "Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии". Том 1. – Барнаул: 2014. – С. 130–135.

Робертус Ю.В. К проблеме гидроэкологической безопасности на территории Республики Алтай // Мат. Межд науч.-практ. конфер. "Экологические аспекты природопользования в Алтае-Саянском регионе". – Белокуриха: 2014. – С. 39–44.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS

Robertus Y.V.[1], Dostovalova M.S.[2]

[1] Altai Regional Institute of Ecology, Mayma, Altai Republic, Russia, ariecol@mail.gorny.ru

[2] OJSC "Altai-Geo" Mayma, Altai Republic, Russia, altaigeo@mail.gorny.ru

ABSTRACT

The reasons, features of passing and a consequence of an extreme rain flood of 2014 in Altai Mountain are characterized. Zoning of the territory of the region in terms of flood risk is planned. The analysis of security of flood protection structures was carried out.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В БАССЕЙНАХ РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Семенова О.М.[1,2], Виноградова Т.А.[2], Лебедева Л.С.[3]

[1] НПО Гидротехпроект, Санкт-Петербург

[2] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

[3] Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН, Якутск

vinograd1950@mail.ru

Представлены результаты моделирования процессов формирования стока на Черноморском побережье Северо-Западного Кавказа (район Новороссийск – Туапсе). Определены параметры детерминированной гидрологической модели Гидрограф и стохастической модели Погоды для района исследования. Методом детерминировано-стохастического моделирования рассчитана кривая распределения максимальных расходов воды в устье неизученной р. Цемес, г. Новороссийск. Даны рекомендации по использованию метода детерминировано-стохастического моделирования в расчетах характеристик стока в исследуемом районе.

Бассейны малых рек побережья Черного моря являются одним из паводкоопасных регионов России. Максимальные расходы на реках Черноморского побережья формируются в период зимних паводков при выпадении осадков высокой интенсивности, что в отдельных случаях может усугубляться таянием снега. Катастрофические ливни, приводящие к формированию экстремальных паводков, очень локальны, синхронность не прослеживается в формировании особо высоких пиков расходов на сопредельных водосборах и даже на разных замыкающих створах одной реки. Это приводит к неадекватности расчета максимальных расходов воды на неизученном водосборе с помощью подбора реки-аналога. При прохождении высоких паводков гидрологические посты зачастую разрушаются, и величина максимального расхода определяется неточно. Возможность использования традиционных методов, основанных на подборе реки-аналога и экстраполяции данных наблюдений, становится под вопросом в условиях высокой изменчивости метеорологических и ландшафтных условий предгорий Кавказа. Приоритетной задачей является разработка и использование адекватных методов оценки гидрологических характеристик стока при проектировании сооружений на реках. Методы должны быть применимы как на изученных, так и на многочисленных неизученных водосборах региона. В качестве альтернативы стандартным методам расчета характеристик стока различной обеспеченности в данной работе предложен метод детерминировано-стохастического (ДС) моделирования, основанный на применении двух моделей – детерминированной модели формирования стока – и стохастической модели погоды. Подробную информацию об идеологии, структуре, содержании модели "Гидрограф" и ДС модели можно найти в монографиях [Виноградов, 1988; Виноградов, Виноградова, 2008,2010], примеры ее применения в различных физико-географических условиях могут быть найдены в [Semenova, Vinogradova, 2009; Vinogradov, Semenova, Vinogradova, 2011] и на сайте *www.hydrograph-model.ru*. Преимуществом метода ДС-моделирования является прямой учет факторов формирования стока, изменений окружающей среды, а также возможность получать практически неограниченные ряды данных по стоку, по которым определяются все необходимые гидрологические характеристики. Недостатком метода является трудоемкость расчетов и необходимость обучения использованию моделей.

Реки Черноморского побережья (по которым проводились расчеты) относятся преимущественно к рекам дождевого типа питания с характерным паводковым режимом стока. Водосборы исследуемых рек находятся ниже снеговой линии. Сток формируется за счёт выпадения жидких осадков, Паводки на реках наблюдаются в течение всего года. Наиболее высокие паводки в период от начала наблюдений по 1990 гг. на участке от Анапы до Туапсе наблюдались в 1961 и 1980 гг. На территории Туапсинского района в октябре 2010 и 2012 гг. было зафиксировано прохождение ливневых осадков, которые привели к катастрофическим наводнениям. Наводнения могут быть сформированы также за счёт водяных смерчей и в результате образования подпора в местах сужения русла, при неконтролируемом корчеходе.

Для оценки параметров модели "Гидрограф", ее адаптации и анализа применимости к району исследования выбраны четыре бассейна рек Черноморского побережья (дополнительно к водосбору р. Цемес – устье г. Новороссийск), обеспеченных суточными данными по расходам воды и метеорологической информацией – р. Дюрсо – Абрау-Дюрсо, р. Адерба – Светлый, р. Вулан – к.п. Архипо-Осиповка, р. Туапсе – г. Туапсе. В районе исследования по семи метеорологическим станциям собирались суточные значения осадков, температуры и дефицита влажности воздуха. Следует отметить, что лишь две метеостанции (Мархотский Перевал и Горный) располагаются вблизи вершин горного массива, характеризующихся выпадением большего количества осадков по сравнению с побережьем. Таким образом, возможности построения зависимостей количества осадков от высоты, важных для интерполяции данных при недостаточности метеоданных, оказались очень ограниченными. В связи с отсутствием суточных данных о продолжительности выпадения осадков был проведен анализ опубликованных материалов, а именно данных плювиографов для отдельных событий, публикуемых для метеостанций в метеорологических ежемесячниках. Проведена большая работа по сбору данных трех метеостанций в один массив. Для анализа использовались данные метеорологических ежемесячников за 1966–1990 гг. и 1999–2011 гг. Для анализа рассматривались осадки более 10 мм. Для трех станций были собраны данные о слое осадков и средней их интенсивности выпадения: Новороссийск (166 значений, максимальный слой осадков 178 мм, соответствующая интенсивность 0,65 мм/мин), Туапсе (370 значений, максимальный слой осадков 123 мм, соответствующая интенсивность 0,24 мм/мин), Горный (270 значений, максимальный слой осадков 291 мм, соответствующая интенсивность 0,36 мм/мин). Был сделан вывод, что результаты детерминированного моделирования стока в исследуемом районе зависят от наличия суточных данных об интенсивности осадков. При оценке параметров почвенно-растительного покрова особое внимание уделялось коэффициентам испаряемости из почвенно-растительного покрова и емкости перехвата, а также фенологическим датам, определяющим ход развития растительности и интенсивность испарения в различные сезоны года. Решение проблемы интерполяции осадков в горных условиях может опираться на нормирование суточных сумм осадков по их годовой среднемноголетней величине. Связанную с этим задачу домодельного назначения годовых норм осадков решали на основе выявленных локальных зависимостей осадков от высоты места. Для анализа распределения среднего годового количества осадков в исследуемом районе использованы среднемноголетние годовые суммы осадков за период 1966–1983 гг. по 7 метеорологическим станциям Черноморского побережья. Построенная кривая в координатах высота местности – норма осадков не позволила выявить однозначную зависимость между высотой и осадками, поэтому были использованы локальные зависимости, оцененные по парам метеостанций: Новороссийск – Мархотский перевал с увеличением осадков 15 мм /100 мм для бассейнов рр. Дюрсо и Цемес, Туапсе – Горный с увеличением осадков 107 мм /100 мм для р. Туапсе и средневзвешенное значение между этими двумя парами для рр. Адерба (35 мм /100 м) и Вулан (75 мм /100 м). С помощью принятых зависимостей получены соотношения осадков, выпадающих на разных высотах. При интерполяции температуры воздуха из метеостанций в расчетные точки, данные о температуре воздуха приводятся с помощью градиента температуры к уровню моря, затем интерполируются и восстанавливаются в расчетных точках с помощью того же градиента.

Непрерывное моделирование процессов формирования стока было проведено с суточным интервалом для пяти створов исследуемого района (р. Дюрсо – Абрау-Дюрсо, р. Адерба – Светлый, р. Вулан – к.п. Архипо-Осиповка, р. Туапсе – г. Туапсе), в том числе для неизученного бассейна р. Цемес. Результатами моделирования стали гидрографы стока, значения элементов водного баланса, а также статистические оценки эффективности расчетов для створов с имеющимися данными наблюдений за стоком. Период расчета, лимитированный на момент расчетов наличием метеорологической и контрольной гидрологической информации, составил 18 лет (1966–1983 гг.) для рр. Адерба, Вулан и Цемес, 11 лет (1966–1976 гг.) – для р. Дюрсо и 30 лет (1966–1995 гг.) – для р. Туапсе. Рассчитанные и наблюденные гидрографы имеют хорошее фазовое совпадение и соответствие по объему стока – среднемноголетний рассчитанный и наблюденный слой стока составили 1115 и 1183 мм соответственно. Однако, рассчитанные максимальные расходы значительно ниже наблюденных величин, и их отклонение достигает 30–50% от наблюденных значений.

На рис. 1 приведено сравнение эмпирической кривой с кривыми распределения, рассчитанными на основе использования разных наборов параметров, а именно параметра продолжительности дождя и корректирующего коэффициента к осадкам. Рассчитанная кривая распределения максимальных расходов (2) наиболее близко совпадает с наблюденной (1) при использовании значения

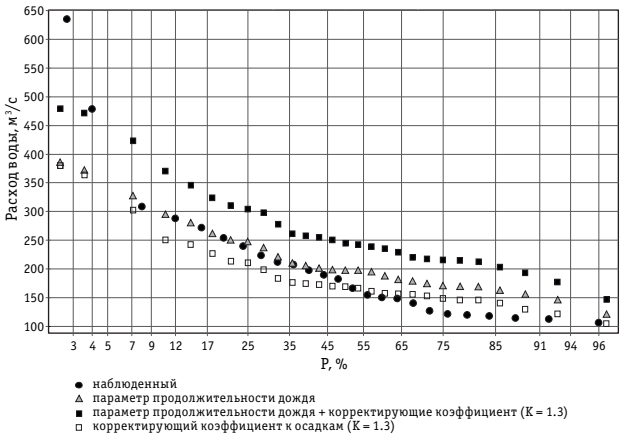


Рис. 1. Кривые распределения максимальных годовых расходов, рассчитанные при разных сочетаниях параметров и корректирующих коэффициентов. Р. Туапсе – г. Туапсе

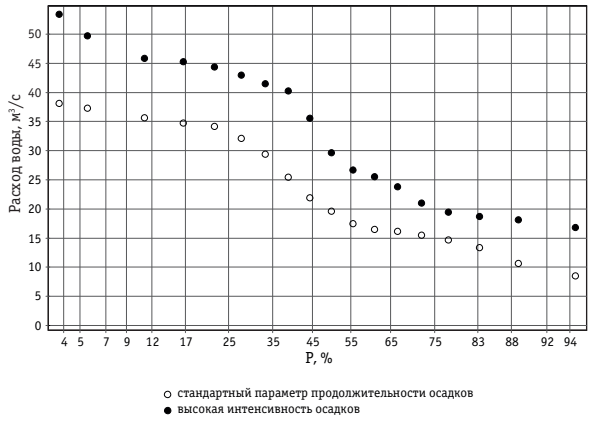


Рис. 2. Кривые распределения максимальных расходов в бассейне р. Цемес, рассчитанные при разных параметрах продолжительности выпадения осадков, 1966–1983 гг.

параметра продолжительности дождя, обеспечивающего максимальные интенсивности выпадения осадков. Однако, при событиях вероятности менее 4% отклонение рассчитанной кривой от эмпирической достигает 25–45%. Такие отклонения могут быть скомпенсированы при моделировании введением поправочных повышающих коэффициентов к осадкам.

Одной из гипотез, основанной на результатах моделирования стока в бассейне р. Туапсе, является выделение фактора продолжительности выпадения осадков (или их интенсивности) в качестве основного для формирования максимальных расходов воды. Верность этой гипотезы была подтверждена при моделировании стока на остальных бассейнах.

Детерминированное моделирование проведено в неизученном бассейне р. Цемес для периода 1966–1983 с суточным интервалом расчета. На рис. 2 представлены кривые распределения максимальных расходов воды в бассейне р. Цемес, рассчитанные при разных параметрах продолжительности выпадения осадков также за период 1966–1983 гг. В этих расчетах использовались метеорологические данные станции Новороссийск.

Стохастическое моделирование метеорологических рядов состоит из трех этапов: оценка параметров модели Погоды на основе рядов суточных данных, моделирование метеорологических рядов согласно заданным параметрам и сравнение результатов моделирования с исходными метеорологическими данными. При оценке параметров модели Погоды для бассейна р. Цемес использованы ряды данных 3 метеостанций – Новороссийск (1892–1996 гг., 98 лет – осадки и 1966–1985 гг., 20 лет – температура воздуха), Мархотский Перевал (1966–1983 гг., 18 лет – осадки и температура воздуха) и Туапсе (1996–1996 гг., 31 год – влажность воздуха).

Для бассейна р. Цемес были смоделированы непрерывные суточные ряды осадков, температуры и влажности воздуха длиной сто лет согласно заданным параметрам, оцененным на основании данных наблюдений на станции Новороссийск, были использованы для расчета максимального паводка 1% обеспеченности в замыкающем створе р. Цемес, город Новороссийск. Для расчета задавались значения параметра продолжительности осадков, обеспечивающие максимальные интенсивности выпадения осадков. Максимальный расход 1% обеспеченности для расчетного створа р. Цемес составил 80 м^3/с, максимальная суточная сумма осадков – 209 мм, а слой стока – 84 мм.

В заключение следует отметить, что для расчета максимального расхода воды 1% обеспеченности в неизученном створе бассейна р. Цемес, г. Новороссийск были выполнены следующие задачи: 1) создана информационная база для моделирования, включающая суточные гидрологические и метеорологические данные в бассейнах рек Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа за период 19 лет; 2) произведен анализ данных по продолжительности выпадения осадков в исследуемом районе и анализ зависимостей сумм осадков от высоты местности в районе исследования; 3) оценены параметры гидрологической модели Гидрограф для выбранных бассейнов, а также для бассейна р. Цемес, и проведено моделирование гидрографов стока в пяти бассейнах рек Черноморского побережья, в том числе в бассейне р. Цемес. Результаты детерминированного моделирования признаны удовлетворительными; 4) на основе рядов метеорологических данных произведена оцен-

ка параметров модели Погоды для метеостанции Новороссийск и произведено моделирование непрерывного ряда метеоэлементов длиной сто лет с суточным разрешением для этой метеостанции; 5) проведен анализ результатов стохастического моделирования. Результаты стохастического моделирования признаны удовлетворительными; 7) проведено детерминировано-стохастическое моделирование гидрографов стока в бассейне р. Цемес, на основе его результатов построена кривая обеспеченности максимальных расходов.

Для получения более надежных результатов необходимы следующие сведения: суточные данные о продолжительности выпадения жидких осадков на метеорологических станциях и постах, а также суточные данные об осадках на метеорологических и гидрологических постах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов стока. Опыт критического анализа. – Л: Гидрометеоиздат, 1988. – 312 с.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Современные проблемы гидрологии. – М.: Изд. Центр "Академия", 2008. – 319 с.

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. – М.: Изд. Центр "Академия", 2010. – 297 с.

Semenova, O.M., Vinogradova, T.A. A universal approach to runoff processes modelling: coping with hydrological predictions in data scarce regions. In: New Approaches to Hydrological Prediction in Data-Sparse Regions. – IAHS Publ., 2009. – 333. – P. 11–19.

Vinogradov, Y.B., Semenova, O.M. and *Vinogradova, T.A.* An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system //Hydrological Processes, 2011. – n/a. doi:10.1002/hyp.7901

SIMULATION OF MAXIMUM FLOWS IN RIVER BASINS ON THE BLACK SEA COAST OF NORTHWEST CAUCASUS

Semenova O.[1,2], Vinogradova T.[2], Lebedeva L.[3]

[1] *Gidrotehproekt Ltd., St. Petersburg, Russia*

[2] *St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

[3] *Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russia*

vinograd1950@mail.ru

ABSTRACT

The results of runoff formation processes simulations on the Black Sea coast of North-West Caucasus (near Novorossiysk – Tuapse) are presented. The parameters of deterministic hydrological model Hydrograph and stochastic model of weather for the study area are evaluated. The method of deterministic-stochastic modelling is used to estimate probabilistic distribution curve of maximum discharges at ungauged basin (the mouth of river Tsemes at Novorossiysk. The recommendations on use of the deterministic-stochastic approach for assessment of flow characteristics are described.

МЕТОД ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РАВНИННЫХ РЕК В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Шакирзанова Ж.Р.

Одесский государственный экологический университет, Одесса, Украина

jannettgidro@mail.ru

В работе представлен метод территориальных долгосрочных прогнозов характеристик весеннего половодья (максимальных расходов воды, слоев стока, сроков начала и прохождения максимальных расходов воды) на равнинных реках.

В современных климатических условиях катастрофические природные явления, в том числе и экстремальные (многоводные) половодья, имеют бóльшую повторяемость, что может приводить к существенным социально-экономическим ущербам при возникновении высоких уровней воды.

Территориальное прогнозирование характеристик весенних половодий, сроков их прохождения на реках связано с необходимостью пространственного обобщения этих характеристик для довольно значительных территорий.

Территориальный метод долгосрочных прогнозов характеристик весеннего половодья позволяет вести оперативное прогнозирование для рек, в том числе и для тех, по которым отсутствуют временные ряды гидрометеорологических наблюдений.

Разработка метода территориальных долгосрочных прогнозов – слоев стока и максимальных расходов воды весеннего половодья, сроков прохождения половодий равнинных рек основывалась на анализе продолжительных рядов гидрометеорологических наблюдений в бассейнах равнинных рек Украины, Беларуси и России – Днепра (с Припятью и Десной), Северского Донца, Южного Буга и небольших рек Причерноморской низменности.

В современных климатических условиях наблюдается повышение зимних температур воздуха, уменьшение максимальных снегозапасов и глубины промерзания почвы при практически неизменных величинах весенних осадков. Это приводит к изменениям водного режима весеннего половодья – уменьшению как слоев стока, так и максимальных расходов воды половодий. Для оценки эффективности прогнозного метода характеристик весеннего половодья предлагается адаптация его к нынешнему состоянию водосборов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учитывая многофакторность процесса образования весеннего стока, водность половодья в каждом конкретном году определяется возможным сочетанием гидрометеорологических факторов. Метод прогноза предполагает на первоначальном этапе выполнение типизации половодий по их водности (много-, средне- или маловодное). С этой целью в работе использован метод дискриминантного анализа, который позволяет по комплексу установленных стокоформирующих факторов с достаточной заблаговременностью осуществлять качественную оценку или диагноз типа водности будущей весны [Гопченко, Шакирзанова, 2005; Шакірзанова, 2015].

Так, в пределах равнинной территории Украины получены уравнения дискриминантной функции *DF* в виде

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{q_{09-01}} + a_3 k_L + a_4 \theta_{02}, \quad (1)$$

где a_i, $i = 0 \div 4$ – коэффициенты дискриминантной функции, образующие вектор $A(a_0; a_1; a_2; a_3; a_4)$. Выбор вектор-предиктора в дискриминантной функции осуществлялся на основе анализа формирования условий весеннего половодья в бассейнах рек с различными физико-географическими характеристиками. В него вошли такие факторы (выраженные в модульных коэффициентах), как максимальные снегозапасы и дождевые осадки, которые принимают участие в формировании весеннего стока (в виде величины k_x), показатели возможных потерь стока: увлажнение почв (в виде интегральной характеристики $k_{q_{09-01}}$ – средний модуль стока с сентября предыдущего по январь текущего года) и максимальные

ная глубина промерзания почвы на водосборе – k_L , а также среднемесячная температура воздуха в феврале – $\theta_{02}°C$.

Количественные значения прогнозных величин в виде модульных коэффициентов слоев стока или максимальных расходов воды в текущем году получаются по их зависимостям от суммарных влагозапасов соответственно знаку дискриминантных уравнений (для много-, средне- или маловодных половодий) и уравнений полиномов, которые их описывают

$$k_m = b_0 + b_1 k_x + b_2 (k_x)^2 + b_3 (k_z)^3, \qquad (2)$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты полинома; k_m – модульные коэффициенты слоев стока $k_m = Y_m/Y_0$ (Y_m и Y_0 – слои весеннего стока и их среднемноголетние величины, мм) или максимальных расходов воды (модулей) весеннего половодья $k_m = q_m/q_0$ (q_m и q_0 – максимальные модули весеннего половодья и их среднемноголетние величины, $м^3/(с{\cdot}км^2)$).

Коэффициенты уравнений (1) и (2) обобщены для рек с однотипными условиями формирования весеннего стока и могут быть использованы для рек таких районов, не зависимо от размеров водозборов и их гидрологической изученности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Формой пространственного представления прогнозной информации в виде модульных коэффициентов как слоев стока, максимальных расходов воды и их обеспеченностей в каждом году являются карты-схемы их рапределения по территории.

Получение прогнозируемых значений слоев стока и максимальных расходов воды производится по соотношениям:

– для слоев весеннего стока

$$Y'_m = k_m \cdot Y_0 \cdot K_{Y2010}, \qquad (3)$$

– для максимальных расходов воды половодья

$$Q'_m = k_m \cdot Q_0 \cdot K_{Q2010}, \qquad (4)$$

где k_m – модульные коэффициенты слоев стока или максимальных расходов воды весеннего половодья, снятые с оперативных прогностических карт-схем (для центра тяжести речного водосбора).

Учитывая многолетнюю тенденцию к постепенному снижению величин слоев стока и максимальных расходов воды весеннего половодья в связи с современными изменениями климата, к среднемноголетним их величинам (полученных в методике прогноза по состоянию на 2000 год), рекомендуется вводить поправочный коэффициент $K_{Y_{2010}}$ или $K_{Q_{2010}}$ (на снижение водности рек в весенний период) с 2010 и последующие годы [Шакірзанова, 2015]. Такие коэффициенты обобщены по территории в зависимости от географического положения водосборов, однако рекомендуется их уточнение, например, каждые десять лет, с целью учета возможных тенденций изменения водности весеннего половодья рек в будущем.

В работе предложена методика комплексного фонового прогнозирования дат начала весеннего половодья и наступления максимальных расходов (уровней) воды, которая основана на установлении прогностических зависимостей этих дат от среднедекадных температур воздуха. Обобщение параметров прогнозной схемы осуществлено в зависимости от географического расположения и площадей речных водосборов [Шакірзанова, 2015].

Методика прогноза дат предусматривает и определение частоты повторяемости сроков прохождения половодий на реках в многолетнем разрезе, что устанавливается по кривым обеспеченностей этих дат. Спрогнозированные даты начала весенних половодий представляются картографически. В виде карт-схем изображаются и вероятностные оценки дат прохождения половодий. Получение ожидаемых дат максимальных расходов воды для любой реки территории, даже при отсутствии гидрологических наблюдений, ведется путем установления по картосхеме прогнозной даты начала половодья плюс расчетная продолжительность его подъема, которая определяется на региональном уровне при использовании данных метеорологического прогноза температур воздуха весной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кучмент Л.С. Речной сток (генезис, моделирование, предвычисление). – М.: 2008. – 394 с.

Гинзбург Б.М., С.В.Борщ, Ефремова Н.Д., Сильницкая М.И., Полякова К.Н. Методы долгосрочного и среднесрочного прогноза сроков прохождения максимального уровня весеннего половодья на реках Европейской территории России // Метеорология и гидрология. – 2002. – №11. – С. 81–92.

Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р. Территориальное долгосрочное прогнозирование максимальных расходов воды весеннего половодья: Учебное пособие. – К.: КНТ, 2005. – 240 с.

Шакірзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія. – Одеса: ФОБ Бондаренко М.О., 2015. – 252 с.

Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 448 с.

Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины: монография. – Одесса: ТЭС, 2002. – 110 с.

METHOD OF REGIONAL LONG-TERM FORECASTS OF SPRING FLOOD CHARACTERISTICS FOR THE PLAIN RIVERS UNDER CLIMATE CHANGE

Shakirzanova ZH.R.

Odessa State Environmental University, Odessa, Ukraine, jannettgidro@mail.ru

ABSTRACT

The method of regional long-term forecasts of spring flood characteristics (maximum discharge, depth of runoff, dates of beginning of flood and dates of the maximal discharge) for the plain rivers is presented in this paper.

ПОДСЕКЦИЯ 1.2

ГИДРОФИЗИКА

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В БОЛОТНО-ОЗЕРНЫХ ЛАНДШАФТАХ

Белолипецкий В.М.[1,2], Генова С.Н.[1]

[1] Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

[2] Институт математики и фундаментальной информатики СФУ, Красноярск

belolip@icm.krasn.ru

Рассматриваются болотно-озерные ландшафты. В вертикальном направлении выделяются слои: снег, лед, вода, талый грунт, мерзлый грунт. Теоретическое описание распределений температуры в воде и почвах при их промерзании или оттаивании осуществляется с помощью решений задач Стефана. Предложенный численный алгоритм определения вертикальных распределений температуры в талых и мерзлых слоях учитывает образование новых и аннулирование существующих слоев.

Рассматриваются болотно-озерные ландшафты. Так как вертикальные градиенты температуры, как правило, значительно превосходят горизонтальные, то при описании теплопереноса все физические процессы предполагаются одномерными в вертикальном направлении. В вертикальном направлении выделяются следующие слои: снег, лед, вода, талый грунт, мерзлый грунт.

Теоретическое описание температурного поля в воде и почвах при их промерзании или оттаивании осуществляется с помощью решений задач Стефана [Мейрманов, 1986]. Математическая модель основывается на уравнениях теплопроводности для мерзлой и талой зон. На границах фазового перехода (замерзания-таяния) ставятся условия равенства температур температуре фазового перехода и условие Стефана.

Имеется обширная литература по математическому моделированию вечной мерзлоты (см., например, [Анисимов, Нельсон, 1998; Малевский-Малевич и др., 2005; Аржанов и др., 2007; Sazonova, Romanovsky, 2003]. В докладе рассматривается малоразмерная численная модель вертикальных распределений температуры в талых и мерзлых слоях, учитывающая образование новых и аннулирование существующих слоев.

Можно выделить два типа водоемов: а) водоемы, которые зимой промерзают до дна, а летом лед тает по всей глубине и протаивают верхние слои дна (“мелкие” водоемы); б) водоемы, которые зимой не замерзают до дна (“глубокие” водоемы).

Возможны различные варианты расположения мерзлых и талых слоев. Пример варианта: слои снега, льда, воды, талого грунта, мерзлого грунта, талого грунта.

Вертикальные распределения температуры в каждом слое определяются из решения уравнения теплопроводности, удовлетворяющего соответствующим граничным условиям:

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = K_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} . \qquad (1)$$

Здесь T_i (t, z) – температура i – го слоя, $К_i$ – коэффициент температуропроводности, t – время, z – вертикальная координата (направлена вниз), $h_{i-1} \leqslant z \leqslant h_i$.

Граничные условия. Условие на границе атмосфера – вода (z=0)

$$\left(K \frac{\partial T}{\partial z}\right) = \frac{-F_n}{c_w \rho_w} , \qquad (2)$$

условие на границе атмосфера – снег + лед ($z = 0$)

$$T = T_{ice} . \qquad (3)$$

Условие на дне водоема (границе i-го $h_{i-1} \leqslant z \leqslant h_i$ и $(i + 1)$-го $h_i \leqslant z \leqslant h_{i+1}$ слоев, $z = h_i = h_{bt}$

$$T = T_{i+1} , \qquad (4)$$

$$\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right) = \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right)_{i+1} . \qquad (5)$$

На подвижных границах фазового перехода $(z = h_j)$

$$T_j = T_{j+1} = T_{ph} , \qquad (6)$$

$$\rho_i L_j \frac{\partial h_j}{\partial t} = \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right)_j - \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right)_{j+1} . \qquad (7)$$

Здесь ρ_w – плотность воды, c_w – удельная теплоемкость воды, F_n – полный тепловой поток на гра-

нице атмосфера – вода, T_{ice} – температура на поверхности льда, $z = h_i$ – координата границы между i-ым и (i+1)-ым слоями, λ – коэффициент теплопроводности, T_{ph} – температура фазового перехода, ρ_j – плотность j-го слоя, $L_j = L_w \cdot W_j$ – скрытая объемная теплота плавления среды в j-ом слое, $W_j = \Omega_{jw} / \Omega_j$ – влажность грунта в j-ом слое, Ω_{jw} – объем воды в грунте, Ω_j – объем всего грунта.

На нижней границе слоя вечной мерзлоты условия (7) дополняются заданием геотермического градиента в слое талого грунта $G = \partial T / \partial z$.

Начальные условия:

$$T_i(0, z) = T_i^0, \quad \delta_i = \delta_i^0. \tag{8}$$

Рассмотрим произвольный i-ый слой: $h_{i-1} \leqslant z_i \leqslant h_i$, $\delta_i = h_i - h_{i-1}$, где δ_i – толщина i-го слоя. Введем новые независимые переменные (t, ξ):

$$\hat{t} = t, \quad \xi_i = \frac{z_i - h_{i-1}}{\delta_i}, \quad 0 \leqslant \xi_i \leqslant 1,$$

Так как

$$\frac{\partial}{\partial z_i} = \frac{1}{\delta_i}\frac{\partial}{\partial \xi_i}, \quad \frac{\partial^2}{\partial z_i^2} = \frac{1}{\delta_i^2}\frac{\partial^2}{\partial \xi_i^2},$$

$$\frac{\partial}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} + w_i\frac{\partial}{\partial \xi_i},$$

$$w_i = \frac{\partial \xi_i}{\partial t} = \frac{1}{\delta_i}\left[(\xi - 1)\frac{\partial h_{i-1}}{\partial t} - \xi_i\frac{\partial h_i}{\partial t}\right],$$

то уравнение (1) и граничные условия (2) – (7) запишутся в виде

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} + w_i\frac{\partial T_i}{\partial \xi_i} = \frac{K_i}{\delta_i^2}\frac{\partial^2 T_i}{\partial \xi_i^2}, \tag{9}$$

$$\left(\frac{K_i}{\delta_i}\frac{\partial T_i}{\partial \xi_i}\right)_{\xi_i=0} = -\frac{F_n}{c_w\rho_w},$$

$$T_i\big|_{\xi_i=0} = T_{ice}, \quad T_i\big|_{\xi_i=1} = T_{i+1}\big|_{\xi_{i+1}=0}, \tag{10}$$

$$\left(\frac{\lambda_i}{\delta_i}\frac{\partial T_i}{\partial \xi_i}\right)\Big|_{\xi_i=1} = \left(\frac{\lambda_{i+1}}{\delta_{i+1}}\frac{\partial T_{i+1}}{\partial \xi_{i+1}}\right)\Big|_{\xi_{i+1}=0}$$

$$T_j\big|_{\xi_j=1} = T_{j+1}\big|_{\xi_{j+1}=0} = T_{ph}, \tag{11}$$

$$\rho_j L_j\frac{\partial h_j}{\partial t} = \left(\frac{\lambda_j}{\delta_j}\frac{\partial T_j}{\partial \xi_j}\right)\Big|_{\xi_j=1} - \left(\frac{\lambda_{j+1}}{\delta_{j+1}}\frac{\partial T_{j+1}}{\partial \xi_{j+1}}\right)\Big|_{\xi_{j+1}=0}. \tag{12}$$

Рассмотрим решение сформулированных задач на грубой (трехточечной) сетке в каждом слое: $\xi_{i1} = 0$, $\xi_{i2} = 0{,}5$, $\xi_{i3} = 1$.

Аппроксимируем уравнение (9) с помощью неявной разностной схемы и направленных разностей для конвективных слагаемых [Математическое моделирование …, 1987]. Сеточные уравнения, соответствующие дифференциальному уравнению (9), для i-го слоя, имеют вид:

$$\frac{T_{i,2} - T_{i,2}^n}{\Delta t} = \frac{w^- T_{i,3} - 2w^0 T_{i,2} - w^+ T_{i,1}}{2} =$$

$$= \frac{K_i(T_{i,1} - 2T_{i,2} + T_{i,3})}{(0{,}5\,\delta_j^n)^2}, \tag{13}$$

$$w_{i,2} = -\left(\frac{dh_i}{dt} + \frac{dh_{i-1}}{dt}\right) / (2\delta_i^n),$$

$$w^0 = |w_{i,2}|, \quad w^- = w_{i,2} - |w_{i,2}|, \quad w^+ = w_{i,2} + |w_{i,2}|,$$

здесь Δt – шаг по времени, $t_{n+1} + \Delta t$, $T_{i,k}^{n+1} = T_i(t_{n+1}, \xi_{ik})$.

Для рассматриваемой разностной сетки записываются граничные условия (10)–(12). Для каждого варианта получаются уравнения для определения температуры в рассматриваемых слоях и положения границ раздела. Если δ_i становится меньше заданной малой величины ε ($\delta_i < \varepsilon$), то соответствующий слой аннулируется. Если в результате таяния или замерзания образуется новый k-ый слой, то для этого слоя задаются начальная толщина $\delta_k^0 = \varepsilon$ и значения температуры.

Предложенная численная модель позволяет описать многолетнюю динамику замерзания-таяния вечной мерзлоты и оценить влияние изменения климата на глубину сезонного протаивания грунта в болотно-озерных ландшафтах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН (проект 12).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анисимов О.А., Нельсон Ф.Э. Прогноз изменения мерзлотных условий в северном полушарии: применение результатов балансовых и транзитивных расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы //Криосфера Земли, 1998. – № 2. – С. 53–57.

Аржанов М.М., Елисеев А.В., Демченко П.Ф., Мохов И.И. Моделирование изменений температурного и гидрологического режимов приповерхностной мерзлоты с использованием климатических данных (реанализа) //Криосфера Земли, 2007. – № 4. – С. 65–69.

Малевский-Малевич С.П., Молькентин Е.К., Надежина Е.Д. Модельные оценки эволюции вечной мерзлоты и распределения слоя сезонного протаивания в зависимости от климатических условий в северных регионах Западной Сибири // Криосфера Земли, 2000.– № 4. – С. 49–57.

Математическое моделирование конвективного тепломассообмена на основе уравнений Навье-Стокса / В.И. Полежаев, А.В. Буне, Н.А. Верезуб и др. – М: Наука, 1987. – 271 с.

Мейрманов А.М. Задача Стефана. – Новосибирск: Наука, 1986. – 239 с.

Sazonova T.S., Romanovsky V.E. A model for regional scale estimation of temporal and spatial variability of active layer thickness and mean annual ground temperatures // Permafrost and Periglacial Processes, 2003– № 2. – P. 125–140.

NUMERICAL MODEL OF DYNAMICS PERMAFROST IN THE BOG-LAKE LANDSCAPES

Belolipetskii V.V. [1,2], **Genova S.N.**[1]

[1] *Institute of Computational Modelling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, belolip@icm.krasn.ru*

[2] *Institute of Mathematics and Computer Science, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

ABSTRACT

We consider the bog-lake landscapes. In the vertical direction the layers are distinguished: the snow, ice, water, soil thawed, frozen ground. The theoretical description of the temperature distribution in the water and soil during their freezing and thawing carried out by means of solving the Stefan problem. The proposal numerical algorithm for determining the vertical temperature distribution in thawed and frozen layers takes into account the formation of new and cancellation of existing layers.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАГЛУБЛЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО СЛОЯ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ

Васильев О.Ф.[1], Овчинникова Т.Э.[1, 3], Черных Г.Г. [2, 3]

[1] *Институт водных и экологических проблем СО РАН, Новосибирск*

[2] *Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

[3] *Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

teonew@iwep.nsc.ru

Для описания процессов вертикального турбулентного обмена в устойчиво стратифицированном водоеме построены усовершенствованные численные модели, основанные на алгебраических представлениях рейнольдсовых напряжений и потоков и использовании дифференциального уравнения переноса дисперсии флуктуаций вертикальной компоненты скорости. Построена численная модель вертикального турбулентного обмена в условиях одновременной (двойной) стратификации по температуре и солености. В случае устойчивой стратификации, задаваемой только вариацией солености, рассмотрена модификация Вайнстока релаксационного масштаба времени скалярного поля. Выполнено численное моделирование заглубления турбулентного слоя перемешанной жидкости в линейно стратифицированной среде под действием постоянного касательного напряжения. Результаты расчетов хорошо согласуются с известными экспериментальными данными.

ВВЕДЕНИЕ

Математическому моделированию вертикального турбулентного обмена в устойчиво стратифицированных средах посвящено большое число работ. Примером таких работ являются [Монин, Яглом, 1965; Marchuk et al, 1977; Роди, 1984; Weinstock, 1989; Васильев и др., 2012, 2013]. Обзор исследований с применением современных полуэмпирических моделей турбулентности можно найти в [Васильев и др., 2011]. Как видно из этих публикаций, к настоящему времени построена иерархия математических моделей, включающая полуэмпирические модели второго порядка замыкания. Широкое распространение получили классическая e – ε модель турбулентности и ее модификации с алгебраическими представлениями рейнольдсовых напряжений и потоков.

Интересным примером течения, в котором определяющую роль играет вертикальный турбулентный обмен, является течение, возникающее при заглублении турбулизованного слоя жидкости в линейно стратифицированной среде под ветровым воздействием на поверхность водоема. Его изучению также посвящено много работ (прежде всего, [Kato, Phillips, 1969]). Задача представляет интерес и в связи с исследованием процесса формирования верхнего квазиоднородного слоя океана (см., например, [Marchuk et al, 1977]).

Анализ публикаций показывает, что отсутствуют известные авторам основанные на современных полуэмпирических моделях турбулентности численные модели заглубления турбулентного слоя с учетом одновременной стратификации по температуре и солености. В случае стратификации, определяемой только соленостью (либо только температурой) отсутствуют оценки роли усовершенствованной аппроксимации Вайнстока [Weinstock, 1989] релаксационного масштаба времени скалярного поля. Попытке рассмотрения этих вопросов посвящена настоящая работа.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

При исследовании процесса заглубления турбулентного слоя (как и ряда других гидрофизических процессов в устойчиво стратифицированном водоеме) делаются упрощения, в результате которых осредненное горизонтально однородное движение описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[\nu \frac{\partial U}{\partial z} - \langle w' u' \rangle\right]; \qquad (1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[\chi_S \frac{\partial S}{\partial z} - \langle w' S' \rangle\right]; \qquad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[\chi_T \frac{\partial T}{\partial z} - \langle w' T' \rangle\right]. \qquad (3)$$

Здесь U – горизонтальная компонента осредненной скорости движения; S – осредненная соленость; T – осредненная температура; штрихами обозначены пульсационные составляющие; ν, χ_S и χ_T – коэффициенты молекулярной вязкости, диффузии и температуропроводности; $\langle w' u' \rangle$ – касательное рейнольдсово напряжение; $\langle w' S' \rangle$ и $\langle w' T' \rangle$ – вертикальные компоненты векторов потоков; z – вертикальная координата; t – время. Зависимость осредненной плотности жидкости ρ от солености задается линейным

соотношением $\rho = \rho_0(1 - \alpha(T - T_0) + \beta S)$. В силу линейности уравнения состояния $\rho' = \rho_0(-\alpha T' - T_0) + \beta S')$.

Для замыкания системы (1)–(3) привлекается математическая модель второго порядка, включающая в себя дифференциальные уравнения баланса энергии турбулентности e, скорости ее диссипации ε, уравнение переноса дисперсии турбулентных флуктуаций вертикальной компоненты скорости $\langle w'^2 \rangle$ [Васильев и др., 2012] (**модель 1**).

Для определения касательного турбулентного напряжения $\langle w'u' \rangle$ и корреляционного момента $\langle w'\rho' \rangle$ используются алгебраические аппроксимации [Роди, 1984; Васильев и др., 2012].

В настоящей работе построена математическая модель (**модель 2**), основанная на локально равновесных аппроксимациях потоков $\langle w'T' \rangle$, $\langle w'S' \rangle$, дисперсий флуктуаций температуры и солености $\langle T'^2 \rangle$, $\langle S'^2 \rangle$ и совместной корреляции $\langle S'T' \rangle$, являющихся следствием алгебраического усечения соответствующих дифференциальных уравнений переноса этих величин:

$$\langle w'S' \rangle = \frac{b_2 a_{11} - b_2 a_{21}}{a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}};$$

$$\langle w'T' \rangle = \frac{b_1 a_{22} - b_2 a_{12}}{a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}};$$

$$\langle S'T' \rangle = -C'_{TS}\frac{e}{\varepsilon}\left(\langle w'S' \rangle \frac{\partial T}{\partial z} + \langle w'T' \rangle \frac{\partial S}{\partial z}\right),$$

где

$$a_{11} = -2g\alpha C'_T(1 - C_{2T})\frac{e}{\varepsilon}\frac{\partial T}{\partial z} -$$

$$- g\beta(1 - C_{2T})C'_{TS}\frac{e}{\varepsilon}\frac{\partial S}{\partial z} - C_{T1}\frac{\varepsilon}{e};$$

$$a_{12} = g\beta C'_{TS}(1 - C_{2T})\frac{e}{\varepsilon}\frac{\partial T}{\partial z};$$

$$a_{21} = g\alpha C'_{TS}(1 - C_{2S})\frac{e}{\varepsilon}\frac{\partial S}{\partial z};$$

$$a_{22} = -g\alpha C'_{TS}(1 - C_{2S})\frac{e}{\varepsilon}\frac{\partial T}{\partial z} +$$

$$+ 2g\beta C'_S(1 - C_{2S})\frac{e}{\varepsilon}\frac{\partial S}{\partial z} - C_{S1}\frac{\varepsilon}{e};$$

$$b_1 = \langle w^2 \rangle \frac{\partial T}{\partial z}; \quad b_2 = \langle w^2 \rangle \frac{\partial S}{\partial z}.$$

Приведенные выше формулы содержат ряд эмпирических констант, значения которых являются в достаточной степени общепринятыми.

Для случая стратификации, зависящей только от солености, рассмотрена модификация Вайнстока [Weinstock, 1989], которая в конечном итоге сводится к тому, что в алгебраических представлениях $\langle w'u' \rangle$ и $\langle w'\rho' \rangle$ эмпирическая константа C_{1T} заменяется функцией частоты Вяйсяля – Брента

$$N = \left(-\frac{g}{\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial z}\right)^{1/2}$$ **(модель 1.1)**:

$$\tilde{C}_{1\rho} = C_{1\rho}(1 + a\tau^2 N^2) =$$

$$= C_{1T}\left(1 - 0{,}16\,\frac{g}{\rho_0}\frac{e^2}{\varepsilon^2}\frac{\partial \rho}{\partial z}\right) \equiv \tilde{C}_{1T}$$

В качестве граничных условий рассматриваемых моделей ставятся следующие.

На дне ($z = 0$):

$$K_{uz}(\partial U/\partial z) = k_b U\,|\,U\,|; \quad S = S_b;\ T = T_b;$$

$$\partial e/\partial z = 0; \quad \varepsilon = C_\varepsilon\,(e^{3/2}/l_b); \quad \partial\langle w'^2 \rangle/\partial z = 0;$$

На поверхности ($z = H$):

$$K_{uz}(\partial U/\partial z) = \tau_w/\rho; \quad \partial S/\partial z = 0; \quad \partial T/\partial z = 0;$$

$$e = \tau_w/\rho\,\sqrt{c_\mu}; \quad \varepsilon = C_\varepsilon\,(e^{3/2}/l_S).$$

Здесь K_{uz} – коэффициент вертикального турбулентного обмена; τ_w – касательное напряжение, обусловленное ветровой нагрузкой; l_S и l_b – масштабы шероховатости при $z = H$ и $z = 0$ соответственно.

Для $\langle w'^2 \rangle$ на поверхности используется алгебраическое соотношение, являющееся следствием усечения соответствующего дифференциального уравнения переноса:

$$\langle w'^2 \rangle = \frac{2}{3}e + \frac{e}{C_1\varepsilon}\left[(1 - C_3)\left(G_{33} - \frac{2}{3}G\right) -\right.$$

$$\left. - (1 - C_2)\,\frac{2}{3}P\right]; \quad G_{33} = -2(g/\rho_0)\langle w'\rho' \rangle;$$

$$P = -\langle w'u' \rangle(\partial U/\partial z); \quad G = -(g/\rho_0)\langle w'\rho' \rangle.$$

В начальный момент времени задавались следующие условия: $U = 0$; распределения S и T соответствовали линейному распределению плотности по вертикали (см. ниже); $\nu_t = 0$; $e = 0$; $\langle w'^2\rho' \rangle = 0$; $\varepsilon = 0$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С применением построенных численных моделей выполнены расчеты течения в канале глубиной $H = 0{,}3$ м, обусловленного действием постоянного касательного напряжения на поверхности жидкости, в соответствии с данными лабораторного эксперимента [Kato, Phillips, 1969].

Для вертикального распределения плотности и значения касательного напряжения на свободной поверхности рассмотрен вариант условий:

$$(\partial\rho/\partial z) = 384\ кг/м^4,\ \tau_w = 0{,}212\ кг/(м \cdot с^2).$$

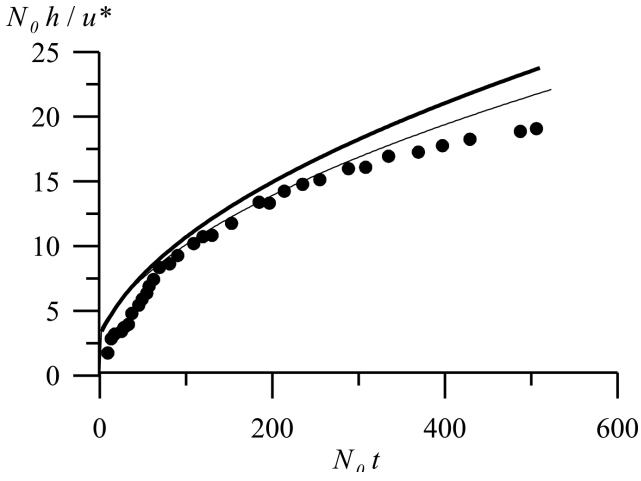


Рис. 1. Динамика заглубления перемешанного слоя, полученная по моделям 1 (тонкая линия) и 2 (полужирная линия). Точки – данные эксперимента [Kato, Phillips, 1969]

Во всех вариантах расчетов начальное значение плотности на поверхности жидкости было одинаково: $\rho^* = 10^3$ *кг/м*^{3}).

Основное внимание при анализе результатов численных экспериментов уделялось динамике заглубления перемешанного слоя, а также вертикальным распределениям основных переменных задачи: скорости U, энергии турбулентности e, скорости диссипации ε и коэффициентов вертикального турбулентного обмена $\nu_t = C_S \langle w'^2 \rangle e / \varepsilon$, K_{uz}, $K_{\rho z}$.

Глубина перемешанного слоя оценивалась в безразмерных переменных: $h_1 = N_0 h/u^*$ и $t_1 = N_0 t$. Здесь $N_0 = [-(g/\rho^*)(\partial\rho/\partial z)_{t=0}]^{1/2}$ – частота Вяйсяля – Брента, h – толщина перемешанного слоя, $u^* = \sqrt{\tau_w/\rho^*}$. Толщина перемешанного слоя в настоящем расчете определялась следующим образом: $h = H - z_h$, где z_h – величина, вычисляемая из соотношения $e(t, z_h) = 0{,}02 e_{max}(t)$, $e_{max}(t) = \max\limits_z e(t, z)$.

Сравнение результатов расчетов в условиях однородного распределения температуры с использованием моделей 1 и 1.1 показало, что вертикальные распределения основных параметров несколько различаются: диффузионные процессы менее выражены при использовании $\tilde{C}_{1T}$. При этом скорость заглубления перемешанного слоя, полученная в двух расчетах, практически одинакова.

Для сравнения результатов расчетов по моделям 1 и 2 начальные линейные распределения солености и температуры подбирались так, чтобы градиент плотности соответствовал условиям эксперимента, а плотность у поверхности была одинаковой в обоих случаях. Для модели 1 температура задавалась всюду равной 20°C. По второй модели эксперимента диапазон температуры изменялся от 18°C у дна до 20°C у поверхности. Динамика заглубления перемешанного слоя для этого эксперимента приведена на рис. 1.

Несмотря на то, что вертикальные распределения основных величин, полученные в этом эксперименте по двум моделям, различались весьма незначительно, модель 2 приводит к несколько более высокой скорости заглубления по сравнению с моделью 1, причем расхождение увеличивается со временем.

Авторы подчеркивают тот факт, что рассмотренный численный эксперимент является модельным; его условия рассмотрены с целью проверки работоспособности модели 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Васильев О.Ф., Воропаева О.Ф., Курбацкий О.Ф. Турбулентное перемешивание в устойчиво стратифицированных течениях окружающей среды: современное состояние проблемы (обзор) // Изв. РАН, ФАО, 2011. – № 3. – С. 291–307.

Васильев О.Ф., Овчинникова Т.Э., Черных Г.Г. Математическое моделирование заглубления турбулентного слоя в стратифицированной жидкости // Доклады Академии Наук, 2012 – Т. 443, № 5. – С. 578–582.

Васильев О.Ф., Овчинникова Т.Э., Черных Г.Г. О численном моделировании заглубления турбулентного слоя в устойчиво стратифицированной жидкости // Теплофизика и аэромеханика, 2013. – Т. 20, № 2. – С. 141–152.

Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч. 1. – М.: Наука, 1965. – 639 с.

Роди В. Модели турбулентности окружающей среды // Методы расчета турбулентных течений. Под

ред. В. Колльмана; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – С. 227–322.

Kato H., Phillips O.M. On the penetration of a turbulent layer into stratified fluid // J. Fluid Mech., 1969. – Vol. 37, part 4. – P. 643–655.

Marchuk G.I., Kochergin V.P., Klimok V.I., Sukhorukov V.A. On the dynamics of the ocean surface mixed layer // J. Phys. Oceanography, 1977. – Vol. 7. – P. 865–875.

Weinstock J. A theory of turbulence transport // J. Fluid Mechanics, 1989. – Vol. 202. – P. 319–338.

MATHEMATICAL MODELS OF THE PENETRATION OF A TURBULENT LAYER IN STABLY STRATIFIED FLUID

Vasiliev O.F.[1], Ovchinnikova T.E.[1,3], Chernykh G. G.[2,3]

[1] *Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Novosibirsk, Russia, teonew@iwep.nsc.ru*

[2] *Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk, Russia, chernykh@ict.nsc.ru*

[3] *Novosibirsk State University, Novosibirsk*

ABSTRACT

The improved numerical models based on the algebraic representations of the Reynolds stresses and fluxes and the use of the differential equation for the transfer of the dispersion of fluctuations of the vertical velocity component are constructed for describing the processes of a vertical turbulent exchange in a stably stratified reservoir. A numerical model of vertical turbulent exchange under the conditions of simultaneous thermal and salinity stratification is constructed. Weinstock modification of the relaxation time scale of scalar field is considered for the case of stratification caused by salinity variation only.Numerical modeling of the penetration of a turbulent layer of a mixed fluid in a linearly stratified medium under the action of constant shear stress is carried out. Computational results agree well with known experimental data.

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В РЕЧНЫХ И ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ

Виноградова Т.А.[1], Никифоровская В.С.[2]

[1] *Санкт-Петербургский Государственный университет, Институт наук о земле, Санкт-Петербург*

vinograd1950@mail.ru

[2] *Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск*

voevodin@hydro.nsc.ru

Рассматриваются вопросы математического моделирования формирования процессов тепломассопереноса в водных объектах (речных, озерно-речных системах) в условиях интенсивного воздействия на них различных природных и антропогенных факторов. Численное моделирование производится с помощью разных по размерности (0-мерные, одномерные, двумерные, комбинированные) математических моделей и численных методов, разработанных в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Обсуждаются вопросы, связанные как с выбором математических моделей для описания с удовлетворительной точностью исследуемых физических процессов и с построением математической модели русел водотоков, входящих в состав рассматриваемых водных объектов, так и с тестированием построенной модели русла, взамен реального, с использованием данных натурных наблюдений.

ВВЕДЕНИЕ

Целью настоящего доклада является использование ранее разработанного в Институте гидродинамики СО РАН комплекса математических моделей разных размерностей для исследования процессов тепломассопереноса, формирующихся в водных объектах под влиянием воздействия на них различных природных и антропогенных факторов. Отметим, что под водным объектом будем понимать водохозяйственную систему, которая может включать в себя в общем случае сильно разнящиеся друг от друга по морфометрическим и гидравлическим характеристикам объекты (отдельные водотоки, водоемы, озера, их взаимосвязанные системы (например, озерно-речная система с притоками/водозаборами и др.)). Возможное многообразие набора таких составляющих в исследуемой водохозяйственной системе или ее фрагменте представляет основную трудность не только с выбором математических моделей, соответствующим образом описывающих исследуемые в работе физические процессы, но и с проведением математического моделирования выше упомянутых процессов по одной какой-либо выбранной математической модели.

Используемый в работе комплекс программ представляет собой набор математических моделей, разных по постановкам (одномерные, двумерные продольно-вертикальные и т.д.) с разными возможностями учета воздействия на водный объект различных физических или каких-либо других внешних факторов. Гибкость использования комплекса программ обеспечивается предусмотренным набором соответствующих взаимосвязей (условий сопряжения) между отдельными частями исследуемого водного объекта.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ

Основными факторами, определяющими формирование в водных объектах процессов тепломассопереноса, являются скорости течения воды, ее температура, метеоусловия, а также концентрация субстанций, поступающих в водные объекты вместе со сточными водами промышленных, бытовых предприятий и сельскохозяйственных комплексов. В устьевых областях северных рек – это рассматриваемые в работе температура воды и концентрация соленых вод, проникающих в устьевые области северных рек при определенных в этих регионах метеоусловиях.

1. ОДНОМЕРНЫЕ (1D) МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ОТКРЫТЫХ ВОДОТОКАХ И ИХ СИСТЕМАХ [ВОЕВОДИН, ШУГРИН, 1993; НИКИФОРОВСКАЯ, 2014]

Для проведения численного моделирования в рамках одноразмерного представления происходящих физических процессов была использована универсальная программа DSOLT. Эта программа является составной частью разработанного в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН комплекса программ DSIGMA [Воеводин и др., 1989], предназначенного для решения научно-исследовательских и практических задач по гидрологическому обоснованию водохозяйственных проектов, оценки возможного отрицательного воздействия их на экологию окружающей среды, разработки эффективных природоохранных мероприятий [Никифоровская, Овчарова, 1989].

В программе DSOLT реализована математическая модель переноса тепла и субстанции (соли) с возможностью (и без) учета изменения плотно-

сти водной среды. Теоретической основой этой модели являются осредненные по поперечному сечению уравнения гидродинамики (уравнения мелкой воды), т.е. одномерные уравнения Сен-Венана, записанные в двух вариантах: обобщенной (полной) и модифицированной (усеченной) формах. В каждой из них предусмотрена возможность учета воздействия на водный объект климатологических факторов (ветер, атмосферное давление). При этом уравнения в полной форме (т.е. модель динамических волн) используются для описания (с удовлетворительной для практики точностью) распространения неустановившихся движений воды в открытых водотоках и их системах. В то время как с помощью представленной системы уравнений Сен-Венана в усеченном виде (модель диффузионных волн) удаётся более эффективно отразить и исследовать специфику распространения волновых процессов, происходящих в устьевых областях рек [Бондарев и др., 2014; Виноградова, 1988]. Формирование в них процессов переноса водой тепла и субстанций (соли) описываются с помощью уравнений: теплового баланса, учитывающего теплообмен водной поверхности с атмосферой, и баланса субстанций в водном объекте. Неизвестными функциями в математических моделях 1D в общем случае считаются изменения во времени и пространстве расходов и уровней воды, средних по сечению скорости, температуры воды и концентрации субстанций, содержащихся в водном потоке.

2. ДВУМЕРНАЯ (ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНАЯ) МОДЕЛЬ (2D) ТЕМПЕРАТУРНО-СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЙ В ГЛУБОКИХ ВОДОЕМАХ ВЫТЯНУТОЙ ФОРМЫ

Основой этой модели являются двумерные уравнения, полученные путем осреднения по ширине русла или водотока трехмерных уравнений гидродинамики и предположения о гидростатическом законе давления. Подробное описание модели приведено в [Васильев и др., 2005; Никифоровская, 2014]. Согласно этой модели неизвестными функциями являются: распределение расходов и уровней воды во времени и пространстве (уравнения неразрывности и движения записаны в переменных уровень – расход), поля вертикальных и горизонтальных скоростей, а также поля распределения (в пространстве и времени) температур и солености воды и зависящих от них полей плотности. Математическая модель разработана для исследования гидротермических процессов и процессов массопереноса в слабопроточных стратифицированных по плотности узких глубоких водоемах.

3. КОМПЛЕКСНАЯ ДВУМЕРНО-ОДНОМЕРНАЯ (ОДНОМЕРНО-ДВУМЕРНАЯ) МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ С УЧЁТОМ ПРОИСХОДЯЩИХ В НИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА [ВОЕВОДИН, НИКИФОРОВСКАЯ, 2012]

Эта математическая модель разработана на базе выше приведенных одномерной и двумерной (продольно-вертикальной) моделей и представляет собой их комбинацию в любой последовательности. Комплексная модель используется для исследования процессов тепломассопереноса в водных объектах, в состав которых могут входить разные по геометрическим размерам (масштабам) русла и водоемы с соответствующими им морфометрическими и гидравлическими характеристиками.

При построении вышеупомянутых моделей используются реальные морфометрические и гидравлические характеристики русла и прилегающих к нему пойменных массивов, их взаимодействие, а также учитывается воздействие внешних факторов (природных, антропогенных) на волновые процессы в водных объектах и процессы тепло- и массопереноса.

С математической точки зрения решение рассматриваемых задач сводится к решению начально-краевых задач для эволюционных квазилинейных уравнений в областях сложной структуры, топологическая структура которых описывается графом (одномерный, двумерный, одномерно-двумерный комплекс) [Воеводин, Никифоровская, 2012; Воеводин, Шугрин, 1993; Никифоровская, 2014]. При этом линейным участкам русел (водоемов-озер, водохранилищ) соответствуют отрезки комплекса или ребра графа, узлам системы – вершины комплекса или вершины графа. На участках течение описывается одномерными либо двумерными (продольно-вертикальными) уравнениями в зависимости от топологической структуры графа. В вершинах графа задаются необходимые для решения уравнений начальные и граничные условия, а также условия сопряжения, включающие в себя балансовые соотношения и условия примыкания концов участков к вершинам (слева/справа). Подробное описание их задания дается в работах [Васильев и др., 2005; Воеводин, Никифоровская, 2012; Воеводин, Шугрин, 1993; Никифоровская, 2014].

Численные методы для решения подобных задач разработаны на основе неявных абсолютно устойчивых разностных схем и методов расщепления по физическим процессам. Используются разработанные оригинальные алгоритмы для

решения систем разностных уравнений, эффективно учитывающие структуру матрицы системы, что обеспечивает экономичность методов в случае задач большой размерности. Использование неявных разностных схем обеспечивает возможность вести расчеты рассматриваемых процессов с крупными шагами по времени [Васильев и др., 2005; Воеводин, Шугрин, 1993], что очень важно при численном моделировании гидродинамических процессов большой продолжительности по времени (например, паводки, половодья, круглогодичный цикл и др.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приводятся примеры математического моделирования гидродинамических процессов с учётом формирования процессов тепломассопереноса в системах открытых русел и в озёрно-речных системах [Виноградова, 1988; Воеводин и др., 2009; Воеводин, Никифоровская, 2012; Никифоровская, 2014]. Исследовалась динамика пространственно-временной изменчивости гидравлических характеристик в арктических устьевых областях (Обь-Тазовская, Енисейская, Хатангская), озерно-речных системах (проточная система озеро Лама – река Лама). Особое внимание уделялось изучению способов определения параметров моделей (коэффициентов шероховатости, ветрового напряжения, коэффициента продольной дисперсии и др.), их заданию и исследованию их воздействия на формирование и распространение неустановившихся течений воды (гидротермический режим, перенос субстанций) в водных объектах [Бондарев и др., 2014; Виноградова, 1988; Воеводин и др., 2009; Воеводин, Никифоровская, 2012; Никифоровская, 2014].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и сравнение результатов численного моделирования процессов тепломассопереноса в речных и озерно-речных системах показал следующее.

1. Результаты математического моделирования гидродинамических режимов, формирующихся в водном объекте и процессов переноса температурных характеристик и концентрации субстанций (соли), содержащихся в водном потоке существенно зависят от нескольких факторов [Бондарев и др., 2014; Виноградова, 1988; Воеводин и др., 2009; Воеводин, Никифоровская, 2012; Никифоровская, 2014], в том числе от:

а) морфометрических и гидравлических параметров, использованных при построении математической модели русел водотоков рассматриваемого водного объекта (фрагмента объекта);

б) выбранной для проведения моделирования математической модели.

2. Использование комбинированных моделей для исследования изучаемых физических процессов, происходящих в системах водотоков и водоемов со сложными (разномасштабными) морфометрическими параметрами более экономично с точки зрения затрат ресурсов ЭВМ и наиболее эффективно по сравнению с использованием для этих же целей двухмерных моделей.

Были изучены, проанализированы пространственно-временная изменчивость следующих характеристик: стоковой составляющей уровня, расходов воды, средних по сечению скоростей течения в устьевых областях для наблюденных и модельных ситуаций, позволившие выявить закономерности процессов, формирующихся в изучаемых областях арктических рек.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта №4.8 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бондарев Э.А., Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С. Методы идентификации математических моделей гидравлики. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2014. – 188 с.

Васильев О.Ф., Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С. Численное моделирование температурно-стратифицированных течений в системах глубоких водоемов // Вычисл. Технологии, 2005. – Т. 10, – №5. – С. 29–38.

Виноградова Т.А. Закономерности распространения волны половодья в Обско-Тазовской устьевой области. Автореферат дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Изд. ГГИ. – Л., 1988 г.

Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Виноградова Т.А. Математические модели для прогнозирования процесса распространения волн катастрофических паводков в системах открытых русел и водотоков.// Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География, 2009. – №3 – С.139–144.

Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С. Комплексная математическая модель для исследования волновых процессов в проточных системах открытых русел и водоемов// Метеорология и гидрология, 2012. – №4. – С. 64–74.

Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Данилова З.В. Комплекс программ DSIGMA для расчета неустановившихся течений воды в разветвленных системах открытых русел с учетом ее качества // Алгоритмы и программы, 1989. – №2. Рег. номер №50880000681.

Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Овчарова А.С. Численные методы решения задачи о неустановившемся движении воды на устьевых участках рек // Тр. Аркт. и Антаркт. Науч.-исслед. ин-та, 1983. – Т. 378. – С.23–34.

Воеводин А.Ф., Шугрин С.М. Методы решения одномерных эволюционных систем. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1993.

Никифоровская В.С. Численное моделирование тепломассопереноса в водных объектах // Метеорология и гидрология, 2014. – №4. – С. 79–88.

Никифоровская В.С., Овчарова А.С. Комплекс гидравлических моделей для решения проблем рационального использования водных ресурсов / Рекламный проспект. – Внешторгиздат, 1989. Изд. №6120 МВ.

ABOUT THE NUMERICAL SIMULATION OF THE HEAT – MASS – TRANSFER PROCESSES OF FORMATION IN RIVER AND LAKE – RIVER SISTEMS

Vinogradova T.A.[1], Nikiforovskaya V.S.[2]

[1] *St.Peterburg State University, Institute of Earth Sciences, St.Petersburg, Russia, vinograd1950@mail.ru*

[2] *Lanrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia, voevodin@hydro.nsc.ru*

ABSTRACT

Mathematical simulation questions of term-mass-formation in river and lake-river systems are examined. Mathematical models (0D, 1D, 2D – longitudinal-vertical and (2D+1D) or (1D+2D)) and numerical methods for the research unsteady term-mass-transfer processes in complex open channels systems are used. Some numerical results of unsteady flows on the systems of river and of lake-river systems are presented.

РОЛЬ РАЗНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЖИМА РЕЧНЫХ ДЕЛЬТ

Долгополова Е.Н.

Институт водных проблем РАН, Москва

dolgopolova@gmail.com

Рассматриваются разные факторы, влияющие на формирование дельт рек. Все факторы разделены на две группы: периодические и эпизодические. Приводится краткое описание наиболее интересных и показательных объектов.

Речные дельты можно разделить на два типа: дельты выполнения, формирующиеся в глубоких заливах (при этом устье относится к эстуарно-дельтовому типу), и дельты выдвижения, формирующиеся на открытом устьевом взморье. Формирование речных дельт определяется, во многом, закономерностями движения наносов, на которые влияют многие факторы, основные из которых сток воды и наносов, изменения уровня приемного водоема, течения и волнения. Активный перенос наносов в дельтах способствует переформированию русел рукавов, вплоть до смены рукава, по которому осуществляется судоходство.

Факторы, влияющие на перенос наносов в дельтах, разделим на периодические (приливы, сезонные изменения стока воды и наносов, ледяные заторы, изменение уровня приемного водоема) и факторы без определенного периода, а именно, ливневые паводки, сгонно-нагонные явления, течения и преобладающее волнение в приемном водоеме. Изменения дна и берегов дельт, расположенных в районах карстовых и многолетнемерзлых пород также не имеют выраженного периода и зависят, в частности, от изменений климата. Необходимо отметить, что большая часть факторов воздействуют на гидролого-морфологические условия устья реки одновременно, и выделение результирующего влияния представляет известные трудности.

Наиболее изменчивый фактор – **приливы**, оказывают существенное влияние на формирование внутренних дельт и дельт выдвижения рек, впадающих в приливные водоемы. Если осолоненные воды при приливе достигают морского края (МКД) внутренней дельты, то потоки в рукавах участвуют в эстуарной циркуляции вод, и в них образуется одна или несколько зон максимальной мутности [Долгополова, 2015]. Основное влияние приливов в таком случае заключается в нарушении закономерного уменьшения среднего диаметра наносов от вершины к морскому краю дельты, как это происходит в некоторых рукавах дельты Енисея, где наблюдаются участки с увеличивающимся средним диаметром наносов вниз по течению. Влияние приливов также может быть существенно в устьях рек Печора, Луара, Сенегал и Конго, проникновение осолоненных вод в которые рассмотрено в [Полонский, 2012, Долгополова, 2014]. Приливные колебания уровня воды проникают в рукава дельты Параны, при этом осолоненные воды достигают только бара у МКД и пока не влияют на формирование дельты. Такая же ситуация наблюдается в устьях рек Обь и Эльба, где осолоненные воды не проникают в рукава дельт. Некоторое влияние приливы оказывают и на дельты выдвижения, например Лены. Амплитуда сизигийных полусуточных приливов в устьях проток Быковской и Трофимовской составляет в около 0,4 м, в Оленекской – 0,65 м [Долгополова, Исупова, 2014]. В нижней, приморской, части дельты в период низкого стока реки во время приливов отмечаются обратные течения солоноватых вод, несущих наносы вверх по течению, которые осаждаются при торможении течений. Таким образом, приливные течения в дельтах создают гидрологические условия, способствующие осаждению взвешенных наносов, не вызывающие, однако, радикальных переформирований дельт. При повышении уровня мирового океана влияние приливов на перенос наносов в дельтах усилится.

Сток воды и наносов рек (W_Q, W_S) изменяется с сезонной периодичностью, зависит от географического положения и климата. Во время половодья часто происходят значительные переформирования дельт, о чем свидетельствуют результаты исследований в дельте р. Лены, где средний многолетний сток взвешенных наносов – 22,66 млн т/год [Долгополова, Исупова, 2014]. Большая часть стока наносов проходит в период прохождения половодья, и приводит к образованию перекатов в рукавах дельты и формированию устьевых баров при впадении их в море. Русла проток Сардахская, Оленекская и Трофимовская в половодье деформируются, в результате чего осередки и побочни смещаются со

скоростью 30–40 м/год, берега размываются со скоростью около 10 м/год.

Прорыв ледового затора, образовавшегося во время весеннего половодья, действует на дно потока как гидравлический удар, что приводит к сильной донной и береговой эрозии и изменениям конфигурации русла. Примером донной эрозии, может служить значительное изменение глубины Сардахской протоки в дельте Лены, где ниже о. Сардах-Хайа образовалась промоина глубиной до 30 м, в которой скорости течения в межень составляют более 2 м/с. [Федорова и др., 2009, Долгополова, Исупова, 2014].

Уникальный пример влияния **уровня моря** (УМ) на формирование дельт, впадающих в него рек, представляет собой Каспийское море, для которого имеются данные падения и роста его уровня. Исследование формирования дельт рек, впадающих в Каспийское море [Михайлов и др., 2014], показало, что влияние изменений УМ на формирование дельты определяется, в первую очередь, характером устьевого взморья: отмелое, приглубое. Оказалось, что при отмелом устьевом взморье (дельта Волги) изменения УМ в рассмотренных пределах слабо сказываются на гидрологическом режиме дельты – они демпфируются обширной мелководной “буферной зоной”. В то же время, дельты Урала, Сулака и Куры в период понижения УМ закономерно выдвигались в море. Столь же интересным объектом представляется оз. Байкал, уровень которого повысился скачком, и изменяется периодически (в пределах 1 м) после окончания строительства Иркутской ГЭС в 1959 г. [Ильичева и др., 2014]. Введение в строй ГЭС совпало с многоводным периодом 1962–1972 гг. Длительное стояние высоких уровней Байкала и грунтовых вод в дельте реки Селенги вызвало затопление больших площадей субаэральной части дельты, имеющей пологое устьевое взморье. Сток наносов и развитие дельты происходят по-разному в трех секторах дельты. При повышении уровня воды в оз. Байкал в северном (Лобановском) секторе с наибольшим W_S = 45% происходит выдвижение дельты со скоростью 30–40 м/год [Ильичева и др., 2014], что согласуется с выводами, сделанными для дельт Каспийского моря в [Михайлов и др., 2014]. В западном секторе с меньшим стоком наносов W_S = 35% – происходит выдвижение МКД с меньшей скоростью – 15 м/год, а в Среднеустьевском – при W_S = 20% происходит отступание МКД.

На формирование дельты реки большое влияние оказывают **эпизодические факторы**: дождевые паводки, сгонно-нагонные явления, штормы, сели. Так, в результате летнего паводка 2012 г. в протоках дельты р. Селенги уровень воды поднялся на 1,0–1,5 м и толщина слоя накопленного аллювия в створе ВД возросла на 1,2 м [Ильичева и др., 2014]. Современные исследования МКД р. Дунай при постоянном росте УМ (5–8 мм/год) в течение коротких промежутков времени (1–2 года) показали, процессы нарастания и размыва МКД очень изменчивы – в результате сильных штормов размер и положение аккумулятивных форм меняется [Черой и др., 2012]. Эти изменения невозможно отличить от тех, которые произошли в половодье, без дополнительных измерений после шторма. Роль сгонно-нагонных явлений можно проиллюстрировать на устьях рек Кичера и Верхняя Ангара (W_Q = 8,3 км^3/год), впадающих в мелководную лагуну Ангарский Сор, находящуюся в северной части оз. Байкал [Петров, Ярославцев, 2014]. Подъем уровня озера и увеличение площади Ангарского Сора привело к преобладающей роли нагонов в гидрологическом режиме проливов, отделяющих лагуну от озера. Влияние половодья и паводков играет в этом районе существенно меньшую роль.

Геологическое строение долины и устья реки подвержено изменениям во времени без выраженного периода, особенно в районах карстовых пород и в зоне многолетнемерзлых пород (ММП). Ярким примером изменения морфологии рукавов в зоне ММП служит дельта Маккензи, где обнаружено 15 промоин глубиной 9–33 м, появившихся в период 1985–2004 гг. [Долгополова, Исупова, 2014]. Размывы происходят при сужениях русла рукава, при слиянии рукавов и в крутых изгибах русла (чаще всего выше по течению начала излучины) и представляют угрозу для целостности трубопроводов. Кроме того, в период глобального изменения климата возможность таких размывов в зоне ММП необходимо учитывать при освоении шельфа Арктики, где они могут превратиться в источник катастрофического загрязнения при размыве сделанных ранее захоронений [Максимов и др., 2014].

Активное использование человеком водных ресурсов и долин рек может приводить к скачкообразному изменению гидрологического режима реки и ее устья (строительство водохранилищ и ГЭС радикально изменяет величину W_S), и представляет собой катастрофическое явление в жизни реки. Например, в р. Енисей после введения в строй Красноярской ГЭС (1972 г.) сток взвешенных наносов уменьшился в 2,5 раза [Долгополова, 2015]. Последующее регулирование стока воды становится периодическим фактором, влияющим на режим дельты. Сокращение пахотных земель по берегам реки приводит к ослаблению береговой эрозии и заметному сокращению W_S. Так в ре-

ках Селенга и Баргузин величина W_S в период 1982–2008 гг. уменьшилась в 2 и 3 раза, соответственно [Потемкина, 2011].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№13-05-00141, 15-05-00342), ОНЗ РАН 10.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Долгополова Е.Н. Закономерности движения вод и наносов в устье реки эстуарно-дельтового типа на примере р. Енисей// Водные ресурсы, 2015. – Т. 42. – №2. – С. 175–185.

Долгополова Е.Н., Исупова М.В. Влияние многолетнемерзлых грунтов на гидролого-морфологические процессы в устьях рек Лена и Маккензи // Инженерная экология, 2014. – Т. 118. – №4. – С. 10–26.

Ильичева Е.А., Корытный Л.М., Павлов М.В. Русловая сеть дельты р. Селенги на современном этапе // Вестник ТГУ, 2014. – №380. – С. 190–194.

Максимов В.М., Тупысев М.К., Пронюшкина С.М., Кульпин Л.Г. Некоторые проблемы экологической и промышленной безопасности природно-техногенных морских объектов при освоении шельфа Арктики // Арктика: экология и экономика, 2014. – Т. 16. – №4. С. 60–67.

Михайлов В.М., Михайлова М.В., Исупова М.В. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек Каспийского региона как возможные аналоги ожидаемых изменений устьев других рек России и мира // Водные ресурсы, 2014. – Т. 41. – №5. С. 471–487.

Петров В.А., Ярославцев В.А. Влияние сгонно-нагонных явлений на морфологию устьев рек Северного Байкала // Инновационные системы, 2014. – Т. 1. – №1. – С. 32–45.

Полонский В.Ф. Влияние приливов на перераспределение стока воды в дельте р. Печоры // Арктика: экология и экономика, 2012. – Т. 6. – №2. – С. 20–27.

Потемкина Т.Г. Тенденция формирования стока наносов основных притоков озера Байкал в XX веке и начале XXI столетия //Метеорология и гидрология, 2011. – №12. – С 63–71.

Федорова И.В., Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Третьяков М.В., Четверова А.А. Современное гидрологическое состояние дельты Лены. Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики. – М.: Изд-во МГУ – 2009. – С. 278–291.

Черой А.И., Дьяков О.А., Жмуд Е.И., Приходько В.Ю. Комплексные обследования морского края Килийской дельты Дуная в 2011–2012 гг. // Український гідрометеорогічний журнал, 2012. – №11. – С. 24–33.

DIFFERENT FACTORS IMPACT ON THE FORMATION OF RIVER DELTAS REGIME

Dolgopolova E.N.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, dolgopolova@ gmail.ru

ABSTRACT

Different factors influencing river deltas formation are under consideration. All factors subdivide into two groups: periodic and stochastic factors. The most interesting and significant objects are shortly described.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ (“ТЕРМОБАРА”) В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Зверев И.С.[1], Ушаков К.В.[2], Шипунова Е.А.[1], Голосов С.Д.[1], Ибраев Р.А.[2]

[1] *Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург*

[2] *Институт вычислительной математики РАН, Москва*

Представлены результаты математического моделирования термогидродинамических процессов в Ладожском озере, полученные с использованием трехмерной математической модели гидродинамики внутреннего моря (МГВМ), адаптированной к озерным условиям. Определено местоположение термической фронтальной зоны (“термобара”) в Ладожском озере в различные моменты времени. Результаты моделирования сопоставлены с данными многолетних натурных наблюдений.

Одной из основных проблем современной лимнологии является понимание механизмов изменчивости термогидродинамических (ТГД) процессов в озерах, а также предсказание их будущих изменений, связанных с глобальными и региональными изменениями климата. Термогидродинамические процессы во многом определяют условия функционирования водной экосистемы, влияя тем самым на качество воды в водоемах.

Термогидродинамические процессы в Ладожском озере отличаются многообразием и сложностью. По этим показателям озеро можно рассматривать скорее как пресноводное внутреннее море, чем озеро. ТГД процессы в Ладоге имеют ярко выраженную пространственную неоднородность, поэтому для их описания недостаточно применения широко распространенного в лимнологии одномерного подхода, в рамках которого считается, что вертикальная изменчивость процессов превалирует над горизонтальной. Для корректного воспроизведения ТГД процессов в Ладоге необходимо применение 3D (трехмерного) подхода, который не получил широкого распространения в лимнологии. Однако, данный подход давно и с успехом используется в океанологии при моделировании ТГД процессов в океане и морях. Поскольку Ладожское озеро обладает всеми чертами внутреннего моря, опыт моделирования ТГД процессов во внутренних морях может оказаться весьма полезным при моделировании аналогичных процессов в Ладожском озере.

В настоящей работе приведены первые предварительные результаты адаптации к условиям Ладожского озера математической модели гидродинамики внутреннего моря (МГВМ), разработанной в Институте вычислительной математики РАН [Ибраев, 2008].

Данная модель прошла успешную апробацию при моделировании ТГД Каспийского моря, являющегося характерным представителем класса внутренних морей. Поэтому именно МГВМ и была выбрана для выполнения аналогичной работы для условий Ладожского озера.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И СРАВНЕНИЕ ИХ С ДАННЫМИ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Для выполнения расчетов модель гидродинамики внутреннего моря была адаптирована для использования ее в озерных условиях. Так, в частности, для учета наличия у пресной воды температуры максимальной плотности уравнение состояния морской воды было заменено на квадратичное уравнение состояния пресной воды. Были выполнены соответствующие работы по построению расчетной сетки для Ладожского озера. В качестве исходной метеорологической информации использовались данные реанализа NCEP/NCAR (совместный проект Национальных Центров Предсказания окружающей среды (NCEP) и Атмосферных Исследований (NCAR), США, http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html). Поскольку для верификации модели в распоряжении авторов были только “климатические” (осредненные за вторую половину XX века) данные наблюдений за температурой воды в озере [Науменко и др., 2013], то и метеорологические данные реанализа были соответствующим образом осреднены. Расчеты производились на сетке с пространственным разрешением 600 × 600 м по горизонтали и 30 горизонтов по вертикали. Шаг по времени составлял 6 минут.

В качестве критерия адекватности модели реальным процессам были выбраны данные наблюдений за продвижением термической фронтальной зоны (“термобара”), являющейся одним из самых

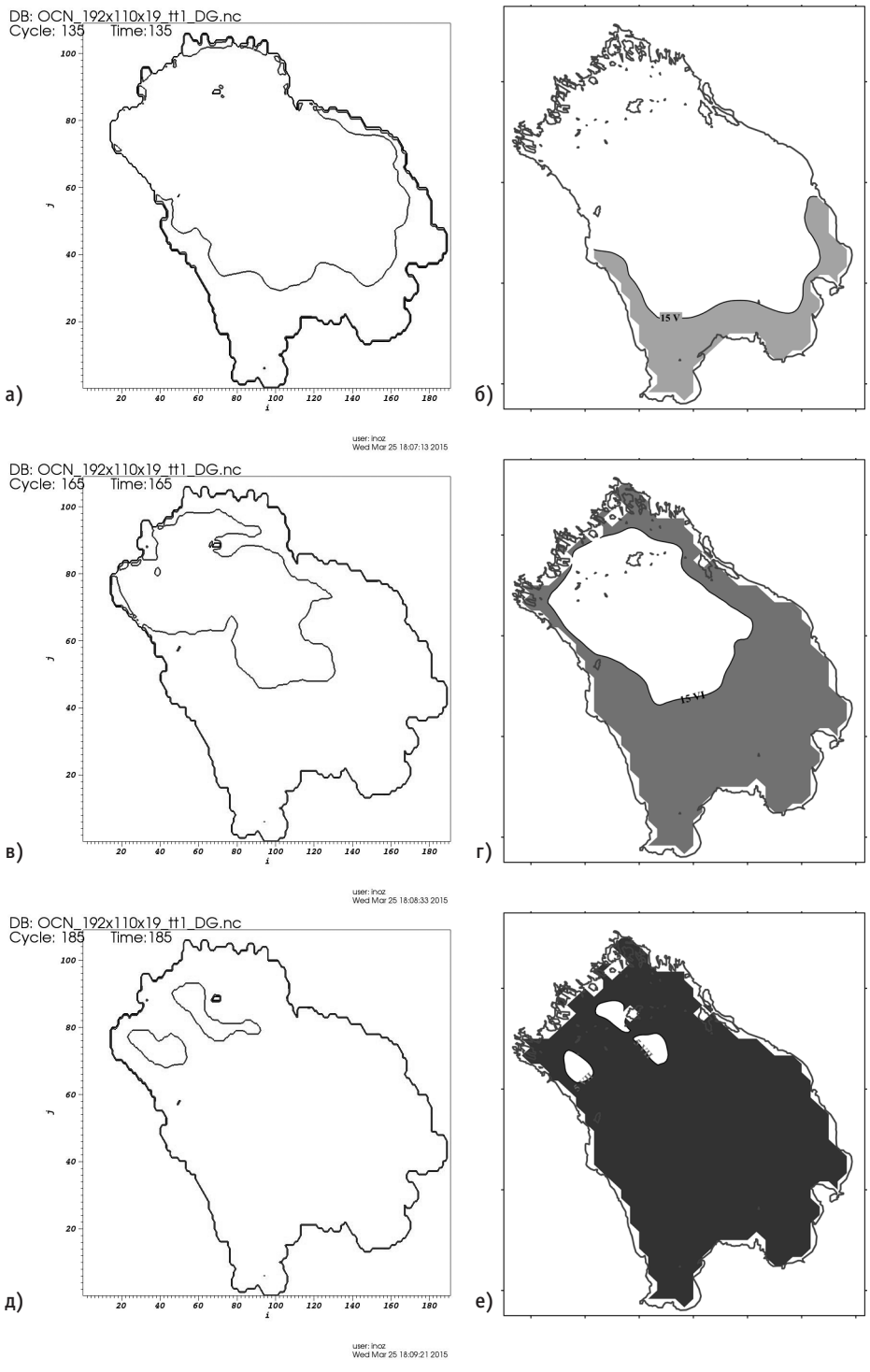


Рис. 1. Положение четырехградусной изотермы 15 мая, 15 июня и 5 июля по расчетным (а,в,д,) и натурным (б,г,е) данным

сложных и важных с экологической точки зрения термогидродинамических явлений в озере. В качестве формальной границы термобара было принято положение четырехградусной изотермы на поверхности озера, указывающей на зону опускания наиболее плотных вод [Науменко и др., 2013].

На рис. 1 представлены результаты расчетов местоположения четырехградусной изотермы в озере в различные моменты времени (1 а, в, д) и данные о ее положении, полученные в ходе выполнения многолетних полевых наблюдений за температурой Ладожского озера (1 б, г, е).

Как следует из расчетных и натурных данных, представленных на рис.1, фронтальная зона зарождается в южной мелководной части озера и достаточно быстро продвигается в сторону увеличения

глубины. В целом скорость продвижения термобара в южной мелководной части озера можно оценить как несколько сотен метров в сутки. При этом в глубоководной северной части озера скорость его продвижения значительно меньше – 100–200 м/сутки.

Необходимо отметить, что расчетные и натурные данные хорошо согласуются друг с другом. Расчетное положение фронтальной зоны во всех случаях практически совпадает с данными наблюдений. Модель также практически точно воспроизводит время исчезновения термобара – первая половина июля (рис. 1 д, е).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены результаты математического моделирования термогидродинамических процессов в Ладожском озере, полученные с использованием трехмерной математической модели гидродинамики внутреннего моря (МГВМ), адаптированной к озерным условиям. Выполнены расчеты по определению местоположения термической фронтальной зоны (“термобара”) в Ладожском озере в различные моменты времени. Результаты сопоставления расчетных данных с данными многолетних натурных наблюдений показали, что модель способна вполне адекватно воспроизводить ГТД процессы в крупных озерах и является перспективным инструментом для изучения озер в условиях недостатка данных натурных наблюдений.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского Научного Фонда №14-17-00740 “Озера России – диагноз и прогноз состояния экосистем при климатических и антропогенных воздействиях”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ибраев Р.А. Математическое моделирование термогидродинамических процессов в Каспийском море. – Москва, ГЕОС, 2008. – 127 с.

Науменко М.А., Гузиватый В.А., Каретников С.Г. Термический режим Ладожского озера – В кн.: Ладога. – Санкт-Петербург: Нестор-История, 2013. – С. 137–176.

MODELLING OF “THERMAL BAR” SPREADING IN LAKE LADOGA

Zverev I.S.[1], Ushakov K.V.[2], Shipunova E.A.[1], Golosov S.D.[1], Ibrayev R.A.[2]

[1] *Institute of Limnology RAS, St.Petersburg, Russia*

[2] *Institute of Numerical Mathematics RAS, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Results of numerical modeling of “thermal bar” spreading in Lake Ladoga are presented. Comparison of the modeled data with the data from long-term field observations revealed a fair well agreement.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛЕДОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕЛЕЦКОМ ОЗЕРЕ

Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

zinoviev@iwep.ru

Рассматриваются математические модели различных размерностей для описания гидроледотермических процессов в глубоком стратифицированном Телецком озере. Приводятся и обсуждаются результаты выполненных расчетов в сравнении с данными наблюдений, в том числе по динамике границ льда.

При описании гидротермических процессов в глубоких озерах и водохранилищах могут быть использованы математические модели разной размерности. Наиболее широко используются одномерные вертикальные (1DV) и двумерные вертикальные (2DV) модели; существенно реже - трехмерные (3D) модели [Васильев, 1999].

Для разработки и совершенствования методов прогноза влияния крупных сибирских водохранилищ на окружающую среду выполнены теоретические и экспериментальные исследования термического режима глубокого горного Телецкого озера. Первые модели температурной стратификации Телецкого озера построены в конце 90-х годов прошлого века, когда озеро рассматривалось в качестве одного из водоемов-аналогов проектировавшегося Катунского водохранилища [Васильев и др., 1991; Зиновьев, 2002]. Эти модели использовались в дальнейшем для оценки и прогнозирования физико-химических процессов в Телецком озере [Зиновьев и др., 2011].

В 2010–2014 гг. с использованием современного оборудования в ИВЭП СО РАН получены натурные данные по гидрологическим, гидрофизическим, гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам Телецкого озера. В ходе проведения экспедиционных работ уточнены детали пространственной и временной картины плотностной стратификации водоема, в том числе выявлены тонкие гидрофизические эффекты типа движения термобара и формирования устойчивых структур (линзы) с отличающимися от окружающих водных масс свойствами (температуре, солености, прозрачности). Фактическая информация о современном состоянии Телецкого озера использована для уточнения математических моделей разной размерности для описания гидрологических процессов в Телецком озере. В разработанной трехмерной гидроледотермической модели водоема воспроизводится тот феномен, что озеро не полностью замерзает в зимний период [Зиновьев и др., 2015].

В работе выполнен сравнительный анализ одномерной вертикальной (1DV) и трехмерной (3D) гидроледотермических моделей глубокого водоема на примере расчетов температурной стратификации Телецкого озера. Преимущество 1DV-модели состоит в том, что для ее использования необходим минимум входной эмпирической информации. Именно эта ситуация является типичной при прогнозах термического режима проектируемых сибирских водохранилищ. Использование 3D-модели позволяет, в принципе, получать более детальные сведения об изучаемых динамических процессах, но данные модели являются существенно более требовательными к заданию входной информации для проведения расчетов.

Для моделирования гидроледотермических процессов в Телецком озере собраны фондовые данные, в т.ч. по морфометрии Телецкого озера, построена цифровая модель рельефа (ЦМР) котловины Телецкого озера и выполнены многолетние режимные наблюдения вертикальных распределений температуры и других физико-химических характеристик воды в Телецком озере.

Для построения математической 1DV-модели гидротермических процессов в глубоком стратифицированном Телецком озере использованы методика одномерного (вертикального) представления и гидростатическое приближение [Васильев и др., 1991]. Система определяющих трехмерных конвективно-диффузионных уравнений тепло- и массопереноса осредняется по горизонтальным сечениям озера с учетом соответствующих граничных условий. В общем случае модель включает уточненное описание зоны селективного оттока и дополнена кинематическими условиями, учитывающими средние расходы в горизонтальных направлениях водоема. Результаты численных экспериментов по моделированию годовой термической структуры Телецкого озера в рамках 1DV-модели уточняют ранее выполненные расчеты [Зиновьев, 2002].

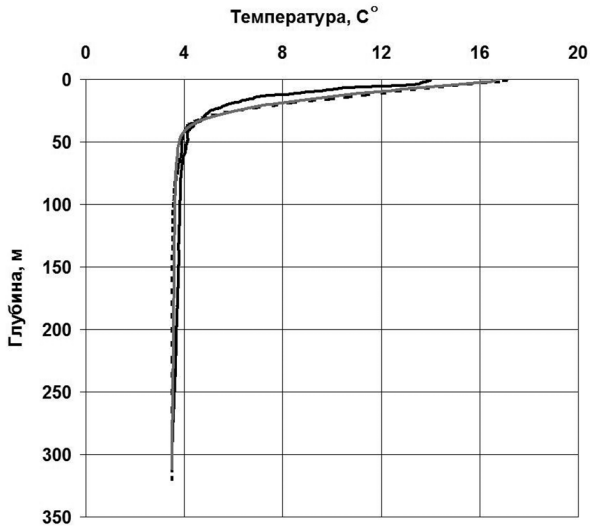


Рис. 1. Вертикальные распределения температуры в Телецком озере на 29.08.2010 г. Сплошная черная линия – натурные данные, серая – расчет по 3D- модели, пунктирная – расчет по 1DV-модели

Для создания 3D компьютерной гидротермической модели Телецкого озера использован программный комплекс с открытым доступом Delft3d [Delft3D-FLOW…, 2010]. Математическая 3D-модель, лежащая в основе данного комплекса, построена с использованием условия гидростатического приближения для давления. Турбулентная вязкость в вертикальном направлении определяется с использованием двухпараметрической (k-ε)-модели турбулентности. При построении компьютерной модели в качестве граничных условий задавались расходы впадающих в Телецкое озеро рек, а также уровень водной поверхности озера в районе истока р. Бия. Используемые в качестве входной информации метеоданные полагались одинаковыми по всей акватории озера. Основным недостатком базовой программы Delft3d при использовании ее для моделирования глубоких озер и водохранилищ является отсутствие в исходной математической модели зависимости плотности воды от давления. Поэтому была выполнена модификация программы Delft3d путем применения в качестве уравнения состояния формулы TEOS-10 [McDougall et al., 2011], где плотность воды является функцией температуры, солености и давления. Для расчета динамики ледового покрова в качестве основы использовалась плановая модель роста-таяния льда, подробно описанная в [De Goede et al., 2014]. Вычисления пространственно-временного распределения льда на поверхности Телецкого озера проводились совместно с расчетами по компьютерной 3D-гидротермической модели данного водоема.

По построенным 1DV- и 3D- численным моделям гидротермического режима Телецкого озера выполнены расчеты формирования температурной стратификации водоема с использованием входных данных для безледоставного периода 2010 года. В имитационных расчетах картины годовой температурной стратификации Телецкого озера использованы среднесуточные данные по метеостанции Яйлю для 2009–2010 гидрологического года. Для устранения погрешности, связанной с неточным заданием начального состояния озера, рассчитаны гидротермические процессы для нескольких последовательных модельных лет с использованием в качестве входных данных исходной информации для 2009–2010 гг. При таком подходе ошибки, связанные с определением начального состояния озера, становятся несущественными. Результаты расчета демонстрируют, что в озере два раза в год при температуре максимальной плотности воды возникает термическая неустойчивость и развивается вертикальная циркуляция, приводящая водоем к состоянию гомотермии.

Результаты расчетов показали, что 1DV-модель в целом удовлетворительно воспроизводит формирование температурной стратификации Телецкого озера как в летне-осенний период (глубину перемешанного слоя, ход температуры поверхностных слоев воды), так и зимний период года (при ледоставе). Сопоставление результатов расчетов с измеренными в 2010 г. вертикальными распределениями температуры воды показало необходимость изучения влияния эффектов сжимаемости для моделирования переносов тепла во-

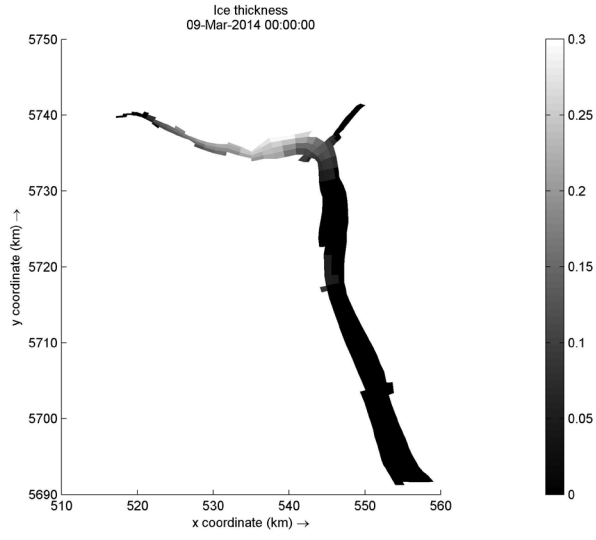


Рис. 2. Рассчитанное распределение толщины ледяного покрова на Телецком озере

ды в придонных слоях глубокого озера, что было учтено путем использования в качестве уравнения состояния формулы TEOS-10.

С использованием входных гидрологических и метеорологических данных для 2010 г. были выполнены расчеты по гидротермической 3D-модели процесса формирования температурной стратификации Телецкого озера в безледоставный период. На рисунке 1 представлены рассчитанные по 3D-модели вертикальные распределения температуры воды в самой глубокой части озера – в районе устья р. Корбу. Здесь же приведены расчетные данные по 1DV модели и данные наблюдений. Следует отметить хорошее совпадение расчетных данных между собой и их согласие с натурными данными.

Отмеченное выше совпадение расчетных и натурных данных позволяет утверждать, что расчеты по упрощенным моделям позволяют достаточно точно воспроизводить термический режим существующих глубоких озер и водохранилищ. То же справедливо для прогнозных расчетов. В 2012 г. получены экспериментальные данные по аномалиям в вертикальных распределениях температуры и солености воды в некоторых глубоководных областях Телецкого озера. Такие “тонкие” эффекты 1DV-модель не может воспроизвести в силу присущих ей ограничений. Гидротермическая 3D-модель, в принципе, должна воспроизводить пространственные неоднородности (типа выявленных на глубине “линз” воды с характеристиками, отличающимися от характеристик окружающей воды – результаты полевых исследований 2012 г.).

Моделирование динамики льда горного Телецкого озера имеет ряд специфических особенностей, которые не воспроизводятся при 1DV-моделировании [Зиновьев, 2002]. Так, зачастую водная поверхность озера в зимний период покрыта льдом только частично. Большие пространственные масштабы окруженного горами озера (длина около 80 км) приводят к значительной пространственной неоднородности метеоусловий. При численном моделировании динамики ледяного покрова озера выяснилось, что результаты расчетов крайне чувствительны к таким параметрам, как пространственно-временное распределение характерной температуры воздуха над поверхностью воды/льда, а также величины и направления скорости ветра. Натурные данные о примерном положении границы ледяного покрова на озере имеются только для 1968, 1971 и 2014 гг. Однако недостаток данных о зимних метеоусловиях на озере в эти годы не позволяет провести сравнительные расчеты. Потому были выполнены расчеты для зимы 2013–2014 гг. Сопоставление расчетных данных по пространственному распределению льда на поверхности Телецкого озера на 09 марта 2014 г. (см. рисунок 2) с изображением положения границы ледяного покрова по космоснимку озера на соответствующую дату позволяет сделать вывод о достаточно хорошем совпадении границы ледяного покрова.

Выполненные исследования показали, что использование гидроледотермической 1DV-модели позволяет с удовлетворительной точностью описывать внутригодовой температурный режим в глубоких замерзающих озерах и водохранилищах. Этот вывод сделан на сопоставлении результатов расчетов по 1DV-модели с данными выполненных наблюдений и результатами расчетов по 3D-модели.

Применение 3D-моделирования необходимо для уточнения и детализации пространственно-временного описания изучаемых водных объектов. В том числе для расчетов площади ледового покрова при частичном замерзании крупных водоемов. Следует учитывать, что для этого необходимо привлечение больших объемов исходных данных. Поэтому 1DV-описание гидрологических процессов предпочтительно для оперативного решения многих важных научно-практических задач, в том числе для случаев строящихся и/или проектируемых крупных гидроузлов в условиях Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Бочаров О.Б. Математическое моделирование гидротермических процессов в глубоководных водоемах // Гидротехническое строительство, 1991. – №7. – С. 3–5.

Васильев О.Ф. Математическое моделирование гидравлических и гидрологических процессов в водоемах и водотоках (обзор работ, выполненных в Сибирском отделении Российской академии наук) // Водные ресурсы, 1999. – №5. – С. 600–611.

Зиновьев А.Т. Моделирование температурной стратификации Телецкого озера // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. – Новосибирск: Изд-во ИАЭ СО РАН, 2002. – Вып. 1. – С. 212–216.

Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Марусин К.В. Моделирование физико-химических процессов в Телецком озере для решения задач мониторинга // Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования: тр. всерос. науч. конф. (25–30 июня 2011 г., г. Калининград). – Калининград: Капрос, 2011. – С. 183–189.

Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б. Трехмерная модель гидроледотермических процессов в Телецком озере // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. Междунар. науч.-практ. конф. (29–31 мая 2015 г., г. Пермь). – Пермь: Изд-во ПГУ, 2015. – С. 26–30.

De Goede E., De Graaff R., Wagner T.S., Sheets B. Modelling of Ice Growth and Transport on a Regional Scale, with Application to Fountain Lake, Minnesota, USA // Proc. of 33rd International Conference on OCEAN, OFFSHORE and ARCTIC ENGINEERING (San Francisco, California, USA, June 8–13, 2014).

Delft3D-FLOW User Manual. WL j Delft Hydraulics, Delft. – The Netherlands, 2010.

McDougall, T.J. and *Barker P.M.* Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) Oceanographic Toolbox, 2011. – 28 pp.

MODELING OF HYDROPHYSICAL PROCESSES IN LAKE TELETSKOYE

Zinoviev A.T., Koshelev K.B.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, zinoviev@iwep.ru

ABSRACT

The report discusses the mathematical models of hydrological processes of the thermal regime and the ice cover formation in deep stratified Lake Teletskoye. Computation results are compared with the observed data, including the dynamics of ice cover boundaries.

ДИНАМИКА СНЕГОТАЯНИЯ И ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ БЕССТОЧНОГО ОЗЕРА

Зуев В.В.[1], Суторихин И.А.[2], Кураков С.А.[1], Янковская У.И.[2], Коломейцев А.А.[2]

[1] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

[2] Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, iwep@iwep.ru

Интенсивность поступления талых вод с водосборов в озера и реки является важнейшим фактором, определяющим объем стока и уровни весеннего половодья. В данной работе приведен анализ результатов измерения гидрофизических и метеорологических параметров, в весенний период 2014, 2015 годов. Весна 2014 года была ранней, процесс снеготаяния прошел быстро, в отличие от весны 2015 года, которую можно считать затяжной. В работе рассматривается влияние двух аномальных годов на уровень воды в озере.

Озеро Красиловское находится в 60 км от краевого центра (Косихинский район Алтайского края) [Ресурсы поверхностных …, 1962]. Питание водоёма происходит за счёт поверхностных и грунтовых вод. Озеро является бессточным с площадью зеркала – 0,8 км^2 и площадью водосбора – 46,11 км^2. Батиметрические исследования 2014 года показали, что максимальная глубина озера равна 6 м, что свидетельствует о существенном снижении уровня воды за последние 10 лет (в 2004 г. – 12 м). Дальнейший гидрологический прогноз для этого озера приобретает важное значение.

Измерение таких параметров, как уровень воды, температура грунта и воздуха, влажность, уровень снега и уровень жидких осадков были проведены с использованием цифровых датчиков автоматического измерительного многопараметрического комплекса “АПИК”, созданного в ИМКЭС СО РАН и установленного на берегу озера в июле 2013 года. Отсчет зарегистрированных значений со всех датчиков производился 4 раза в час и фиксировался в памяти контроллера.

По данным наблюдений интенсивное таяние снега весной 2014 года на изучаемой территории началось в конце первой недели марта. Максимальная высота снега к началу снеготаяния в месте установки “АПИК” составила – 0,5 м, плотность снега – 0,3 кг/м^3. Слой снеготаяния в 2014 году был оценен по [Walter et al., 2005] и получен следующий результат: М ≈ 0,04 м/сут, что хорошо соотносится с зафиксированным в наблюдениях интервалом снеготаяния – 15 суток, т.е. М около 0,03 м/сут. Динамика уровня снега приведена на рисунке 1.

Одной из метеорологических характеристик, существенно влияющих на условия таяния снега, может считаться температура воздуха [Калюжный, Лавров, 2012; Котляков и др., 1992]. Положительная среднесуточная температура воздуха на уровне 2 м по данным наших измерений установилась 14.03.2014, а положительная среднесуточная температура грунта на глубинах до 0,3 метра установилась после 25.03.2014. Следует отметить, что по данным многолетних наблюдений ближайшей метеостанции Троицкое установление положительной среднесуточной температуры воздуха обычно происходит в первой декаде апреля. Таким образом, весна 2014 года характеризуется как ранняя.

В период половодья уравнение водного баланса бессточного озера может быть представлено в виде [Винников, Викторова, 2009]:

$$V_{ас} + V_{пв} - E = V_{оз} \pm \eta \qquad (1)$$

где $V_{ас}$ – объем атмосферных осадков, $V_{пв}$ – объем поверхностных вод, E – испарение с поверхности водоема, $V_{оз}$ – объем поднявшегося уровня в озере, η – невязка баланса. Невязка водного баланса, обусловленная наличием неучтенных факторов и погрешностями измерения и расчета элементов водного баланса. Погрешность определения площади зеркала озера и площади водосбора составляет 10%. Среднее квадратичное отклонение притока за период половодья – σ = 0,22 м, стандартная ошибка σ_δ = 0,05 м, Критерий точности σ_δ/σ = 0,21. Учитывая высокую относительную влажность воздуха (< 80%) вблизи акватории в весенний период, для бессточных озер потери воды на испарение можно принять незначительными. Проведенные расчеты по (1) показали, что сток талых вод составляет ориентировочно 70,4% суммарного весеннего стока.

Уровень воды в озере Красиловское в весенний период 2014 года приведен на рисунке 2.

В феврале 2015 года была проведена снегомерная съемка по 3 “трекам”: акватория озера, лесистая территория, поле. Также измерения проводились возле блока “Стационар” автономного многоканального измерительного комплекса “АПИК”. Результаты приведены в таблице 1.

Нами была рассчитана интенсивность снеготаяния весной 2015 года. В основу схемы расчета интенсивности снеготаяния положено уравнение теплового баланса. Количество тепла, получаемое

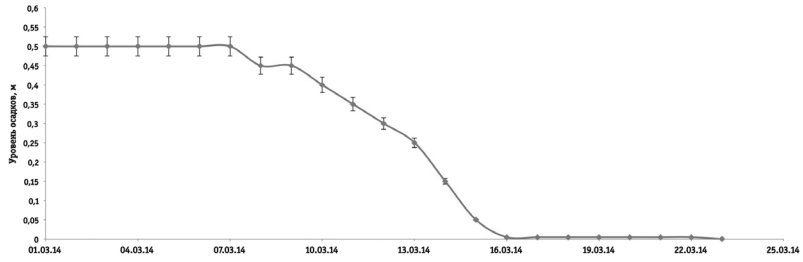


Рис.1. Динамика уровня снега

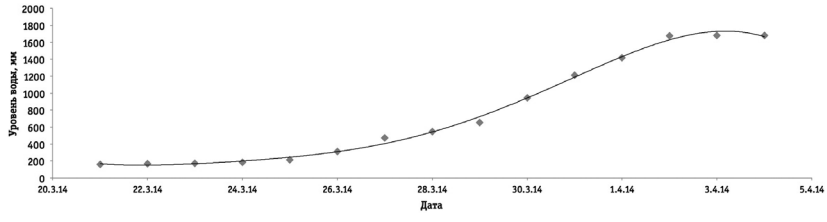


Рис. 2. Динамика уровня воды в озере Красиловское (март 2014 г.)

Таблица 1. Данные снегомерной съемки (2015 год)

№ МАРШРУТА	СРЕДНЯЯ ВЫСОТА СНЕЖНОГО ПОКРОВА, СМ	СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ СНЕЖНОГО ПОКРОВА, Г/СМ^3	ЗАПАС ВОДЫ В СНЕГЕ, ММ
1	24	0,24	61
2	95	0,30	285
3	70	0,30	213
АПИК	67	0,27	181

снегом за счет падающей на него прямой и рассеянной радиации, было рассчитано по формуле:

$$Q_S = (1 - A) \cdot \mu \cdot \eta \cdot (S_n + S_{pac})_0$$

где A – альбедо снежного покрова в долях единицы, $(S_n + S_{pac})_0$ – максимально возможная суммарная солнечная радиация, μ – коэффициент ослабления радиации в атмосфере, η – коэффициент ослабления радиации под пологом леса.

Максимально возможная суммарная солнечная радиация рассчитывалась по формуле [Walter et al., 2005]

$$(S_n + S_{pac})_0 = \frac{I'_0}{\pi}(\cos^{-1}(-\tan\delta \cdot \tan\varphi)\sin\varphi \cdot \sin\delta +$$

$$+ \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin(-\tan\delta \cdot \tan\varphi))$$

где I'_0 – солнечная постоянная, δ – высота Солнца в радианах, ϕ – широта местности в радианах. Расчеты показали, что величина $(S_n + S_{pac})_0 = 503$ мДж/м^2·год. Коэффициент ослабления солнечной радиации в атмосфере μ, следуя [Попов, 1979], определили по эмпирическому выражению:

$$\mu = 0{,}022 \cdot (T_{max} - T_{cp}) - 0{,}0413 \cdot X' + 0{,}574$$

где T_{max} – максимальная суточная температура воздуха на высоте 2 м от поверхности, T_{cp} – средняя за сутки температура воздуха на высоте 2 м от поверхности, X' – сумма приведенных осадков за сутки.

Схема вычисления альбедо снежного покрова для расчетного участка поверхности водосбора для открытой местности (поле) выглядит следующим образом:

$$A = A_{min} + \Delta A$$
$$\Delta A = (A_{max} - A_{min}) + A_x$$

где A – альбедо снежного покрова,%; A_{min} – альбедо подстилающей поверхности после полного схода снега,%; A_{max} – максимально возможное альбедо снежного покрова,%; A_x – функция увеличения альбедо снежного покрова в дни со снегопадом.

Величина приращения альбедо снежного покрова в случае выпадения свежего снега описана следующей эмпирической формулой:

$$A_x = 5\sqrt{X_s}$$

где X_s – сумма твердых осадков в расчетные сутки, мм. Относительная убыль снега учитывается следующим коэффициентом:

$$k_1 = Z_{\tau-1}/Z_0$$

Где $Z_{\tau-1}$ – запас воды в снеге в предшествующий расчету день, мм; Z_0 – начальный запас воды в снеге, мм; τ – порядковый номер расчетных суток в марте.

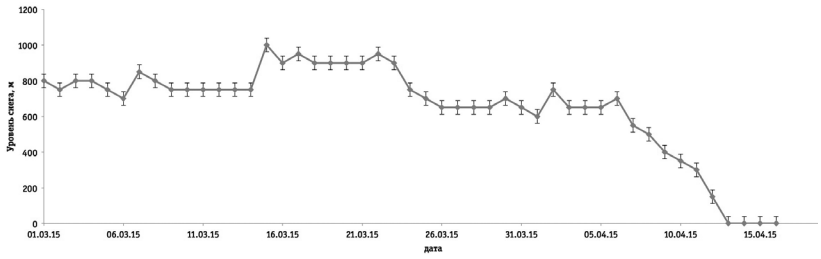


Рис.3. Динамика уровня снега

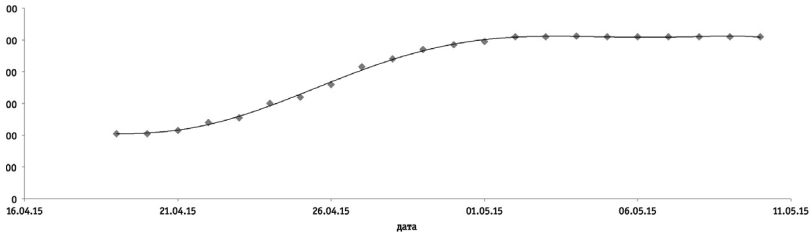


Рис.4. Динамика уровня воды в озере Красиловское (весна 2015 г.)

В основу нашего метода положены оценки двух основных тепловых потоков: теплообмена с атмосферой и суммарной солнечной радиации. Расчет слоя таяния (мм/сутки) для открытого участка можно вести по следующей зависимости [Walter et al., 2005]:

$$M = 1{,}2\ T_{ср} + 0{,}3(S_n + S_{рас})_0$$

где $T_{ср}$ – средняя за сутки температура воздуха на высоте 2 м от поверхности, $(S_n + S_{рас})_0$ – максимально возможная суммарная солнечная радиация.

Проведенные расчеты показали, что слой стаивания снега равен 0,01 м/сут.

Активное снеготаяние началось в конце марта. Данные по уровню снега приведены на рисунке 3.

На рисунке 4 приведена динамика уровня воды в озере весной 2015 года.

Таким образом, на основе проведенных расчетов расчеты по данным снегомерной съемки и метеорологическим и гидрофизическим данным, полученным с АПИКа, показано, что динамика снеготаяния и уровень воды в озере Красиловское за 2014 и 2015 год существенно отличаются. Весна 2015 года оказалась затяжной, в отличие от весны 2014 года, что сказалось на уровне воды в озере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель // Равнинные районы Алтайского края и Южная часть Новосибирской области. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – Вып. 6. – С. 380–410.

Walter M.T., Brooks E.S., McCool D.K., King L.G., Molnau M., Boll J. Process-based snowmelt modeling: does it require more input data than temperature-index modeling?// Journal of Hydrology, 2005. – 300(1–4). – pp. 65–75.

Калюжный, И.Л., Лавров, С.А. Гидрофизические процессы на водосборе: Экспериментальные исследования и моделирование: монография. – СПб.: Нестор-История, 2012. – 616 с.

Котляков В., Поповнин В., Цветков Д. Некоторые предложения по оптимизации представления масс-балансовых данных в изданиях Всемирной Службы Мониторинга Ледников // Материалы гляциологических исследований, 1992. – №73. – С. 161–167.

Винников С.Д., Викторова Н.В. Физика вод суши. Изд. 2-е, испр. и доп. Учебник. – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 430 с.

Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. 2-ое изд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 257с.

DYNAMICS SNOWMELT AND CHANGES IN THE LEVEL OF CLOSED LAKES

Zuev V.V.[1], Sutorikhin I.A.[2], Kurakov S.A.[1], Yankovskaya U.I.[2], Kolomeytsev A.A.[2]

[1] Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia

[2] Institute of Water and Ecological Problems of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia, iwep@iwep.ru

ABSTRACT

The intensity of the receipt of melt water from watersheds in lakes and rivers is an important factor in determining the amount of flow and the levels of spring flooding. In this paper, an analysis of the measurement results of hydro-meteorological parameters and, in the spring 2014 and 2015. Spring 2014 was an early process of snowmelt passed quickly, in contrast to the spring of 2015, which can be considered prolonged. The paper examines the impact of two years of abnormal water levels in the lake.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНУТЫХ СОЛЕНЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОЗЕР (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ШИРА)

Компаниец Л.А., Якубайлик Т.В.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

kla@icm.krasn.ru

Обсуждается комплексный подход к исследованию неглубоких замкнутых соленых стратифицированных озер, который заключается в применении технологии вычислительного и натурного экспериментов для определения гидрофизических характеристик изучаемого объекта. Этот подход реализован и опробован при изучении основных характеристик течения в соленом стратифицированном озере Шира (республика Хакасия) в летний период.

Комплексная система моделирования разработана в соответствии с известной технологической цепочкой вычислительного эксперимента, которая включает в себя следующие этапы:

1. Построение математической модели исследуемого объекта (сюда же относится и анализ модели, выяснение корректности поставленной математической задачи).
2. Построение вычислительного алгоритма – метода приближенного решения поставленной задачи и его обоснование.
3. Программирование алгоритма на ЭВМ и его тестирование.
4. Проведение серии расчетов с варьированием определяющих параметров исходной задачи и алгоритма.
5. Анализ полученных результатов, в том числе сравнение с натурными данными.

Каждый из этих этапов допускает возврат к любому из предыдущих этапов с целью его уточнения и корректировки.

Средствами исследования являлись:

– аналитические решения упрощенных моделей гидрофизики стратифицированных водоемов в том числе модели ветрового движения жидкости Экмана [Компаниец, 2012];
– численная модель: GETM (General Estuarine Transport Model), GOTM (General Ocean Turbulence Model);
– приборы для натурных измерений: эхолот и допплеровский профилограф ADCP (600 КГц) в режиме bottom track для измерения глубины,

Рис.1. Схема комплексной системы моделирования

CTD зонды YSI и IDRONAUT для измерения температуры и кондуктивности (солености); гирлянды температурных датчиков и термисторные цепочки (струна) для долговременных измерений температуры; допплеровские профилографы фирмы RDI – ADCP 600 кГц и ADCP 1200 кГц для измерения скорости течения на стационарных станциях.

На рисунке 1 приведена схема комплексной системы моделирования. Стрелками указаны направления потоков данных.

Основные зависимости распределения скоростей жидкости от параметров, используемых в математической модели, удобно рассматривать на аналитических решениях. Некоторые аналитические решения были получены для упрощенных моделей, полученных из исходной модели, и на них были проверены зависимости поведения скоростей от различных параметров: глубины водоема, коэффициентов вертикального и горизонтального турбулентного обмена, от постановки граничных условий.

Исходная математическая модель является модификацией хорошо известной и часто используемой для расчетов российскими и зарубежными учеными системой уравнений гидрофизики, основанной на приближениях Буссинеска и гидростатики [Марчук, 1988]. Аналитические решения этой модели можно найти только для некоторых упрощенных случаев, а в общем случае для ее решения применялась численная модель, которая позволяет более полно исследовать поведение гидрофизических характеристик. Численная реализация этой модели проводилась в рамках пакета GETM [GETM] (GOTM [GOTM]).

Возможность применения численной модели к конкретному водоему определяется необходимостью использования результатов натурных наблюдений. В частности, построение цифровой модели рельефа озера требует препроцессинга натурных данных таким образом, чтобы их можно было использовать в расчетах (построить на их основе расчетную сетку). Далее обработанные данные измерений нужно проинтерполировать на равномерную сетку. Такую интерполяцию можно производить как в декартовых, так и в географических координатах, для чего была разработана соответствующая методика. Входными данными для расчетов являются: цифровая модель рельефа дна озера, обработанные натурные данные по температуре и солености, а также скорость и направление ветра.

После проведения расчетов результаты необходимо обработать для визуализации и дальнейшего анализа. При этом данные натурных измерений также нуждаются в обработке и визуализации для их сравнения с данными расчетов и дальнейшего анализа. Такая обработка данных частично проводилась с использованием стандартного программного обеспечения, поставляемого вместе с приборами, используемыми для натурных наблюдений, а также с использованием авторских программ.

Следующим шагом проверяется соответствие результатов расчетов натурным измерениям. В то же время результаты численных экспериментов сопоставляются с аналитическими решениями. И, исходя из этого, корректируются параметры численной модели. Также результаты расчетов позволяют спланировать дальнейшее проведение натурных наблюдений.

На основе комплексной системы был выполнен вычислительный эксперимент для уникального озера Шира. В течение 2009–2013 г. проводились натурные измерения гидрофизических полей в оз. Шира с применением современных измерительных приборов. Озеро Шира расположено в республике Хакасия и представляет собой бессточное озеро без островов, в которое впадает одна речка Сон. В силу малости притока все влияние реки сосредоточено в приустьевой зоне, поэтому основным внешним фактором, определяющим течение в озере, является ветровое воздействие. Озеро имеет овальную форму, длина – 9,4 км, ширина – 5 км, в настоящий момент наибольшая глубина озера составляет 25 м. Озеро соленое, в летний период в нем устанавливается устойчивая стратификация. В последние годы стало возможным измерение трехмерного вектора скорости течения с использованием допплеровских профилографов фирмы RDI.

Адаптация разностного алгоритма к расчету течений в рассматриваемых водоемах проведена путем выбора оптимальных параметров (разностной сетки, способов разностной аппроксимации дифференциальных уравнений, уравнения состояния). Верификация описанного выше численного алгоритма проведена на вновь полученных аналитических решениях, сравнении с расчетами других авторов и на расчетах для модельных водоемов с простой батиметрией: цилиндра, прямоугольника, параболоида.

Проведены численные расчеты при постоянном и переменном ветре и сравнение с натурными данными. Для этого была построена цифровая модель рельефа озера Шира на основе измерений глубин в 2009–2011 гг. Были обработаны натурные данные по температуре и солености для получения полей этих характеристик на расчетной сетке. Скорость и направление ветра были взяты из натурных наблюдений (с метеостанции поселка Шира).

Комплексное исследование гидрофизических характеристик озера Шира с применением средств математического моделирования и технологии вычислительного эксперимента позволило обосновать возможность появления внутренних волн в озере Шира в летний период; выявить существенно трехмерный характер течения в озере с образованием при определенных метеорологических условиях горизонтальных вихревых структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Компаниец Л.А., Якубайлик Т.В., Гаврилова Л.В., Володько О.С. Аналитические решения для задач стационарного ветрового движения жидкости. Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. – 112 с.

Марчук Г.И., Саркисян А.С. Математическое моделирование циркуляции океана. М.: Наука, 1988.

GETM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://getm.eu/

GOTM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gotm.net/

COMBINED METHOD FOR STUDYING HYDRO-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE CLOSED SALT STRATIFIED LAKES (ON THE EXAMPLE OF THE SHIRA LAKE)

Kompaniets L.A., Yakubaylik T.V.

Institute of Computational Modelling, SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, kla@icm.krasn.ru

ABSTRACT

We discuss a combined method for the studying of closed shallow salt stratified lakes, which consists of the technology of computing and physical experiments to determine the hydro-physical characteristics of the object being studied. This method has been implemented and tested for the study of the basic characteristics of the flow in salt stratified Lake Shira (Khakassia Republic) in summer.

ПЛОТНОСТНЫЕ, СТРАТИФИКАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ДИНАМИКЕ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Лепихин А.П.[1], Любимова Т.П.[2]

[1] Горный Институт УрО РАН, Пермь

[2] Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

Lepihin49@mail.ru

Рассматриваются на конкретных примерах, масштабы и роль стратификационных эффектов в формировании структуры течения, а также качества воды в водоемах с замедленным водообменом.

Рассматривается находящаяся в подпоре от Камского ГЭС зона слияния рек Сылва и Чусовая. Вследствие различной плотности воды этих рек обнаружено формирование устойчивой вихревой структуры в зимний период, вследствие которой более плотные воды р. Сылва "подтекают" под воды р. Чусовой, а менее плотные воды р. Чусовой "натекают" на воды р. Сылвы. Данный эффект имеет существенное значение для организации эффективной системы забора воды из водохранилища с требуемыми свойствами.

Также рассмотрены особенности поведения в Камском водохранилище в районе Соликамско-Березниковского промузла высокоминерализованных рассолов. Показано, что для получения корректных результатов необходим учет плотностных эффектов, как в моделях гидродинамики так и переноса загрязнения.

Водные массы водохранилищ, как крупных водных объектов с замедленным водообменом, весьма чувствительны к проявлению плотностной неоднородности, обусловленной неравномерностью распределения полей температуры и минерализации. Вызванные этой неоднородностью эффекты в ряде случаев могут не только принципиально изменить гидрохимический и гидрологический режимы водного объекта, но и поменять условия его использования для хозяйственных нужд.

В настоящее время в исследовании обсуждаемых явлений существенную роль начинают играть не только детальные натурные исследования, но вычислительные эксперименты в 3D постановке с использованием мощных современных кластеров. В работе предлагается рассмотрение этой проблемы на примере нескольких актуальных водохозяйственных задач.

Основной водозабор г. Перми, крупного промышленного центра на Урале, расположен в верхнем бьефе Камского водохранилища непосредственно ниже слияния рек Чусовая и Сылва. Лимитирующим показателем качества забираемой воды является ее жесткость. Характерной особенностью гидрохимического режима р. Сылва является ее высокая жесткость, которая в зимний период достигает 10 ÷ 11°Ж. В то же время жесткость воды р. Чусовая значительно ниже и составляет ~ 4 ÷ 5°Ж. Соответственно, минерализация воды р. Сылва составляет около 0,8 ÷ 0,9 г/л, что существенно выше минерализации воды р. Чусовой, составляющей 0,2 ÷ 0,3 г/л.

Исследуемая гидрологическая система является частью Камского водохранилища, морфометрия части которого, прилегающая к зоне слияния рр. Сылва и Чусовая, представлена на рис. 1.

Рассматриваемые реки имеют близкие водосборные площади: река Чусовая – примерно 23 тысячи квадратных километров, река Сылва – примерно 19,7 тысяч квадратных километров. Расходы весеннего паводка и летней межени на реке Чусовая значительно больше, чем на реке Сылва. В то же время расходы зимней межени, в силу особенностей водосборной территории реки Сылва, больше, чем

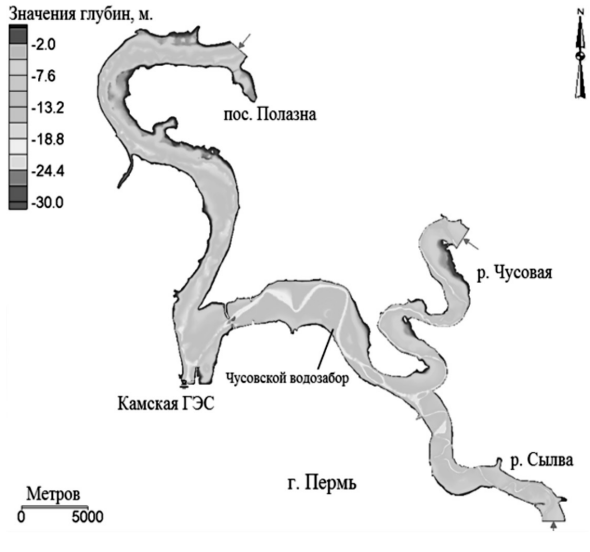


Рис. 1. Рассматриваемый участок Камского водохранилища со значениями глубин при НПГ

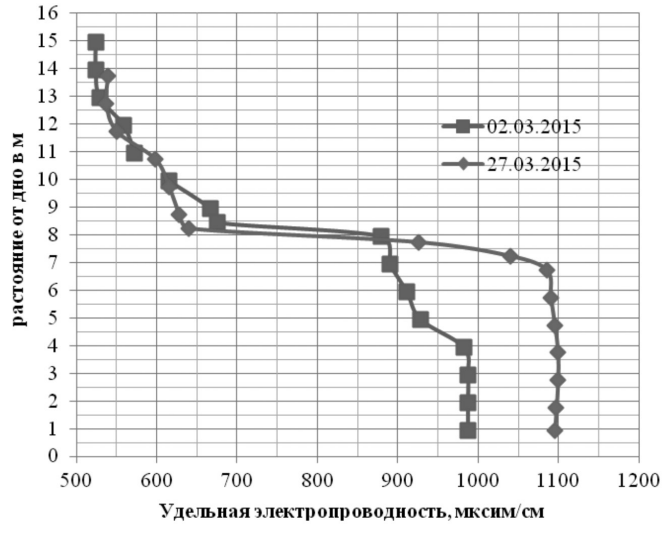


Рис. 2. Зависимость удельной электропроводности воды от расстояния от дна

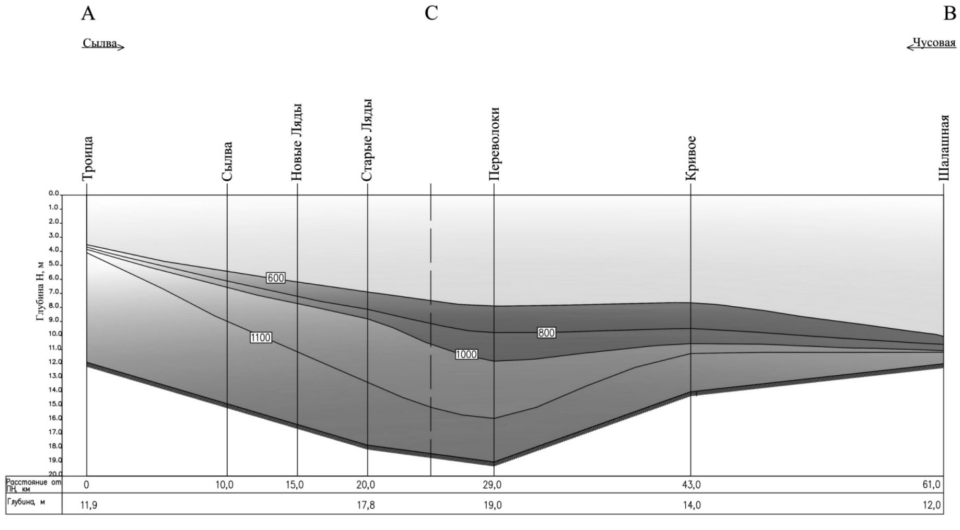


Рис. 3. Распределение удельной электропроводности воды по глубине потока на линии развертки А–С–В в зоне смешения рр. Сылва и Чусовая (по материалам замеров 7–8 февраля 2012 г.). Уровень воды на КамГЭС 7.02.2012 – 105 м абс, 8.02.2012 – 104,97 м абс

расходы реки Чусовая. В силу почвенно-геохимических особенностей водосборных площадей, химический состав рассматриваемых рек существенно различается.

Данные различия особенно существенны при малых расходах, характерных для лимитирующего периода зимней межени. Устойчивость соотношения отдельных лимитирующих компонентов химического состава воды обуславливает очень высокую статистическую надежность зависимости удельной электропроводности воды от общей минерализации, при этом связь между ними линейна $M(y) = 0{,}78 \cdot y - 3{,}6$, $R^2 = 0{,}98$, где M – общая минерализация в мг/л; y – удельная электропроводность воды в мкСим/см.

В связи с существенным различием минерализаций рассматриваемых водотоков, ниже их слияния наблюдается значительная вертикальная неоднородность (рис. 2). Наличие устойчивой вертикальной стратификации предлагается использовать для улучшения качества забираемой воды [Лепихин и др, 1988, 2011].

Однако, данная вертикальная неоднородность формируется не только в зоне ниже слияния данных рек, но и вверх по течению рек Сылва и Чусовая от их слияния. Наблюдается ситуация, когда более плотные воды реки Сылва “подтекают ” под менее плотные воды реки Чусовая, соответственно, воды реки Чусовая “натекают” на воды реки Сылва.

Более полно особенности распределения вод рассматриваемых рек, в зоне смешения, представлены на рисунке 3, где приведено распределение удельной электропроводности воды по глубине потока по линии развертки А-С-В охватывающей приустьевые участки обеих рек.

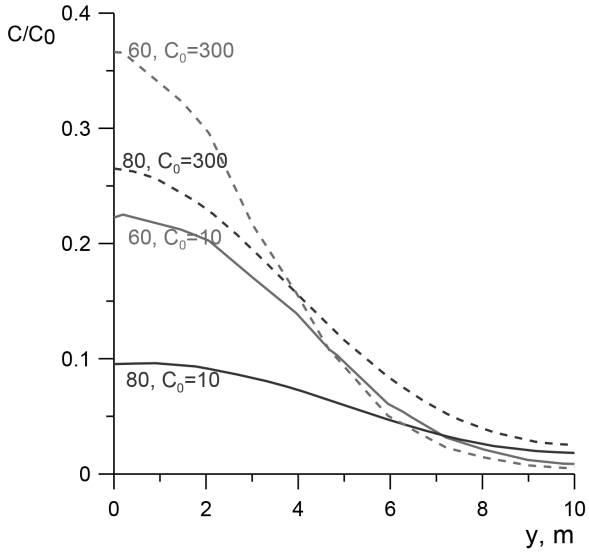


Рис. 4. Зависимость относительной концентрации от расстояния от свободной поверхности на расстояниях 60 м и 80 м от выпускного отверстия (сплошные линии – начальная концентрация C_0 = 10 г/л, штриховые линии – C_0 =300 г/л; начальная скорость выброса U = 2,4 м/с, скорость основного потока V = 0,1 м/с)

Численное моделирование проводилось при помощи пакета вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent с использованием *k*-ε модели для описания турбулентных пульсаций. Задача решалась в рамках нестационарного изотермического подхода [Lyubimova et al., 2014]. Течение рассматривалось как изотермическое, однако плотность считалась зависящей от минерализации воды.

Выполненные вычислительные эксперименты позволили определить условия формирования устойчивой стратификации полей минерализации, а соответственно, и жесткости воды в районе основного питьевого водозабора г. Перми, что имеет очень существенное значение для повышения надежности водоснабжения. В то же время, анализ результатов выполненного вычислительного эксперимента, позволил впервые установить наличие значительной вихревой структуры, охватывающей устьевые участки рек Сылва и Чусовая. Данная структура, по-видимому, и обусловливает эффекты обсуждавшегося выше взаимного проникновения вод этих двух водотоков.

Второй актуальный пример важности учета плотностных эффектов – анализ поведения сточных вод с ненулевой плавучестью поверхностных водных объектов. Как правило, к таким водам относят термальные стоки тепловых и атомных станций. Однако, для бассейна Верхней Камы весьма актуальна проблема утилизации высокоминерализованных рассолов.

В данном районе располагается одно из крупнейших в мире месторождений калийных и магниевых руд. Для рабочего продукта необходимо обогащение исходной добываемой руды. Исходя из особенностей физико-химического состава руд, обогащение производится в водной фазе. При этом для растворения 1 тонны руды требуется около 3 м^3 воды. В связи с этим возникает проблема отведения и утилизации избыточных рассолов. В связи с недостаточно эффективным решением этой проблемы последствия разработки ВКМКМС существенно повлияли на состояние природной среды в масштабах не только Соликамско-Березниковского промузла [Лепихинб, Мирошниченко, 2008], а всего Камского бассейна.

Характерной особенностью отводимых избыточных рассолов является их очень значительная минерализация (~300 г/л) и, соответственно, высокая плотность (~1200 г/л). “Тяжелые” рассолы из-за подавления вертикальных турбулентных пульсаций могут распространяться на значительные расстояния, не снижая заметно концентрации. Для изучения влияния плотностной стратификации на процессы разбавления и переноса высокоминерализованных рассолов было проведено численное моделирование в рамках трехмерного подхода. Рассматривался сброс избыточных рассолов из щелеобразного водовыпуска, расположенного вблизи поверхности воды поперек русла реки.

Расчеты проводились с использованием коммерческого пакета ANSYS Fluent, реализующего метод конечных объемов [Любимова и др., 2010]. Использовалась *k-e* модель турбулентности. В уравнениях для турбулентной кинетической энергии и скорости учитывался вклад эффектов плотностной стратификации.

На входе расчетной области задавалась постоянная скорость основного потока, имеющая одну ненулевую компоненту и постоянная концентрация, равная фоновой концентрации примеси в реке.

Расчетная сетка строилась с помощью программы Gambit 2.4.16, при этом расчетная область разбивалась на ячейки со сгущением вблизи выпускного отверстия. Основные расчеты проведены с использованием сетки, состоящей примерно из $4 \cdot 10^5$ элементов.

При проведении расчетов скорость выброса принималась U = 2,4 м/сек, скорость основного течения V = 0,1 м/сек, минерализация отводимых рассолов варьировалась от 1 до 300 г/л, фоновая концентрация соли в воде водоема-приемника принималась равной 0,2 г/л. Результаты численных экспериментов представлены на рис. 4.

Как следует из анализа результатов расчетов, процессы разбавления рассолов протекают

с существенным отличием от разбавления гидродинамически “пассивных” примесей. Вследствие возникновения “запирающего” слоя они могут распространяться, без разбавления, на весьма значительные расстояния.

ВЫВОДЫ

Выполненный комплекс вычислительных экспериментов и натурные наблюдения показали, что плотностные, стратификационные эффекты обусловливают возникновение в устьевых зонах сливающихся рек, находящихся в подпоре, вихревых структур, существенно изменяющих характер процессов смешения.

Традиционные “линейные” модели турбулентной диффузии не могут быть использованы для описания процессов разбавления поступающих в водные объекты высокоминерализованных рассолов, что имеет очень существенное значение для обеспечения экологической безопасности поверхностных водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лепихин А.П., Немковский Б.Б., Онянов В.А., Капитанова Е.Н. Селективный отбор воды // Водоснабжение и санитарная техника, 1988. – №3. – С. 27–28.

*Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Возняк А.А., Коновалов В.В., Шумил*ова Н.С. Использование стратификационных эффектов для селективного забора воды из поверхностных водных объектов, на питьевые цели // Водное хозяйство России. Проблемы, Технологии, Управления, 2011. – №5. – С. 89–109.

Lyubimova T., *Parshakova Y., Konovalov V., Tiunov A.* Formation of the density currents in the zone of confluence of two rivers // J. of Hydrology, 2014. – V. 508. – P. 328–342.

Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Техногенные воздействия Соликамско-Березниковского промузла на водные объекты // Горный журнал, 2008. – №10. – С. 92–96.

Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А. Численное моделирование разбавления и переноса высокоминерализованных рассолов в турбулентных потоках // Вычислительная механика сплошных сред, 2010. – №5. – С. 68–79.

EFFECTS OF STRATIFICATION DUE TO DIFFERENT DENSITY IN DYNAMICS OF THE LARGE WATER BODIES

Lepikhin A.P. [1], Lyubimova T.P.[2]

[1] Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

[2] Institute of Continuous Media Mechanicsof the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

lepihin49@mail.ru

ABSTRACT

The scale and role of stratification effects in the formation of flow structure and water quality in reservoirs with slow water exchange are considered using two examples.

The first example concerns the zone of confluence of Sylva and Chusovaya rivers located in the backwater area of Kama hydroelectric power station. It is found that, due to the different densities of water in these rivers, in winter season a stable vortex structure is formed which leads to the flow of more dense water of the Sylva river under less dense water of the Chusovaya river. This phenomenon is very important for the organization of an efficient system of the water intake with the desired properties from the water reservoirs.

The second example concerns the peculiarities of the behavior of highly mineralized brines in the Kama reservoir in the Bereznіki-Solikamsk industrial area. It is shown that the use of conventional approaches based on the linear models of turbulent diffusion for the solution of this problem leads to a completely incorrect results. To obtain correct results it is necessary to take into account the density stratification effects both in the hydrodynamics models and in the models of transport of pollutions.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА

Пальшин Н. И., Ефремова Т. В.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

npalshin@mail.ru

Исследованы географические закономерности формирования вертикальной термической структуры озер, покрытых льдом. Установлены эмпирические зависимости температуры воды на различных горизонтах от средней глубины, площади водоемов и проточности.

На территории Северо-Запада России насчитывается около 200 тыс. водоемов. Регулярные наблюдения за температурой воды на разных глубинах озер в рассматриваемом регионе проводились лишь на небольшом количестве из них, около 50. В последние два десятилетия сеть гидрологических постов существенно сократилась. Для описания физических процессов и формирования термической структуры озер обычно используются численные модели, но расчеты выполняются для годовых циклов и требуют большого количества детальных метеорологических данных. Поэтому возникла необходимость обобщения накопленных многолетних данных по разнотипным озерам с целью получения простых эмпирических соотношений, которые позволили бы оценивать изменчивость термической структуры озер в зависимости от их морфометрии и географического местоположения, а также получить критерии для типизации водоемов в зимний период.

По термическому режиму обобщены многолетние натурные данные наблюдений на 66 водоемах Северо-Запада России (54°–69° с. ш. и 25°–43° в. д.). Выборка включает водоемы с разнообразными морфометрическими характеристиками, формами строения озерных котловин и проточностью (таблица 1). На 48 озерах проводились регулярные наблюдения на рейдовых вертикалях на сети гидрологических станций. По водоемам Карелии использованы также материалы экспедиционных исследований ИВПС КарНЦ РАН. Ряды по измерениям температуры воды в озерах имеют различную длину. На 18 из них наблюдения проводились более 20 лет, на 22 водоемах продолжительность наблюдений составляла от 10 до 20, а на остальных – менее 10 лет. Два самых крупных озера Европы – Ладожское и Онежское разительно отличаются по ледовому и термическому режиму от других водоемов региона, поэтому они не были включены в выборку для построения регрессионных моделей.

Вертикальная термическая структура озер оценивалась на основании измерения температуры воды на горизонтах через 2 м до глубины 20 м и ниже через 5 м до глубины 40 м. Данные наблюдений из-за межгодовой изменчивости характеризуются большим разбросом. Для его уменьшения измеренные значения температуры воды в озерах в различные годы усреднялись по каждому горизонту. В глубоких озерах, где измерения температуры воды проводились через 5 м, для недостающих горизонтов использовались интерполированные значения, снятые со средних профилей. Для статистической обработки данных применены методы множественного регрессионного анализа и нелинейного оценивания.

По многолетним наблюдениям на многих озерах осеннее охлаждение вод происходит в условиях близких к гомотермии. В глубоких озерах наблюдается слабая термическая стратификация. Из-за интенсивного ветрового перемешивания крупных

Таблица 1. Диапазоны характеристик исследованных озер

ХАРАКТЕРИСТИКА	ДИАПАЗОН
Широта, град	54°42′–68°21′ с. ш.
Долгота, град	25°37′–42°41′ в. д.
Высота над уровнем моря, м	8–5
Площадь, км^2	0,04–2670
Средняя глубина, м	1,1–38
Максимальная глубина, м	4,3–128
Объем, км^3	0,0002–23,4
Коэффициент условного водообмена, год$^{-1}$	0,06–160

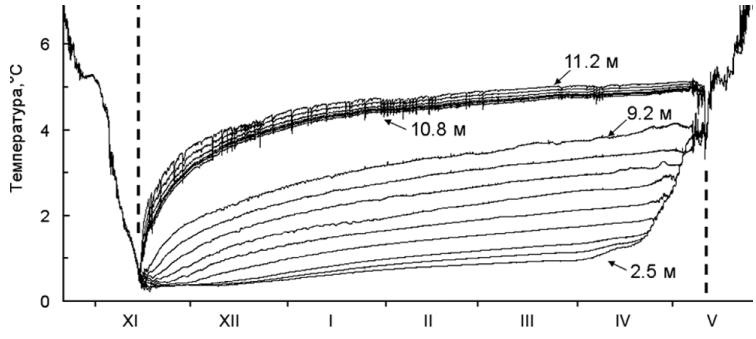


Рис. 1. Изменения температуры воды с октября 2007 по май 2008 гг. в центральной части оз. Вендюрского (площадь озера – 10,5 км^2, средняя глубина – 5,3, наибольшая – 13 м, период условного водообмена – 2,5 года). Штриховые линии – моменты установления ледового покрова и очищения озера ото льда

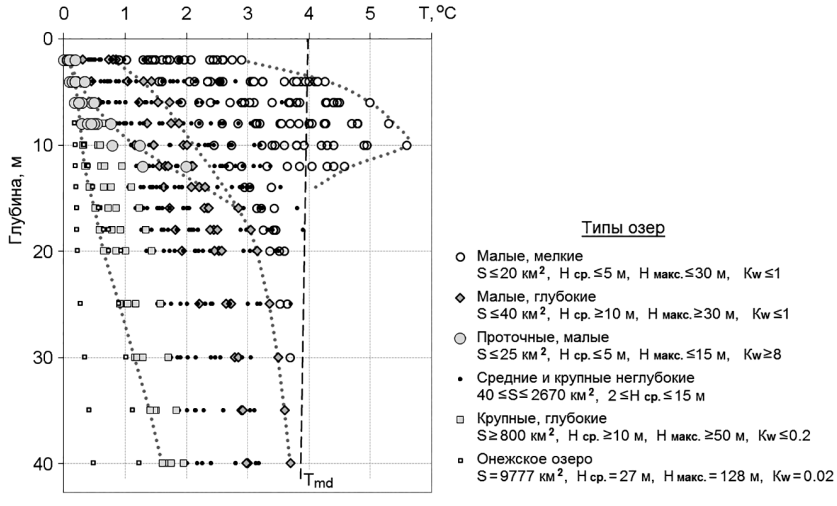


Рис. 2. Температура воды на различных глубинах в разнотипных озерах в середине марта по среднемноголетним данным. Пунктирные линии – огибающие кривые предельных значений

озер происходит глубокое выхолаживание водных масс. Температура воды в них на верхних горизонтах обычно ниже, чем в малых. Средние скорости понижения температуры водной массы озер составляют 0,2–0,3, а в мелких водоемах могут возрастать в отдельные синоптические периоды до 0,5–0,6°С·сут$^{-1}$. Осенью потери тепла в атмосферу в 10–20 раз превышают поступление тепла из донных отложений в воду. Ледовый покров устанавливается в ноябре-декабре при температуре в водной толще озер в разные годы от 0 до 2°С.

В зимний сезон изменения температуры воды в озерах определяются в основном потоками тепла на границах вода–дно и вода–лед. Влияние атмосферы сказывается на изменениях толщин снежного и ледяного покровов. В период ледостава температура воды в малопроточных озерах начинает расти, особенно быстро на нижних горизонтах. Наибольшие изменения в термических структурах озер происходят в первый месяц ледостава, когда потоки тепла из донных отложений в воду максимальны. Пример изменения температуры воды на различных глубинах небольшого озера в холодную половину года показан на рис. 1. Измерения температуры воды проводились в центре озера Вендюрского на буйковой станции, оснащенной приборами TR-1060 канадской фирмы RBR LTD. Такие данные позволяют исследовать изменение термической структуры озера с высокой дискретностью по времени (1 мин), включая периоды образования и разрушения льда, когда опасно выходить на лед для измерений.

Межгодовые изменчивости зимних термических структур озер определяются метеорологическими условиями предзимнего охлаждения, в период которого водные массы и грунты теряют большую часть тепла, накопленного за теплую половину года. По многолетним данным ледовый покров на оз. Вендюрском образовывался после понижения средней температуры в водном столбе в центральной глубоководной части озера от 0,1–0,8°С (холодные зимы) до 1,5–2,0°С (теплые зимы). Различия на 1,0–1,5°С между холодными и теплыми зимними сезонами сохранялись на всем их про-

Таблица 2. Эмпирические параметры $a_{0,z}$ – $a_{4,z}$ для различных горизонтов, коэффициенты множественной корреляции R и стандартные отклонения ε

			ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ				
ГОРИЗОНТ, М	R	ε, °С	$a_{0,z}$	$a_{1,z}$	$a_{2,z}$	$a_{3,z}$	$a_{4,z}$
2	0,95	0,28	0,65	5,14	1,45	0,297	0,011
4	0,96	0,36	1,30	7,48	2,26	0,522	0,031
5	0,96	0,37	1,52	8,02	2,48	0,589	0,042
6	0,97	0,38	1,71	8,35	2,63	0,645	0,049
8	0,97	0,37	1,88	8,80	2,71	0,673	0,059
10	0,97	0,34	1,93	9,12	2,53	0,668	0,064
12	0,96	0,31	1,95	9,39	1,75	0,659	0,066
14	0,96	0,28	1,96	9,61	0,76	0,648	0,066
15	0,96	0,28	1,97	9,69	0,39	0,640	0,067
16	0,96	0,29	1,98	9,78	0,12	0,630	0,067
18	0,95	0,30	2,00	9,91	0	0,612	0,068
20	0,95	0,30	2,04	9,99	0	0,598	0,068
25	0,95	0,30	2,17	10,05	0	0,585	0,068
30	0,95	0,30	2,33	9,92	0	0,582	0,067
35	0,96	0,28	2,52	9,60	0	0,576	0,065
40	0,98	0,24	2,71	9,28	0	0,572	0,061

тяжении вплоть до начала развития весеннего подледного прогрева. Для озер с продолжительностью наблюдений за температурой воды более 20 лет получены среднеквадратические отклонения, которые составляли в большинстве случаев около 0.5–0.7°С. Отмечены тенденции увеличения среднеквадратических отклонений при росте температуры в мелких водоемах и глубины в крупных глубоких озерах. В экстремальные годы абсолютные температуры воды на различных глубинах в озерах отклонялись от средних многолетних величин до 1–2°С. В проточных водоемах, с периодом условного водообмена меньше 10 суток, зимнее нагревание воды почти не происходит из-за интенсивного выноса тепла с речным стоком. Температуры воды в них на горизонтах до 8 м составляют от 0 до 0,8°С, а многолетняя изменчивость ±0,2°С.

Для исследования зависимости вертикальной термической структуры водоемов от озерной морфометрии и широтной зональности выбран период – первая половина марта. К этому времени поток тепла из донных отложений уменьшается и замедляется скорость роста температуры воды на горизонтах, а в водной толще озер достигаются максимальные значения зимних теплозапасов. Усредненные за все годы измерений значения температуры воды на различных горизонтах в 74 озерах приведены на рис. 2. По изменениям температуры воды озера были разделены на несколько типов. В малых мелких озерах температура воды на горизонтах 4–12 м превышала температуру максимальной плотности (T_{md}), а гравитационная устойчивость вод обеспечивалась увеличением минерализации с глубиной.

Вертикальная термическая структура озер описывалась единым уравнением

$$T(z) = a_{0,z} + a_{1,z} / \overline{H} - a_{2,z}\, lg(1 + K_W) - \\ - a_{3,z} \lg S + a_{4,z} (\varphi - 62{,}7),$$

где $\overline{H}$ – средняя глубина (м); K_W – характерная проточность для периода ледостава (отношение объема притока с ноября по март к объему озера); S – площадь озера (км^2); φ – географическая широта (град). Эмпирические параметры модели $a_{0,z}$ – $a_{4,z}$, коэффициенты множественной корреляции R и стандартные отклонения ε для различных горизонтов приведены в табл. 2. Для верхних горизонтов до 10–12 м главным фактором в изменениях температуры воды в озерах является средняя глубина. Из-за выноса тепла с речным стоком проточность уменьшает температуру воды в верхнем слое мелких водоемов от типичных значений до 0–1°С. Для горизонтов ≥15 м в выборках остаются только слабопроточные озера, для которых определяющим фактором становится площадь водоемов. Зависимость температуры воды от широтной зональности постепенно возрастает с глубиной, но объясняет лишь небольшие различия температуры воды в озерах до 1°С.

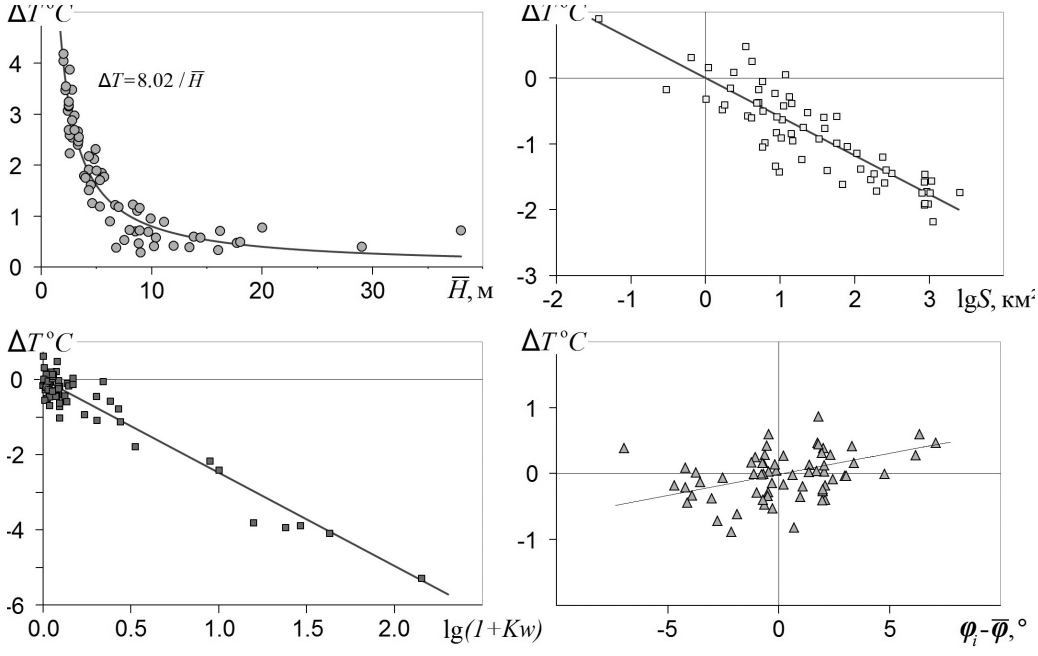


Рис. 3. Распределение остатков температуры воды (°С) относительно независимых переменных (горизонт 5 м)

Распределение остатков температуры воды относительно независимых переменных для одного из горизонтов показано на рис. 3. Рассмотрение остатков важно для выбора видов зависимостей температуры от отдельных характеристик и проверки модели на адекватность. Общий вид зависимостей (рис. 3) в целом сохраняется для всех горизонтов. Это позволило использовать в стохастической модели один вид уравнения. Вертикальные распределения эмпирических параметров модели $a_{0,z}$ – $a_{4,z}$ сглажены полиномами с целью уменьшения разбросов при расчете вертикальной термической структуры озер. Стохастическая модель основана на результатах натурных измерений температуры воды в 64 водоемах Северо-Запада России. Проверка модели, выполненная по данным измерений в 8 озерах Финляндии [Kuusisto, 1981], показала удовлетворительное соответствие рассчитанных значений в пределах среднеквадратических отклонений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Kuusisto E. Water temperatures of lakes and rivers in Finland in the period 1961-1975. Vesihallitus – National Board of Waters, Finland. Helsinki, 1981. – 40 p.

VERTICAL THERMAL STRUCTURE OF NORTHWESTERN RUSSIA LAKES DURING ICE-COVERED PERIOD

Palshin N.I., Efremova T.V.

Northern Water Problems Research Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia
npalshin@mail.ru; efremova@nwpi.krc.karelia.ru

ABSTRACT

Geographical factors of the vertical thermal structure development in ice-covered lakes are considered. Empirical relationships between water temperature at different depths and the mean lake depth, lake area, and residence time are established.

РАСЧЕТЫ ТВЕРДОГО СТОКА РЕК В НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ ГИДРОЛОГИИ

Шмакова М.В.

Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург

m-shmakova@yandex.ru

Обозначены некоторые методы расчета процессов переформирования дна рек и водохранилищ, основанные на аналитической формуле расхода наносов.

Общие положения. Основными проблемами в расчетах твердого стока рек являются отсутствие физически обоснованной концепции транспорта наносов и низкая точность измерения расходов наносов, которая затрудняет апробацию формул расхода наносов и оптимизацию структуры и параметров этих формул. Отсутствие физически обоснованной концепции для эмпирических формул выражается в том, что эти формулы основаны на опосредованных причинах транспорта наносов. Такие причины являются лишь следствием основных факторов, определяющих как транспорт наносов, так и движение потока в целом. Отсутствие универсальных методов расчета расходов наносов с устойчивым положительным результатом затрудняет решение таких задач, как заиление водохранилищ, расчет изменения отметок дна и берегов водотоков в естественном режиме и при различных гидротехнических мероприятиях.

Безусловно, основной причиной транспорта наносов в водотоке является движущая сила потока (сдвигающая проекция силы тяжести потока) и противостоящая ей сдерживающая сила (сила трения). То есть формулы расхода наносов должны быть построены на этом базовом для транспорта наносов положении. Однако, в явном виде в формулах сопротивление дна потоку нигде не прописано.

Формула расхода наносов. Основное уравнение математической модели движения воды и твердого вещества в речном потоке имеет вид [Шмакова М.В., 2013]

$$(1-f)\left(mg\left[I-\frac{\partial H}{\partial L}\right]-m\frac{\partial v}{\partial t}\right)- - N_{act}m_{ч}\frac{\partial v_{ч}}{\partial t}+N_{act}m_{ч}g-cS=0 \qquad (1)$$

где m – масса объема воды, заключенного между двумя расчетными створами, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2; I – уклон дна; H – глубина потока, м; L – расстояние, м; v – скорость потока, м/с; t – время, с; $m_{ч}$ – масса частицы, кг; $v_{ч}$ – скорость движения частицы, м/с; f – коэффициент внутреннего трения, б/р; c – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с^2) (для несвязного грунта $c = 0$); S – площадь приложения силы, м^2; N_{act} – количество перемещаемых частиц в потоке.

Как видно из уравнения (1), сила трения $F_{сопр}$ представлена по аналогии с известной в грунтоведении зависимостью сопротивления грунта сдвигу давлению со стороны потока [Бабков и др., 1950] $F_{сопр} = Rf + cS$ (где давление со стороны потока R представляет собой комплекс сил ($F_{потока}$), действующих в потоке на движущиеся и неподвижные частицы грунта).

Уравнение (1) замыкается уравнениями неразрывности потока, скорости движения частицы в потоке и уравнением баланса кинетической энергии потока и частиц. Для условий равномерного установившегося движения после некоторых преобразований этого уравнения получено, что общий расход наносов G (кг/с), то есть масса твердого вещества, проходящая через поперечное сечение потока за единицу времени, равен:

$$G=\frac{\rho_{грунта}}{\rho_{грунта}-\rho_{воды}}Q\left[\frac{c}{Hg}-(1-f)\rho_{воды}I\right], \qquad (2)$$

где Q – расход воды, м^3/с; $\rho_{грунта}$ и $\rho_{воды}$ – плотности грунта и воды, кг/м^3.

Формула (2) не имеет эмпирических параметров и апробирована на достаточно большом количестве водотоков, лежащих в различных физико-географических зонах и имеющих разные гидравлические и морфологические характеристики [Шмакова, 2013].

Некоторые приложения аналитической формулы расхода наносов. Очевидно, что процессы переформирования дна рек и водохранилищ имеют балансовую основу. Основным критерием размыва дна или аккумуляции твердого вещества на дне является соответствие гидравлических переменных состояния потока и количества твердого вещества, уже поступившего в расчетный створ (для реки) или расчетную точку (для водохранилища). В зависимости от того, вычисляются переменные состояния потока одновременно с расходом наносов или уже заданы как граничное условие, можно выделить

два варианта расчета. В первом варианте переменные состояния потока (скорость, глубина и расход наносов) рассчитываются взаимосвязано, являясь функцией расхода воды, уклона и сопротивления дна. То есть поступившее в расчетный створ твердое вещество определяет, в том числе, и значения указанных выше переменных состояния. Во втором варианте значения скорости и глубины уже заданы, и, исходя из этих значений, рассчитывается только расход наносов. И в первом и во втором вариантах расчета, сопоставляя расходы наносов, поступившие из верхнего створа и вычисленные в расчетном створе, можно говорить об изменении транспортирующего потенциала потока, а по разности этих величин определить количество осажденного или размытого твердого вещества. Рассмотрим кратко несколько разработанных прежде методов изменения отметок дна рек и водохранилищ в приложении некоторых задач гидрологии, а также оценку годового твердого стока рек.

Занесение русловых карьеров. Изменение транспортирующего потенциала потока Δ (кг/с) в связи с увеличением глубины и уменьшением скорости в створе руслового карьера будет равно [Шмакова, 2013]

$$\Delta = G_1 - G_2 = \frac{\rho_{грунта}}{\rho_{грунта} - \rho_{воды}} Q \left[\frac{c}{g} \left(\frac{1}{h_1} - \frac{1}{h_2} \right) - 10^3 (1 - f)(I_1 - I_2) \right], \quad (3)$$

или для условий равного уклона $I_1 = I_2$

$$\Delta = \frac{\rho_{грунта}}{\rho_{грунта} - \rho_{воды}} Q \frac{c}{g} \left[\frac{1}{h_1} - \frac{1}{h_2} \right], \quad (4)$$

где G_1 и G_2 – расход наносов в верхнем створе и створе руслового карьера, кг/с.

Полученная величина Δ показывает, какая масса наносов осядет в створе руслового карьера за 1 секунду. Для вычисления периода полного занесения карьера, следует рассчитать время, за которое объем заносящего карьер твердого вещества $V_{грунт}$ с учетом пористости последующего залегания ϕ будет равен объему карьера $V_{кар}$

$$\Delta = \frac{V_{кар}\, \rho_{грунт}(1 - \varphi)}{\Delta \cdot 86400}, \quad (5)$$

где T – время полного занесения карьера, сут; $\rho_{грунт}$ – плотность грунта, кг/м^3; ϕ – предположительная пористость залегания осаждаемого в карьере грунта, б/р.

Расчетная формула размыва русла в укрепленных берегах. По аналогии с занесением русловых карьеров, расчет размыва русла в укрепленных берегах также основывается на изменении транспортирующего потенциала потока в своре размыва и в верхнем от него створе (формулы (4) и (5)). Тогда объем размытого грунта $V_{грунт}$ за период времени T (сут) будет равен

$$V_{грунт} = \frac{|\Delta|\, T \cdot 86400}{\rho_{грунт}(1 - \varphi)}, \quad (6)$$

где Δ – масса наносов, осевшая в расчетном створе (при условии $\Delta > 0$), и размытая (при условии $\Delta < 0$) за 1 с, вычисляется по формулам (4) или (5).

Для учета постепенного изменения гидравлических характеристик потока, формула (4.15) примет вид

$$V_{грунт} = \sum_{i=1}^{n} \frac{|\Delta_i|\, \delta T_i \cdot 86400}{\rho_{грунт}(1 - \varphi)}, \quad (7)$$

где δT_i – интервалы времени, на протяжении которых поток имеет относительно постоянные гидравлические характеристики, сут; Δ_i – изменение транспортирующего потенциала потока в течение интервала времени δT_i, кг/с, n – количество интервалов времени с относительно постоянными гидравлическими характеристиками.

Заиление водохранилищ. Совместное решение гидродинамических уравнений (например, уравнений мелкой воды) и аналитической формулы расхода наносов позволяет вычислить изменения морфометрических характеристик ложа водохранилища. В качестве примера можно привести результаты расчетов для приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища [Шмакова М.В., 2013].

Оценка годового твердого стока. В основе метода оценки годового твердого стока рек, лежит композиционный метод теории вероятности – нахождение параметров распределения функции по параметрам распределения аргументов [Шмакова, 2013]. По сгенерированным рядам расходов воды достаточной продолжительности и кривой $Q = f(H)$ вычисляются значения расходов наносов. Полученные ряды являются основой для оценки параметров распределения годового твердого стока.

Выводы. Представленный в данной работе принцип балансового расчета и сопряженные с ним методы могут быть реализованы не только применительно к аналитической формуле расхода наносов (2). В этом случае должно быть найдено совместное решение для выбранных формул взвешенных и влекомых наносов. Однако, безусловно, на качестве вычислений могут отразиться известная неточность расчетов по многим формулам как влекомых, так и взвешенных наносов, отсутствие универсальности, и, основное, эмпирическая природа многих формул и несоблюдение концепции единого генезиса формирования взвешенного и влекомого стока наносов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабков В.Ф., Быковский Н.И., Гербурт-Гейбович А.В., Тулаев А.Я. Грунтоведение и механика грунтов. – М.: Дориздат, 1950. – 334 с.

Шмакова М.В. Теория и практика математического моделирования речных потоков. – СПб: Изд. Лема, 2013. – 144 с.

CALCULATIONS OF SOLID RUNOFF OF RIVERS FOR SOME PROBLEMS OF APPLIED HYDROLOGY

Shmakova M.V.

Institute of Limnology RAS, St.Petersburg, Russia, m-shmakova@yandex.ru

ABSTRACT

This paper presents some of the methods of calculation processes reshaping the bottom of rivers and reservoirs, based on an analytical formula sediment discharge.

ПОДСЕКЦИЯ 1.3

ГИДРОХИМИЯ

ПОЛИХЛОРИРОВАННЫЕ БИФЕНИЛЫ В ВОДЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ БАССЕЙНОВ КАЗАХСТАНА

Амиргалиев Н.А.

Институт географии, Алматы, Казахстан

namirgaliev@mail.ru

Изучен уровень аккумулирования полихлорированных бифенилов в воде трансграничных бассейнов Казахстана, указаны основные источники загрязнения.

В последние десятилетия уделяется повышенное внимание стойким органическим загрязнителям (СОЗ), которые воздействуют на среду обитания на чрезвычайно низком концентрационном уровне. СОЗ признаны международным сообществом веществами, представляющими большую опасность для здоровья человека и окружающей среды.

Одним из наиболее токсичных и распространенных в глобальном масштабе представителей СОЗ являются полихлорированные бифенилы (ПХБ). В Казахстане имеется содержащее ПХБ оборудование в количестве 116 трансформаторов и около 50 тысяч конденсаторов. Объем содержащихся в них ПХБ приблизительно оценивается в 800 тонн. До 80% материала загрязненного полихлорированными бифенилами находится на территории г. Усть-Каменогорска. В пруде-накопителе Усть-Каменогорского Конденсаторного завода, где во времена существования СССР проводилось заполнение конденсаторов полихлорбифенилами, находится 60000 т сильно загрязненного ила и 80000 т загрязненной воды [Беркинбаев, Федоров, 2009]. В республике выявлено 8 очагов (площадей) загрязненных ПХБ общей площадью около 2500 га [Ishankulov, 2008].

На водных объектах Казахстана целенаправленного мониторинга СОЗ практически не проводится. Наблюдения за этими ксенобиотиками не ведется мониторинговой сетью Казгидромета и другими органами охраны природы. Следовательно, оперативные данные по распространению этих опасных токсичных соединений в природной среде республики, по существу, отсутствуют; крайне недостаточны и научные публикации.

В данном сообщении рассматривается материал об уровнях накопления ПХБ в воде ряда водных объектов, находящихся в системе трансграничных бассейнов Казахстана. На трансграничной реке Урал пробы отбирались в 2012 г. на 5-ти точках нижнего течения общей протяжностью около 50 км. Выше г. Атырау (с. Бугорки) концентрация ПХБ в воде составила 0,93 мкг/дм^3, а на замыкающей станции – в начале Урало-Каспийского канала (УКК) – она возросла до 1,29 мкг/дм^3. Аналогичная картина в распределении ПХБ по течению реки была зарегистрирована и в 2005 г. (рисунок).

Такой рост количества токсиканта вниз по течению реки, очевидно, обусловлен влиянием отходов в виде сточных вод и атмосферных выбросов промышленных предприятий, расположенных в г. Атырау. Сравнительно менее загрязнена вода в Правом Яицком рукаве дельты, по которому проходит незначительная часть стока реки и берега его менее заселены. Ясно прослеживается увеличение в 2012 г. уровня ПХБ в речной воде по сравнению с 2005 г. – он возрос на порядок в пределах г. Атырау, в два раза у с. Дамба и заметно увеличился в УКК.

Вынос ПХБ речным стоком определяет характер распределения этих токсикантов в воде предустьевой морской акватории. Наибольшее их содержание (1,0 мкг/дм^3) зарегистрировано в квадрате №24, куда в первую очеред поступает речная вода по УКК. По мере удаления от него концентрация ПХБ постепенно снижается.

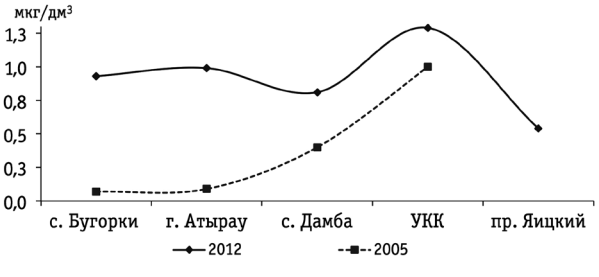


Рис. Изменение концентрации ПХБ по течению р.Урал

Таблица 1. Содержание ПХБ в воде водных объектов низовья р. Сырдарьи

МЕСТО ОТБОРА ПРОБ	КОНГЕНЕРЫ	ПХБ, мкг/дм^3	
река Сырдарья	52	0,082	
озеро Лайколь	41, 64, 71	4,70	
озеро Камыстыбас	не обнаружено		
озеро Макпал	44	12,0	
озеро Карашалан	52	0,124	
озеро Тущи	52 40	0,055 2,13	} 2,18
Малое Аральское море	не обнаружено		
Кокаральская плотина, н/бьеф	41, 64, 71 44	0,008 23,11	} 23,12

Главная причина загрязнения ПХБ трансграничной р. Урал является поступление в речную систему отходов многочисленных промышленных предприятий и других объектов, находящихся на территории РФ. По данным инвентаризации [http://www.cip-pops.ru/], в Южно-Уральском регионе, тяготеющем к бассейну реки, имеются 74,5 тыс. единиц оборудования, содержащих ПХБ (трансформаторы и конденсаторы). Общее количество ПХБ в Оренбургской, Челябинской, Свердловской областях и в Башкортостане – 3354 т. Если к этому добавить огромные, загрязненные ПХБ территории, особенно в пределах главных источников загрязнения, то становится понятным уровень нагрузки ПХБ-содержащих стоков и выбросов в атмосферу в верхней части бассейна р. Урал.

Согласно исследованиям [Шахтамиров, Амирова, 2011] в Башкирской республике с высокой концентрацией промышленных предприятий, высокая загрязненность ПХБ воды и рыб в реках Башкирии является следствием многолетнего загрязнения рек в результате токсичных сбросов промышленных предприятий и судоходства. Не исключается возможность загрязнения реки и ее притоков в пределах городов Уральск, Актюбинск и Алга. Однако трудно что-либо определенно сказать из-за полного отсутствия информации по содержанию ПХБ как в трансграничном стоке реки, так и в водах в пределах Республики Казахстан.

Все изученные в 2013 г. водные объекты низовья р. Сырдарьи, за исключением нижнего бьефа Кокаральской плотины, питаются стоком р. Сырдарьи. Концентрация ПХБ в воде этой реки составила 0,082 мкг/дм^3, а в проточных озерах Лайколь и Макпал она оказалась значительно выше (таблица 1).

ПХБ не были обнаружены в воде более отдаленного от р. Сырдарьи и непроточного оз. Камыстыбас и Малого Аральского моря, которое в 2013 г., по существу, также не имело проточности. Это дает основание считать, что основным источником поступления ПХБ в эти водоемы является р. Сырдарья.

Ниже Кокаральской плотины в настоящее время образовался водоем, который соединяется с северной оконечностью Большого Аральского моря. Связи с р. Сырдарья он не имеет. В то же время в его воде зарегистрировано высокое накопление ПХБ до 23,12 мкг/дм^3. Назвать прямые источники загрязнения этих акваторий изучаемыми поллютантами сложно. Можно лишь предполагать о влиянии так называемых “исторических” источников, какими являются военные объекты, функционировавшие многие годы во времена СССР на острове “Возрождение” и в других частях этого региона. В распространении ПХБ в данном регионе важная роль, видимо, принадлежит их атмосферному выносу с поверхности суши и осушенного дна моря.

В изученных образцах воды идентифицировано 6 индивидуальных конгенеров (ПХБ 40, 41, 44, 52, 64, 71), которые суммарно относятся к тетрахлорбифенилам. Более высокие концентрации характерны для “легких” конгенеров: ПХБ 40 присутствовали в количестве 2,13 мкг/дм^3, ПХБ 44 – 12,0 и 23,1 мкг/дм^3. Из “маркерных” конгенеров в пробах из двух объектов зарегистрированы ПХБ 52 в концентрациях 0,055 мкг/дм^3 и 0,082 мкг/дм^3. Более разнообразный состав конгенеров зарегистрирован в воде нижнего бьефа Кокаральской плотины и проточных озер.

Исследование Капчагайского водохранилища проводилось в 2013 и 2014 гг., полученные результаты в сравнении с данными ранее выполненных наблюдений (2005 г.), показаны в таблице 2.

Таблица 2. Содержание ПХБ в воде Капчагайского водохранилища, мкг/дм^3

ГОДЫ	ПРЕДЕЛЫ	СРЕДНЕЕ
2013	0,077–7,40	1,626
2014	0,144–7,80	1,601
2005	0,020–0,501	0,110

Неравномерное распределение ПХБ по акватории водоема обусловлено влиянием стока трансграничной реки Или и других малых рек, впадающих в водохранилище, которые протекают через города и крупные населенные пункты. Конгенерный состав воды представлен тетрахлорбифенилами (ПХБ 40, 44, 52) и пентахлорбифенилами (ПХБ 87 и 118). В числе найденных изомеров находятся два "маркерных" конгенера ПХБ 52 и 118, которые широко распространены в природе и строго контролируются в РФ.

Приведенный выше материал показывает загрязненность водных объектов Казахстана ПХБ и наличие тенденции ее роста во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беркинбаев Г.Д., Федоров Г.В. Проблемы стойких органических загрязнителей в Казахстане // Вестник КазНУ им. аль-Фараби. Сер. экологическая. – Алматы, 2009. – №2 (25). – С. 3–8.

Ishankulov M. Sh. PCB-Contaminated Areas in Kazakhstan and Analysis of PCB Impact Human Health Experience / In NATO science series volume: The Fate of Persistent Organic Pollutants in the Environment. – Springer: AK/ NATO Publishing Unit. Editors: E. Mehmetli and B.Koumanova, 2008. – P. 387–403.

[Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.cip-pops.ru/.

Шахтамиров И.Я., Амирова З.К. Диоксины и ПХБ в тканях пресноводных рыб техногенных акватории России // Рыбное хозяйство, 2011. – №3. – С. 36–39.

POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN WATER OF TRANSBOUNDARY RESERVOIRS OF KAZAKHSTAN

Amirgaliev N.A.

Geography institute, Almaty city, Kazakhstan, namirgaliev@mail.ru

ABSTRACT

The level of accumulation of polychlorinated biphenyls in water of transboundary reservoirs of Kazakhstan was studied and the main sources of pollution are indicated.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО БИОИНДИКАТОРНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ МАЛЫХ РЕК НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА “ЕРГАКИ”

Андрианова А.В.

ФГБУН Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

andrav@icm.krasn.ru

Проведено исследование зообентоса в малых горных водотоках на территории природного парка “Ергаки” (юг Красноярского края) и за его пределами. Путем ранжирования биотических индексов и метрик относительно фоновых значений определены градации качества вод и введен интегральный показатель.

В центральной части Западного Саяна (юг Красноярского края) расположен горный хребет Ергаки – популярный и удобный район для туризма и кемпингового отдыха, находящийся под охраной национального природного парка “Ергаки”. В настоящее время поверхностные воды парка уже испытывают значительную антропогенную нагрузку, связанную с развитием туризма, влиянием населенных пунктов и близостью автодорог. Кроме того, по территории парка ведется строительство железнодорожной магистрали федерального значения “Кызыл – Курагино”, что непременно повлечет за собой нарушение биологического баланса водных экосистем, которые по потенциалу устойчивости относятся к малоустойчивым природным экосистемам.

Известно, что зообентос – это наиболее широко используемая индикаторная группа в системах биоиндикации текучих вод как в отечественных, так и в зарубежных исследованиях. Существующее многообразие методов оценки экологического состояния водных объектов по структурно-функциональным характеристикам зообентоса ставит проблему выбора наиболее чувствительных и информативных индексов и метрик, учитывающих региональные особенности конкретных речных бассейнов.

Материалом для данного исследования послужили пробы зообентоса, собранные в р. Ус и ее притоках. Река Ус – правый приток Енисея в его верхнем течении – является основной водной артерией на территории парка “Ергаки”, длина составляет 236 км, площадь бассейна – 6880 км^2. Пробы зоо-

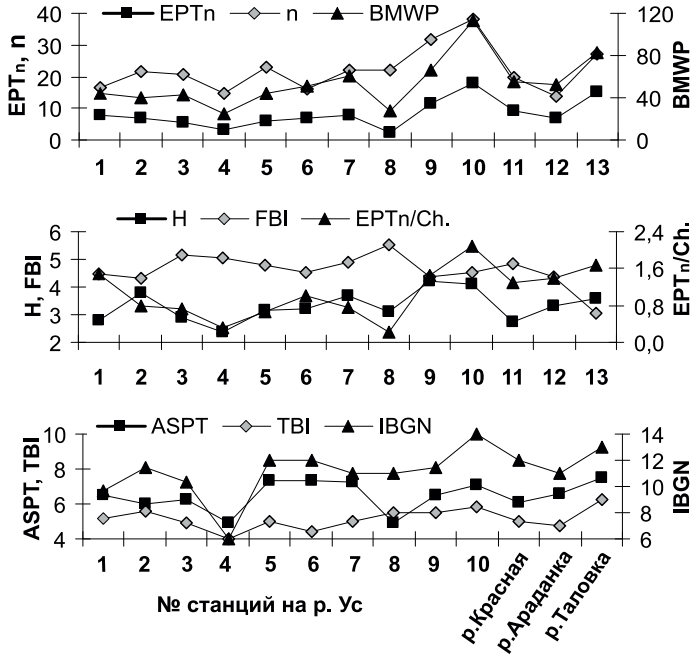


Рис. 1. Пространственная динамика биотических индексов и метрик в бассейне р. Ус

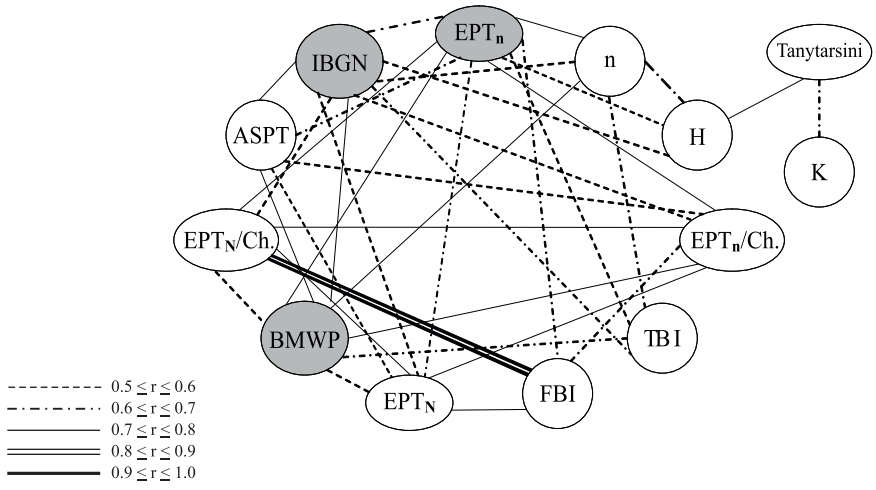


Рис. 2. Корреляционный граф взаимосвязей между различными индикационными метриками и индексами (r – коэффициент корреляции; серым цветом выделены индексы с наибольшим количеством связей)

бентоса отбирали летом 2012–2014 гг. в р. Ус и ее притоках – рр. Красная, Араданка, Таловка.

Для оценки качества воды по донным сообществам использовали комплексный подход, включающий анализ нескольких биоиндикационных показателей: количество видов в сообществе (*n*); индекс видового разнообразия Шеннона (*H*); хирономидный индекс Балушкиной (*K*); биотический индекс Вудивисса (*TBI*). Для сравнительного анализа информативности используемых методов были рассчитаны индексы, предлагаемые Европейской Рамочной Водной Директивой: *EPT*, *BMWP*, *ASPT*, *FBI*, *IBGN* [Семенченко, Разлуцкий, 2011; Czerniawska-Kusza, 2005; Miserendino et al., 2008; Shilla and Shilla, 2011 и др.]. Кроме того, использовали показатели, основанные на соотношении высоко чувствительных и нечувствительных к загрязнению видов: *EPT/Ch*. – отношение суммарной численности (EPT_N) или числа видов (EPT_n) поденок, веснянок и ручейников к хирономидам; доля хирономид подсемейства Tanytarsini в зообентосе.

Видовой состав зообентоса исследованных водотоков типичен в основе своей для горных рек и состоит из литореофильных личинок амфибионтных насекомых: хирономид, веснянок, поденок и ручейников [Андрианова и др., 2013]. В целом, наблюдалось единообразие в пространственной динамике для большинства метрик и биотических индексов (рис. 1): снижение показателей отмечено в р. Ус на ст. 4 и 8, максимальные значения – в низовье р. Ус (ст. 9, 10) и в р. Таловке.

Сходство показателей индексов и метрик на изменение качества воды отражает корреляционный анализ (рис. 2), по результатам которого индексы *EPT, BMWP, IBGN* показывают согласованную реакцию и могут в ряде случаев взаимозаменять или дополнять друг друга. Следует отметить, что общее количество видов зообентоса (*n*) хорошо коррелировало со многими показателями. Наблюдалась взаимосвязь между численностью группы *EPT* и количеством видов *EPT*, что подтверждается и другими исследованиями [Shilla D.J., Shilla D.A., 2011]. Следовательно, количество видов в сообществе является необходимым показателем при оценке качества воды, несмотря на то, что приоритет в Европейской Рамочной Водной Директиве отдается экспресс-методам, не требующим определения видовой принадлежности беспозвоночных.

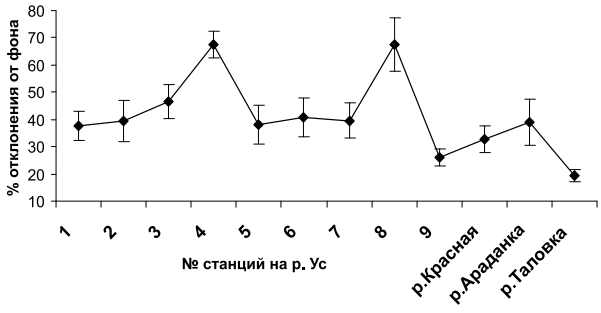


Рис. 3. Изменение интегрального показателя качества вод IP на различных станциях бассейна реки Ус

Для оценки качества воды по абсолютным значениям каждого использованного индекса разработаны индивидуальные системы градаций, и отсутствие единой общепринятой балльной градации снижает чувствительность использованных показателей в градиенте загрязнения, что приводит к искажению полученных значений категорий качества воды. Нормирование биотических индексов и метрик относительно фоновых значений на эталонных створах позволяет при определении качества воды учитывать региональные

особенности состава и структуры донных сообществ. Градации качества вод определяли путем ранжирования полученных биотических индексов и метрик относительно фоновых значений (ст. 10 на р. Ус) в единой системе в соответствии с 5-балльной шкалой [Голубков, 2012; Яныгина, 2014]. В качестве обобщающей характеристики для оценки качества воды использовали интегральный индекс (IP), рассчитываемый как среднее значение всех индикаторных индексов и метрик [Балушкина, 2012].

Максимальные значения IP (более 60%, вода "загрязненная") выявлены в р. Ус на станциях 4 и 8 (рис. 3). Наиболее близки к фоновым значениям оказались станции 9 (низовье р. Ус) и р. Таловка, расположенные вдали от автомагистралей и населенных пунктов. Эти станции могут использоваться в качестве эталонных при проведении гидроэкологического мониторинга на типологически сходных реках данного региона, а так же после введения в эксплуатацию железнодорожной магистрали "Кызыл – Курагино".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андрианова А.В., Апонасенко А.Д., Макарская Г.В., Пономарева Ю.А. Комплексная оценка состояния экосистемы малой горной реки в районе строительства железнодорожной магистрали // Вестник КрасГАУ, 2013. – Вып. 8. – С. 97–103.

Балушкина Е.В. Использование интегрального индекса для оценки состояния биологического разнообразия и качества воды водоемов // Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов / под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. – СПб.: Наука, 2012. – С. 243–257.

Голубков С.М. Использование принципов "Водной директивы Европейского союза" для оценки состояния биологических сообществ // Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов / под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. – СПб.: Наука, 2012. – С. 258–265.

Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество пресных вод. 2-е изд., исправленное. Минск: Беларуская навука, 2011. – 328 с.

Яныгина Л.В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: воздействие природных и антропогенных факторов: автореф. дис. …док. биол. наук. – Владивосток, 2014. – 40 с.

Czerniawska-Kusza I. Comparing modified biological monitoring working party score system and several biological indices based on macroinvertebrates for water-quality assessment // Limnologica, 2005. – Vol. 35. – P. 169–176.

Miserendino M. L., Brand C., Di Prinzio C. Y. Assessing Urban Impacts on Water Quality, Benthic Communities and Fish in Streams of the Andes Mountains, Patagonia (Argentina) // Water Air Soil Pollut., 2008. – Vol. 194. – P. 91–110.

Shilla D.J., Shilla D.A. The effects of catchment land use on water quality and macroinvertebrate assemblages in Otara Creek, New Zealand // Chemistry and Ecology, 2011. – Vol. 27 (5). – P. 445–460.

THE USAGE OF INTEGRAL BIOINDICATED INDEX IN THE QUALITY ASSESSMENT OF THE SMALL RIVERS WATER ON THE TERRITORY OF THE NATIONAL NATURAL PARK (THE SOUTH OF THE KRASNOYARSK KRAI)

Andrianova A.V.

Institute of Computational Modeling of SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, andrav@icm.krasn.ru

ABSTRACT

The investigation of benthic communities in small mountain streams on the territory of the Ergaki natural park (the south of the Krasnoyarsk Krai) and beyond it was carried out. Gradations of water quality were determined and the integral index was introduced with the help of ranking biotic indices and metrics in regard to background values.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ КСЕНОБИОТИКОВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Баренбойм Г.М. , Чиганова М.А.

Институт водных проблем РАН, Москва

mblshok@mail.ru

В работе рассмотрена возможность применения информационных технологий в оценке опасности органических ксенобиотиков. На частных примерах показано, что современный уровень хемоинформатики и биоинформатики позволяет эффективно использовать различные мировые и национальные базы данных о токсичности веществ, а также расчетно-прогнозные методы для определения видов и дозовых характеристик токсичности органических соединений.

ВВЕДЕНИЕ

Качество поверхностных вод является одним из ключевых факторов, от которого зависит здоровье населения, а также играет существенную роль в сохранении водных экосистем. Мировая тенденция ухудшения качества пресных вод характерна и для России. Поэтому качество воды “охраняется” национальными законодательными актами, межгосударственными и международными соглашениями, контролируется специализированными организациями, обеспечивается разнообразными технологиями очистки и т.д.

Важное место в сфере управления качеством воды занимает моделирование процессов формирования и изменения качества вод в естественных водоемах и водотоках, а также в системах водоподготовки питьевых и очистки сточных вод. Широко, например, используются различные модификации программы WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), позволяющей описать и прогнозировать биохимическое потребление кислорода, круговорот биогенных веществ, некоторые процессы, связанные с эвтрофикацией, ряд гидродинамических характеристик, включая модели переноса загрязнений, и т.д.

Помимо традиционных характеристик качества воды, которые можно получить с помощью моделей, в последние десятилетия появилась возможность использовать моделирование биологической активности загрязняющих воду веществ, включая ее изменение при химической трансформации веществ.

Развитие этого направления стимулируется двумя обстоятельствами. Во-первых, это стремительный рост массива химических веществ, в первую очередь, органических ксенобиотиков. По разным данным, на практике используется от 0,5 до 5 млн соединений, причем их перечень непрерывно меняется, что приводит к необходимости разработки методики альтернативной оценки их токсичности, помимо экспериментальной. Во-вторых, это развитие хемоинформатики – научной дисциплины, возникшей в области между химией и вычислительной математикой, в рамках которой были разработаны методы построения баз данных химических соединений и реакций; прогнозирования физических, химических и биологических свойств соединений и материалов; поиска новых лекарственных препаратов; предсказания хода химических реакций и др. К хемоинформатике следует добавить биоинформатику, позволяющую, в частности, использовать существующие или создавать новые модели взаимодействия обнаруживаемых в воде органических ксенобиотиков с биологическими мишенями. Подробный обзор соответствующих баз данных с оценкой их легитимности и примерами использования, а также детальные данные о ряде программ компьютерного прогноза активности дан в нашей монографии [Баренбойм, Чиганова, 2015]. В данном изложении мы ограничимся только кратким представлением некоторых программ и иллюстративными примерами.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ PASS И GUSAR

Компьютерная система PASS позволяет прогнозировать одновременно множество различных видов биологической активности (БА) органических соединений по их структурной формуле на основе анализа взаимосвязей “структура – активность” с использованием обучающей выборки, содержащей большое количество разнородных органических соединений с различными видами БА. Список прогнозируемых PASS видов БА включает в себя основные и побочные фармакологические эффекты, биохимические механизмы действия, специфическую токсичность, нежелательные мишени, и эффекты, связанные с метаболизмом, транспортом и влиянием на

экспрессию генов. Можно добавлять информацию о новых видах БА и новых соединениях. Детальное описание того, как представляется в программе информация о биологической активности и структурной формуле соединения, алгоритм оценки спектра БА, подготовке обучающей и тестовых выборок, оценка точности прогноза и интерпретация полученных результатов прогноза, можно найти в публикации [Filimonov, Poroikov, 2008].

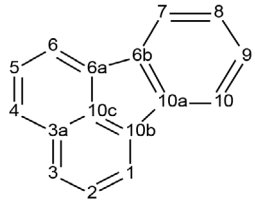
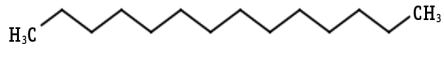
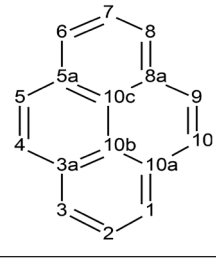
Современная версия компьютерной программы PASS 11.1 прогнозирует более 4000 видов биологической активности со средней точностью свыше 95% (скользящий контроль с исключением по одному). Обучающая выборка программы PASS 11.1 содержит информацию о более чем 250000 лекарственных препаратов и биологически активных соединений, включая данные о многих химических токсикантах.

БА описывается в PASS качественно ("активное" или "неактивное") в виде спектра БА органического соединения – множества различных терминов видов БА, описывающих результат взаимодействия вещества с различными биологическими объектами. Спектр БА отражает "внутренние", присущие данному соединению свойства, зависящие только от его химического строения. В PASS принимается, что вещество не обладает теми видами БА, которые не указаны в его спектре, хотя и нельзя исключить ситуации, когда информация о какой-либо БА вещества не была найдена в доступных источниках, либо оно обладает некоторой БА, но на эту БА вещество еще не испытывалось [Филимонов, Поройков, 2006].

Методы на основе обучающей выборки позволяют прогнозировать дозы веществ, вызывающих летальный исход у определенной доли тестируемых живых объектов. Программа GUSAR, реализующая такой подход, представляет собой инструмент для создания моделей на основе количественных взаимосвязях "структура – активность". Ядро программы состоит из уникального алгоритма самосогласованной регрессии, что позволяет выбрать оптимальный набор дескрипторов для прочной и надежной QSAR модели.

Химическая структура в GUSAR, как и в программе PASS, представлена MNA дескрипторами, используемыми в программе PASS, и дескрипторами биологической активности (QNA), которые основаны на результатах прогнозирования в программе PASS. QNA дескрипторы легко отражают характер межмолекулярных взаимодействий. По этой программе были просчитаны LD_{50} некоторых соединений, обнаруженных с системе питьевого водоснаб-

Таблица 1. Результаты прогноза видов токсичности некоторых нефтегенных углеводородов, для которых отсутствуют отечественные нормативы ПДК

№	ВЕЩЕСТВО	СТРУКТУРНАЯ ФОРМУЛА	ВИДЫ РАСЧЕТНОЙ ТОКСИЧНОСТИ И ВЕРОЯТНОСТЬ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ (P_a)
1.	Флуорантен		0,771 Канцероген, группа 1 0,770 Канцероген, группа 2А 0,704 Ингибитор тромбоцитопоэза 0,723 Нейротоксичность 0,703 Повышение уровня холестерина 0,686 Гипертермическое действие 0,674 Депрессия 0,625 Повышение уровня глюкозы в крови
2.	Тетрадекан		0,740 Вызывание рвоты 0,739 Гипертермическое действие 0,730 Нейротоксичность 0,694 Депрессия 0,632 Повышение уровня глюкозы в крови
3.	Пирен		0,768 Ингибитор тромбоцитопоэза 0,751 Нейротоксичность 0,716 Канцероген, группа 1 0,715 Канцероген, группа 2А 0,724 Повышение уровня холестерина 0,685 Гипертермическое действие 0,688 Депрессия 0,676 Повышение уровня глюкозы в крови

Примечание: обнаружены вещества - **флуорантен и пирен:** Иваньковское вдхр., донные отложения, май 2010г.; **тетрадекан:** Истринское вдхр., снег, март 2010 г.; Иваньковское вдхр., снег, март 2010 г.; Чебоксарское вдхр., донные отложения, февраль 2005.

Таблица 2. Некоторые опасные свойства обнаруженных органических соединений

КАНЦЕРОГЕНЫ	МУТАГЕНЫ	ТЕРАТОГЕНЫ
Аценафтилен	Диэтиленгликоль	Генейкозан
Бензантрацен	Фенантрен	Дибутилфталат
Бензо(а)пирен	Флуорантен	Фенилуксусная кислота
Бис (2-этилгексил) фталат	4-хлоранилин	Холестанол
Гидрохинон	1,1,2,3-тетрахлор-1-пропен	2-этилгексилфталат

ЭМБРИОТОКСИКАНТЫ	НЕЙРОТОКСИКАНТЫ	НЕФРОТОКСИКАНТЫ
Бензо(а)пирен	Тимин	Кофеин
D-галактопираноза	1,1,2,2-тетрахлорэтан	Ксилитол
Диметилфталат	4-хлоранилин	Рибитол
Октадеканол	9-гексадецен-1-ол	Стигмастерол
Циклотетрадекан	Метиловый эфир 3-гидроксимасляной кислоты	Кампестерол

жения Москвы. Расчет проводился в компьютерной программе GUSAR [Lagunin et al., 2011], где рассчитывались концентрации для мышей и крыс в зависимости от метода введения соединения в организм.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ

Анализ токсичности индивидуальных углеводородов (ИУВ) нефти показал, что использование интегральных показателей токсичности нефти (ПДК) важно дополнить видами токсичности ИУВ, особенно при отсутствии ПДК для анализируемых ИУВ. Поэтому для некоторых нефтегенных углеводородов была определена их БА (результаты прогнозного расчета приведены в таблице 1).

Для органических соединений, обнаруженных в водных объектах – источниках питьевого водоснабжения Москвы, был проведен прогноз токсичности, который позволил ранжировать соединения по степени опасности. В таблице 2 приведены некоторые соединения, проявляющие определенный вид токсичности.

Среди всех обнаруженных соединений удалось выявить 47 лекарственных вещества и 38 их метаболитов, а также дать расчетный прогноз их возможных побочных действий на человека и некоторые виды гидробиоты. Диапазон концентраций выявленных лекарственных веществ в водных пробах от 2 нг/л до 0,32 мг/л.

Информационные технологии были применены для оценки биологической активности опасных органических соединений, загрязняющих Балтийское море и входящих в список ХЕЛКОМ (Хельсинская комиссия – руководящий орган Хельсинской конвенции, основной задачей которой является сохранение Балтийского моря от источников антропогенного загрязнения). Для этих веществ были выявлены ранее неизвестные активности, а расчетные значения LD_{50} во многих случаях оказались сопоставимы с экспериментальными, представленными в базах данных. Особое внимание было уделено тем ситуациям, когда в различных базах данных, содержащих экспериментальные сведения о токсичности, отсутствуют существенные виды токсичности, прогнозируемые расчетными методами, например, канцерогенность. Таких соединений из списка ХЕЛКОМ оказалось 17 и, очевидно, что результаты такого прогноза приводит к необходимости дополнительных экспериментальных исследований и уточнения степени опасности этих веществ в списке ХЕЛКОМ [Safonova et al., 2014].

Программа расчета LD_{50} была применена для хлорорганических соединений, образующихся после дезинфекции сточных вод на примере веществ, обнаруженных при анализе сточных вод ГОСК МУП “Уфаводоканал”, а также в воде и донных отложениях р. Белой. По этой величине для каждого химического класса вещества ранжировались по их опасности (наиболее опасны вещества с минимальными прогнозными значениями LD50). Прогноз биологической (токсической) активности хлорорганических соединений хорошо отражает их реальные активности и представляет более расширенный список активностей, чем это дают экспериментальные исследования, скорее всего по причинам ограниченности видов токсичности, устанавливаемых в эксперименте. В тоже время было показано, что программа прогноза LD_{50} плохо чувствует увеличение количества атомов хлора в молекуле, начиная

с 3-х атомов, и не всегда реагирует на изменение положения атома хлора в циклических, в т.ч. ароматических группах таких соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что информационные технологии, включая расчетные методы прогноза биологической активности можно использовать для установления новых качественных или количественных данных о видах этой активности и концентрационных порогах определенных токсических эффектов и, в целом, для предварительной оценки токсичности соединений. Суммируя оригинальные результаты и литературные данные, можно говорить о появление нового направления гидрохимии и водной токсикологии – гидрохемоинформатики.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00672).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баренбойм Г.М., Чиганова М.А. Загрязнение природных вод лекарствами. – М.: Наука, 2015. – 283 с.

Филимонов Д.А., Поройков В.В. Прогноз спектров биологической активности органических соединений // Российский химический журнал, 2006. – Т. 50. – №2. – С. 66–75.

Filimonov D.A., Poroikov V.V. Probabilistic approach in activity prediction // Chemoinformatics Approaches to Virtual Screening. Cambridge (UK): RSC Publishing, 2008. – P. 182–216.

Lagunin A., Zakharov A., Filimonov D., Poroikov V. QSAR Modelling of Rat Acute Toxicity on the Basis of PASS Prediction // Molecular informatics, 2011. – №30. – P. 241–250.

Safonova A., Chiganova M., Barenboim G. Application of information technologies for xenobiotic contamination of water bodies hazard assessment // Abstract book of 20th EuroQSAR "Understanding Chemical-Biological Interactions" symposium, St-Petersburg, 2014. – P. 190

USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES TO ASSESS THE HAZARD OF ORGANIC XENOBIOTICS, WHICH CONTAMINATE WATER BODIES

Barenboim G.M., Chiganova M.A.

Institute of Water Problems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, mblshok@mail.ru

ABSTRACT

The ability to use information technology in the risk assessment of organic xenobiotics considered. In the particular examples it is shown that the current level cheminformatics and bioinformatics makes good use of the variety of international and national databases on the toxicity of the substances, as well as computer forecasting methods for determining species and dose characteristics of toxic organic compounds.

О СВЯЗИ РЕЧНОГО СТОКА И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ

Бреховских В.Ф.[1], Волкова З.В.[1], Островская Е.В.[2]

[1] Институт водных проблем РАН, Москва

[2] Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань

Рассмотрена связь объемов стока Нижней Волги с гидрохимическими показателями в вершине дельты Волги в период 1978–2013 гг. Выявлены заметные различия концентраций Cu, Zn, НУ, фенолов, $БПК_5$ в многоводные и маловодные годы.

Выявление зависимости качества воды в реках от их стоковых характеристик является важной задачей, поскольку это имеет прямое отношение к получению прогнозных оценок. При этом нужно исходить из наличия точечных (контролируемых) и рассредоточенных (неконтролируемых) источников, из которых в реку поступают загрязняющие вещества (ЗВ).

Поступление ЗВ от точечных источников мало изменяется от года к году и оценивается достаточно точно. Тогда из общих соображений можно предположить, что в маловодные годы при малых расходах концентрации ЗВ в воде должны повышаться. Однако при учете рассредоточенных источников загрязнения, действующих на водосборе, картина существенно усложняется. Эти источники характеризуются неравномерным распределением ЗВ по площади водосбора, нерегулярностью воздействия на водный объект, тесной связью с метеорологической ситуацией и другими особенностями.

Таблица 1. Характеристики изменчивости стока воды и гидрохимических показателей в створе Верхнее Лебяжье в период 1978–2013 гг. для условий разной водности

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ОБЪЕМ СТОКА, $км^3$/год	МЕДЬ, мкг/л	ЦИНК, мкг/л	НУ, мг/л	$БПК_5$, $мО_2$/л	ФЕНОЛЫ, мкг/л
Многоводные годы						
Среднее	296	8,2	33,9	0,22	3,5	3,6
Класс качества вод		4а	4б	5а	4а	**4б**
Минимум	254	1,8	8	0,03	2,2	2,0
Класс качества вод		3б	3б	4а	4а	**4б**
Максимум	340	15,2	74,8	0,57	5,1	6,0
Класс качества вод		4б	4б	5б	4б	**4б**
Станд. отклонение	22,6	4,1	18,7	0,18	0,8	1,3
Коэфф. вариации	0,08	0,5	0,6	0,8	0,2	0,4
Маловодные годы						
Среднее	217	6,0	17,4	0,21	3,3	2,6
Класс качества вод		4а	4а	5а	4а	**4б**
Станд. отклонение	18,9	3,0	13,9	0,22	0,6	1,4
Минимум	178	2,7	3,8	0,02	2,5	1,0
Класс качества вод		3б	3а	4а	4а	**4б**
Максимум	248	13,6	54,6	0,83	4,4	5,0
Класс качества вод		4б	4б	5б	4б	**4б**
Коэфф. вариации	0,09	0,5	0,8	1,0	0,2	0,5
Станд. отклонение	18,9	3,0	13,9	0,22	0,6	1,4
Отнош. коэфф. вариации многовод./маловодн.	0,89	1,0	0,75	0,8	1,0	0,8
Отнош. концентр. многовод./маловод.		1,37	1,95	1,05	1,06	1,38

Таблица 2. Величины превышений значений ПДК для концентраций элементов в воде Нижней Волги (1978–2013 гг.) по кривым обеспеченности (в числителе многоводные годы, в знаменателе – маловодные)

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА	ПДК	10%	25%	50%	75%	90%	ЧИСЛО СЛУЧАЕВ ПРЕВЫШЕНИЯ ПДК, %
Zn, мкг/л	10	64,5 / 42,5	47 / 25,5	31,5 / 12,5	19 / 5,8	10 / 5,5	90/58
Cu, мкг/л	1	14,7 / 11,6	11,2 / 7,9	7,8 / 5,0	5,0 / 3,5	2,7 / 3,4	100/100
НУ, мг/л	0,05	0,53 / 0,62	0,34 / 0,32	0,18 / 0,11	0,07 / 0,02	0,02 / 0,09	80/60
Фенолы, мкг/л	1	5,7 / 4,9	4,5 / 3,6	3,4 / 2,4	2,5 / 1,5	1,8 / 0,9	100/89
$БПК_5$, мгO_2/л	3,0	4,65 / 4,25	4,0 / 3,7	3,4 / 3,2	2,85 / 2,8	2,4 / 2,6	69/64

Рассмотрим влияние водности года на концентрации и колебания гидрохимических показателей для вершины дельты Волги (створ В.Лебяжье). Этот створ является замыкающим для русловой части реки, и, в конечном итоге, он определяет потоки ЗВ, поступающие в Северный Каспий. Для анализа были использованы данные наблюдений Росгидромета за величинами стока р. Волги и концентрациями приоритетных ЗВ (Cu, Zn, НУ, фенолы, $БПК_5$) в воде за период 1978–2013 гг. Средний годовой объем стока за указанный период в данном створе с учетом ошибки составляет 256 ± 6,4 км^3. Среднее значение объема стока для многоводных лет составляет 296 ± 5 км^3, а для маловодных лет 217 ± 5,2 км^3. Для средних по водности лет объем стока составляет 261 ± 6 км^3. С учетом изменчивости стока, годовые объемы стока менее 245 км^3 были отнесены к маловодным условиям, а с объемом стока выше 275 км^3 – к многоводным. Промежуточные значения объема стока – к средним по водности условиям.

Согласно полученным данным, концентрации гидрохимических показателей заметно различаются в многоводные и маловодные годы. Так, концентрации Cu имели более высокие значения в многоводные годы и составляли (8,2 ± 4,1 мкг/л), а в маловодные – (6,0 ± 3,0). Концентрации Zn вели себя аналогично концентрациям Cu, в многоводные годы они составляют (33,9 ± 18,7мкг/л), а в маловодные (17,4 ± 13,9). Концентрации нефтяных углеводородов (НУ) были равны, соответственно, 0,22 ± 0,18 (многоводные годы) и 0,21 ± 0,22 (маловодные годы). Концентрации $БПК_5$: 3,5 ± 0,8 и 3,3 ± 0,6; фенолов 3,6 ± 1,3 и 2,6 ± 1,4 мкг/л, соответственно.

Отношение концентраций за многоводные / маловодные годы для Zn равно 1,95, для Cu – 1,37, и фенолов – 1,38. Более низкие величины этого отношения характерны для $БПК_5$ – 1,06 и НУ – 1,05 (табл. 1). Таким образом, для одних элементов различия в концентрациях за многоводные и маловодные годы велико (Zn, Cu, фенолы), для других – (НУ, $БПК_5$) оно существенно ниже.

Различия в характеристиках для многоводных и маловодных лет проявляются не только в средних значениях, но и в характеристиках изменчивости для этих периодов. Так, значения отношения коэффициентов вариации меняется для рассматриваемых характеристик от 0,75 (Zn) до 1,0 (Cu, $БПК_5$). Для величин объема стока оно равно 0,89. Рассматриваемое отношение для стандартных отклонений меняется в диапазоне от 0,8 (НУ) до 1,4 (Cu). Это свидетельствует о неоднородности колебаний разных элементов в многоводных и маловодных условиях.

Оценки класса качества вод с использованием Комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши [Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др.1993], приведенные в табл.1, показывают, что классы качества вод для многоводных и маловодных лет существенно не различаются (за исключением цинка). Однако при рассмотрении максимальных и минимальных значений концентраций и соответствующих им классов качества вод различия проявляются более четко как в многоводные, так и в маловодные годы. Класс качества вод в зависимости от водности меняется по отдельным элементам от разряда “достаточно чистой” (2а) до “весьма грязной”(5б). Основными компонентами, определяющими высокий уровень загрязненности вод на Нижней Волге, являются нефтяные углеводороды и фенолы.

Для рассматриваемых приоритетных загрязняющих веществ (Zn,Cu,НУ, фенолы, $БПК_5$) было определено число случаев превышения ПДК в многоводные и маловодные годы с использованием кривых обеспеченности характеристик (таблица 2).

Наиболее значительные различия в числе случаев превышения ПДК между многоводными и ма-

ловодными годами характерны для цинка (1,6 раза), НУ (1,3), фенолов (1,1), $БПК_5$ (1,1). Для меди превышение ПДК характерно для всех значений концентраций, как в многоводные, так и в маловодные годы. Таким образом, данные свидетельствуют о том, что процесс формирования качества вод связан с условиями водности. В многоводные годы роль поступления ЗВ с бассейна усиливается. При достаточно стабильном поступлении сбросных вод от точечных источников в разные годы, ожидаемый рост содержания ЗВ в воде в маловодные периоды, из-за снижения разбавления, не играет столь существенной роли, какую выполняет поступление ЗВ от неконтролируемых источников.

Исследование влияния водности на гидрохимические показатели (Cu, Zn, НУ, фенолы, $БПК_5$) в период 1978–2013 гг. в створе В. Лебяжье показало, что это воздействие проявляется в различной степени для рассмотренных элементов. Наиболее заметные различия концентраций между многоводными и маловодными годами отмечаются для Zn, фенолов и Cu, для НУ и $БПК_5$ различия невелики.

Среднемноголетние величины концентраций Cu, Zn, НУ в рассматриваемые периоды превышают величины рыбохозяйственных ПДК для Cu в 7,2 (маловодные годы) и в 8,5 раз (многоводные годы); для Zn в 2,3 и 3,3 раза; для НУ в 3 и 4 раза, соответственно.

Существенную роль в формировании концентраций веществ в воде Нижней Волги играют процессы на водосборе, в частности, связанные с рассредоточенными источниками. Роль локальной неоднородности площади бассейна в формировании стока и качества вод достаточно велика и именно она формирует особенности зависимости различных характеристик качества вод от водности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал, 1993. – т.29. – №4. – С. 62-76.

ABOUT RELATION OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE LOWER VOLGA RIVER WITH RIVER RUNOFF

Brekhovskikh V.F.[1], Volkova Z.V.[1], Ostrovskaya E.V.[2]

[1] *WaterProblems Institute RAS, Moscow, Russia, vadim@aqua.laser.ru, volkova@aqua.laser.ru*

[2] *Caspian sea science-research center, Astrakhan, Russia, eostrovskaya@mail.ru*

ABSTRACT

Annual hydrochemical characteristics interrelation with the stream flow at the river delta top was being analyzed for the period 1978–2013. The evident difference in concentrations of copper, zinc, oil hydrocarbons, phenols and BOD_5 has been revealed for years with low water and with abundance of water.

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ КАМЫ

Веницианов Е.В.[1], Губернаторова Т.Н.[1], Лепихин А.П.[2], Мирошниченко С.А.[2]

[1] Институт водных проблем Российской академии наук, Москва

[2] Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, Пермь

eugeny.venitsianov@gmail.com

Предложена новая методология установления региональных показателей качества воды водных объектов бассейна Верхней Камы, являющейся приемником сточных вод одного из крупных промышленных комплексов бассейна р. Камы – Соликамско-Березниковского промузла. Подход учитывает факторы, определяющие содержание тяжелых металлов (ТМ) в природных водах и пространственно-временную изменчивость их содержания в водных объектах бассейна Верхней Камы. Разработанный метод реализован при построении региональных показателей качества воды бассейна Верхней Камы.

Природные водные экосистемы, расположенные в различных географических зонах нашей страны, характеризуются широким диапазоном изменения гидрохимических показателей качества воды. Не исключены случаи, когда естественное содержание химических соединений может существенно отличаться от единых общефедеральных нормативов качества воды (ПДКрх), которые используются при регламентации техногенных нагрузок на поверхностные водные объекты. Каждый бассейн характеризуется огромным количеством факторов, определяющих специфику формирования состава вод. Однако, оценка качества воды водного объекта, базирующаяся на достаточно жестких общефедеральных нормативах ПДКрх полностью игнорирует не только своеобразие и уникальность водосборов, но и природное разнообразие поверхностных вод. Требование достижения ПДКрх без учета особенностей конкретных водных объектов противоречит принципу обеспечения устойчивости экосистем и накладывает на водопользователей практически невыполнимые требования при отведении сточных вод.

В связи с этим в настоящее время остро встал вопрос практической реализации заложенных в Федеральном законе “Об охране окружающей среды” и в Водном кодексе положения об использовании региональных нормативов качества воды для отдельных водных объектов при регулировании водоотведения сточных вод, их разработки и установления.

Решение проблемы построения региональных показателей качества воды водных объектов в виде детерминированных (“точечных”) показателей тесно связано с оценкой ассимилирующей способности водного объекта, а также с определением их “фоновой” естественной концентрации. В отличие от общефедеральных $ПДК_{рх}$, региональные показатели качества воды ($ПДК_{рег}$) необходимо разрабатывать на основе статистики естественного фонового содержания загрязняющих веществ в воде на основе анализа многолетних рядов наблюдений с учетом устойчивого функционирования естественных или сложившихся экологических систем и биологического разнообразия.

На основе длительных рядов наблюдений (однородная частная выборка 1998–2013 гг.) в бассейне Верхней Камы была проведена статистическая обработка результатов наблюдений за содержанием в воде железа (общего), меди, цинка и марганца. Перечисленные ТМ являются типичными компонентами водных объектов данного региона и относятся к загрязняющим веществам двойного генезиса (естественного и техногенного). Их содержание в водных объектах характеризуется существенной пространственно-временной неоднородностью и определяется особенностями взаимодействия поверхностного стока с подстилающей поверхностью на водосборе.

Результаты расчета средних значений за десятилетний период наблюдений показали их значительную изменчивость. Следует подчеркнуть, что изменение природного фона на р. Каме не является исключением. Важно периодически (например, раз в десятилетие) проводить корректировку фоновых показателей, используя изложенную ниже методологию.

Кривые обеспеченности концентраций в воде железа (общего) приведены на рисунке 1. Наиболее высокое содержание в воде железа (обще-

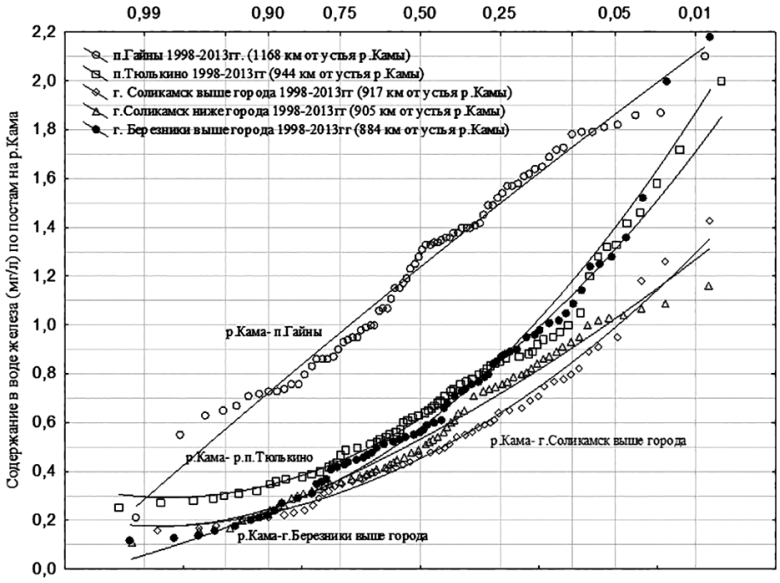


Рис. 1. Кривые обеспеченности изменения содержания в воде железа (общего) по длине р. Камы за 1998–2013 гг.

го) отмечается на посту, который расположен вне зоны техногенного загрязнения, с минимальной антропогенной нагрузкой р. Кама – пос. Гайны. Концентрация в воде железа здесь изменяется в интервале от 1,0 до 1,4 мг/л и может достигать в отдельные периоды 2 мг/л, что соответствует 20 $ПДК_{рх}$. На посту р. Кама – пос. Тюлькино, где также нет интенсивного техногенеза, содержание в воде железа превосходит содержание железа в воде р. Камы после крупных промышленных центров Западного Урала – городов Соликамска и Березники. Практически все пробы по содержанию в воде железа превышают нормативное значение ($ПДК_{рх}$ – 0,1 мг/л). Подобная ситуация характерна и для содержания в воде марганца. Концентрация в воде марганца на посту р. Кама – пос. Тюлькино отмечается в пределах от 0,02 до 0,08 мг/л, что соответствует 2 и 8 $ПДК_{рх}$ (0,01 мг/л). Количество нестандартных проб с высоким содержанием марганца в воде превышает 90%. По содержанию в воде цинка только 10–15% проб превышают норматив $ПДК_{рх}$ (0,01 мг/л).

В каждом водном объекте концентрации любого компонента являются случайной величиной, которая имеет такие характеристики, как среднее и стандартное отклонение. Для сохранения экологического благополучия водного объекта допустимы те изменения гидрохимических показателей качества воды под воздействием техногенных факторов, которые статистически значимо не отличаются от показателей в естественных условиях, т. е. не отличаются от “естественного фона”. Поэтому методология регламентации нормативов качества воды на основе региональных показателей должна основываться на сравнении статистик в естественных и антропогенно-нагруженных состояниях, имея в виду функции распределения показателей качества воды в естественном состоянии и в условиях техногенных нагрузок.

При оперировании точечными показателями, чтобы уйти от особенностей распределения отдельных показателей химического состава воды водных объектов, необходимо за основу принять квантили определенного порядка с учетом погрешностей их оценки, то есть:

$$C_{ф} = C_p \pm E_{p1}^{(N)}, \qquad (1)$$

где $C_{ф}$ – расчетная фоновая концентрация, C_p – квантиль уровня (обеспеченности) p, $E_{p1}^{(N)}$ – средняя погрешность оценки квантили C_p с обеспеченностью p_1 и при объеме выборки N.

В общем случае региональный норматив i-го показателя качества воды определяется следующим образом:

$$C_{нpi} = f(C_{pi}, \delta_i, N), \qquad (2)$$

где C_{pi} – квантиль порядка p для i-го показателя, δ_i – среднеквадратичное отклонение, N – объем выборки. Согласно принципу экологического императива, т.е. приоритету экологических требований, санитарного максимализма все неопределенности и неоднозначности трактуются в сторону снижения показателя, поэтому доверительный интервал в оценке $C_{нpi}$ должен быть ужесточен на

Таблица 1. Региональные показатели качества воды

ПОКАЗАТЕЛЬ	ПДК$_{рх}$	РАСЧЕТНЫЕ ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ($C_{фон\ расч.}$) ПО МЕТОДИКЕ НДВ	ПДК$_{рег.}$ ПО ФОНУ ПО СООТНОШЕНИЮ (3) ($C_{пдк\ по\ фону}$)	УСТАНОВЛЕННЫЙ НОРМАТИВ ПО МЕТОДИКЕ НДВ ДЛЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО УЧАСТКА 10.01.01.002 (Р. КАМА ОТ С. БОНДЮГ ДО Г. БЕРЕЗНИКИ) ПОДУЧАСТОК №2	КВАНТИЛЬ, C_{75}
Железо (общее)	0,10	0,75	0,77	0,75	0,8500
Медь	0,001	0,002	0,002	0,002	0,0020
Цинк	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0050
Марганец	0,01	0,10	0,09	0,01	0,1000

величину доверительного интервала, определяющейся характером функции распределения для *i*-го показателя. Величина доверительной вероятности p_1 для расчета доверительного интервала принимается такой же, как при расчете фоновой концентрации [РД 52.24.622-2001]. При решении практических задач установления региональных нормативов $C_{нpi}$ целесообразно использовать квантиль порядка p = 0,75, а в качестве доверительного интервала его нижней границы принимать обеспеченность p_1 = 0,95. Квантиль порядка 0,75 используется в качестве целевого показателя при разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), а граница с обеспеченностью 0,95 используются в действующих методических указаниях по расчету фоновых концентраций [РД 52.24.622-2001]. Научное обоснование выбора уровня обеспеченности содержится в работах [Беляев, 2007; Беляев и др., 2009; Рисник и др., 2013].

Таким образом:

$$C_{нpi} = C_{0,75} - \frac{Z_{0,75}^{0,95}(\sigma_i)}{\sqrt{N}}$$
$$C_{ф} = C_{0,5} - \frac{Z_{0,5}^{0,95}(\sigma_i)}{\sqrt{N}} \qquad (3)$$

где $\frac{Z_p^{pi}(\sigma_i)}{\sqrt{N}}$ – доверительный интервал с обеспеченностью p_1 для квантили порядка p при объеме выборки N, σ_i – стандартное отклонение.

Как показали исследования [Лепихин 2002; Лепихин 2012], распределение гидрохимических показателей качества воды, за исключением кислорода, кремния, как правило, существенно отклоняется от нормального. Для распределения с характерной асимметрией $C_S \sim 2C_V$, $C_S \sim 3C_V$ среднеквадратичная оценка квантилей порядка 0,75 составит $\sim 1.2 \div 1.3\sigma$. Учитывая, что квантиль стандартизованного нормального распределения порядка 0,95 равна Z_p = 1,64 и, подставляя это значение в (2), имеем:

$$C_{нpi} = C_{0,75} - \frac{2,15\sigma}{\sqrt{N}} . \qquad (4)$$

Данная оценка для расчета региональных фоновых концентраций является значительно более корректной по сравнению с оценками, предлагаемыми в методике расчета НДВ [Методические указания …, 2007], базирующаяся полностью на методике расчёта фоновых концентраций [РД 52.24.622-2001], когда в качестве нормативной оценки предлагается верхний доверительный интервал среднего значения.

Для основных водотоков бассейна Верхней Камы в соответствии с описанной методикой были рассчитаны ПДК$_{рег.}$ В качестве примера, в таблице 1 приведены полученные результаты для створа р. Кама – пос. Тюлькино. В таблице для сравнения даны расчетные фоновые концентрации ПДК$_{рег.}$, полученные по методике НДВ [Методические указания …, 2007] и по соотношению (4). Эти значения весьма близки. Принципиальное их различие заключается в том, что значения ПДК, полученные по методике НДВ, с уменьшением объема выборки возрастают, а по соотношению (4) снижаются, что методически представляется значительно более обоснованным.

Для предприятий-водопользователей, расположенных на территории Соликамско-Березниковского промузла и осуществляющих отведение своих сточных вод в Каму (Камское водохранилище), основными нормативами должны быть показатели, разработанные для створа р. Кама – пос. Тюлькино. На участке пос. Тюлькино – г. Березники р. Кама (Камское водохранилище) не принимает каких-либо крупных притоков, в самом водотоке внутриводоёмные процессы, способные существенно, статистически значимо изменить содержание

ТМ в рассматриваемых водотоках, не установлены, поэтому данные нормативы должны быть едиными для всего Соликамско-Березниковского промузла без каких-либо разделений на подучастки.

Таким образом, создание эффективной системы регламентации веществ двойного генезиса (естественного и техногенного) невозможно без учета природно-климатических особенностей водосборов конкретных водных объектов. Так как содержание тяжелых металлов характеризуется существенной пространственно-временной неоднородностью, часто их содержание оказывается значительно выше принятых для них общефедеральных нормативов ($ПДК_{рх}$). Изменение состояния подстилающей поверхности, как правило, находит отражение в динамике химических показателей качества воды. Учет этих факторов также необходим при построении системы регламентирования с учетом региональных особенностей водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беляев С.Д. Использование целевых показателей качества воды при планировании водоохраной деятельности // Водное хозяйство России, 2007. – №3. – С. 3–17.

Беляев С.Д., Могиленских А.К., Одинцева Г.Я. Целевые показатели качества воды Камского бассейна // Водное хозяйство России, 2009. – №5. – С. 35–48.

Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Особенности задания "фоновой" концентрации в естественных водотоках // Водное хозяйство России, 2002. – №3. – С. 247–262.

Лепихин А.П., Возняк А.А. Статистические функции распределения гидрохимических показателей качество воды // Водное хозяйство России, 2012. – №4. – С.21–32.

Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утверждена приказом Министерством природных ресурсов России от 17.12.2007 №333 (зарегистрирована в Минюсте России от 21.02.2008 №11198).

Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утверждена приказом Министерством природных ресурсов России от 12.12.2007 №328 (зарегистрирована в Минюсте России от 23.01.2008 №10974).

РД 52.24.622-2001 Методическое указание "Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков".

Рисник Д.В., Беляев С.Д., Булгаков Н.Г. Левич А.П., Максимов В.Н. Мамихин С.В., Милько Е.С. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Методы, альтернативные существующей системе нормирования в Российской Федерации // Успехи современной биологии, 2013. – Т. 133. – С. 3–18.

DEVELOPMENT AND SUBSTANTIATION OF REGIONAL WATER-QUALITY STANDARDS OF WATER BODIES UPPER KAMA BASIN

Venitsianov E.V.[1], Gubernatorova T.N.[1], Lepikhin A.P.[2], Miroshnichenko S.A.[2]

[1] *Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, eugeny.venitsianov@gmail.com*

[2] *Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia*

ABSTRACT

The paper presents a new methodology for establishing regional water quality standards Water Objects Upper Kama. Water bodies of the Basin Upper Kama are receiver wastewater one of the largest industrial complexes of the Kama basin – Solikamsk-Berezniki industrial hub. The approach takes into account factors that determine the content of heavy metals in natural waters and the spatio-temporal variability of their content in the water bodies of the Upper Kama basin. The developed approach is implemented in the construction of regional water quality standards of the Upper Kama basin.

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ГОРНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА (НА ПРИМЕРЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

Дреева Ф.Р., Реутова Т.В., Реутова Н.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
Центр географических исследований, Нальчик
f.dreeva@mail.ru

Приводятся результаты исследований содержания тяжелых металлов (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Ag, Mo) в водах рек и озер горной части Центрального Кавказа в летний период. Отмечена тенденция к снижению концентраций некоторых металлов по течению в речных водах. Содержание тяжелых металлов в озерах различного генезиса значительно различается.

Исследование содержания тяжелых металлов (ТМ), являющихся приоритетными загрязняющими веществами, в природных водах горных территорий приобретает все большее значение вследствие их рекреационного освоения и активного хозяйственного использования. В связи с этим объектами исследования были выбраны три горные реки, в их верхнем и среднем течении, и их притоки, а также три озера различного генезиса, находящиеся в разных природных условиях.

Реки Малка, Баксан и Чегем берут начало от ледников в осевой части Центрального Кавказа, причем Баксан и Малка стекают с южного и северного склона Эльбрусского узла оледенения. Чегем протекает восточнее и берет начало от ледников Башильско-Лекзырского узла оледенения, приблизительно равного по площади Эльбрусскому (около 120 км^2) [Ефремов, 2007]. Подстилающие породы в исследуемом районе значительно отличаются и обуславливают различия в составе природных вод. Верхние пункты отбора проб определялись в зависимости от доступности (3–9 км от истока), нижние приходились на 70–80-ые километры и соответствовали низкогорной зоне. Исключение составила р. Баксан. В качестве замыкающего створа выбран 35-й км от истока, так как ниже располагается хвостохранилище Тырныаузского горно-обогатительного комбината (ТГОК). В наиболее освоенном районе Приэльбрусье дополнительно были отобраны пробы из потоков талых вод, текущих по леднику, на высоте 4500 и 4000 м, а также из подледниковых ручьев, протекающих по грунту, на высоте около 3500 м.

Исследуемые озера отличаются по типу питания и происхождению. Озеро Донгуз-Орункель является наиболее крупным природным озером в республике и относится к озерам моренного типа. Располагается в межгорной котловине в зоне значительного увлажнения (более 800 мм/год). Питается талыми водами с узла оледенения Донгуз-Орун – Накра и ледника Медвежий, а сток озера образует р. Донгуз-Орунбаксан (рис. 1). Нижнее Голубое озеро расположено на правобережной террасе р. Черек Балкарский в зоне куэст Скалистого хребта. По происхождению относится к карстовым и питается подземными водами, богатыми сероводородом. Сток озера образует безымянную реку с расходом воды около 70 млн л/сут. Климат умеренно влажный со среднегодовым количеством осадков 500–600 мм. Последним объектом было выбрано озеро техногенного происхождения, образованное в результате создания хвостохранилища ТГОК в долине р. Гижгит. Находится в зоне северо-юрской депрессии, для которой характерен засушливый микроклимат (менее 350 мм/год). Питание озера природное (грунтовые

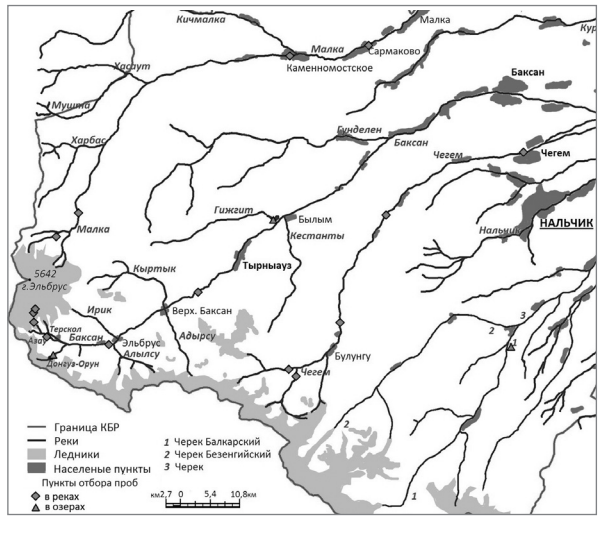


Рис. 1. Карта-схема пунктов отбора проб в основных руслах ледниковых рек и озерах

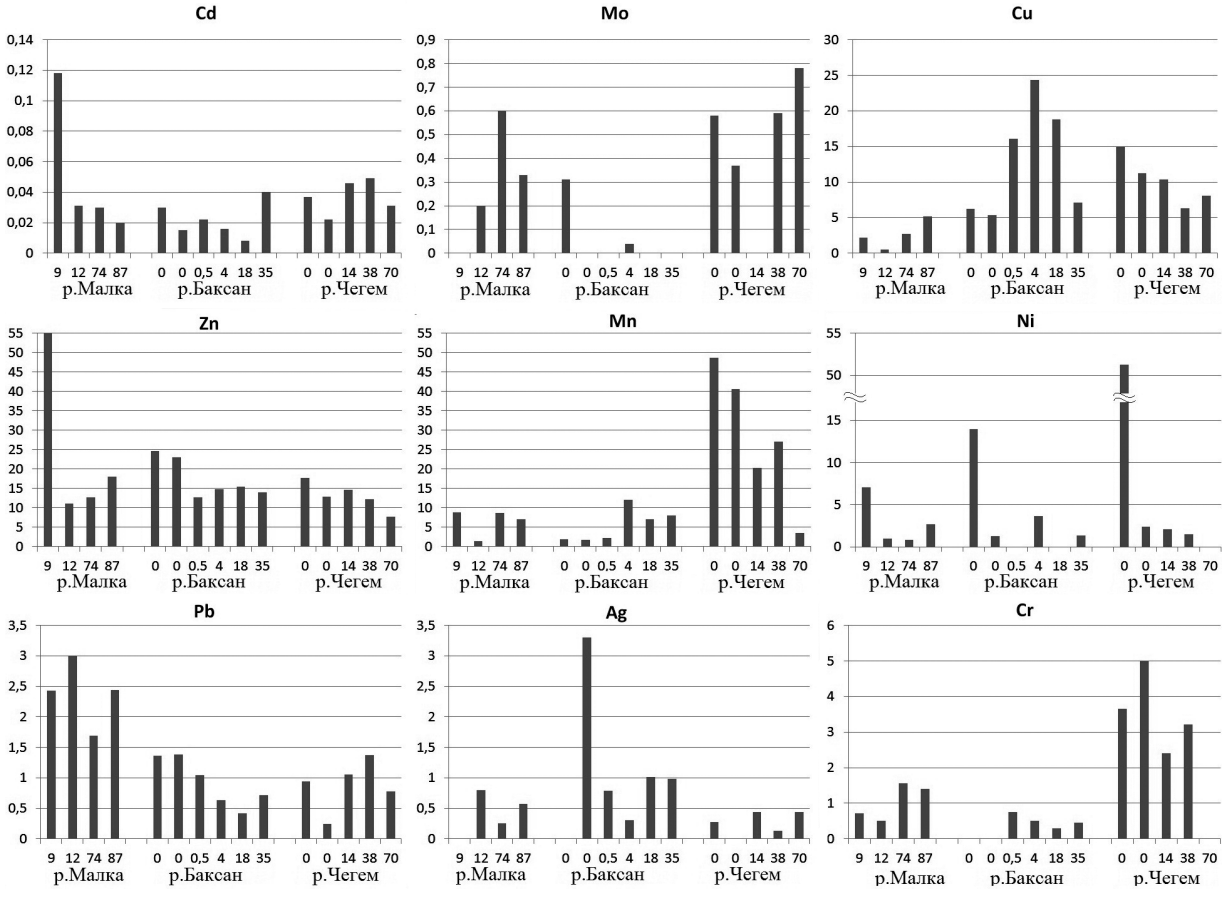


Рис. 2. Содержание ТМ в водах рек Малка, Баксан и Чегем

воды и атмосферные осадки), однако ранее в хвостохранилище регулярно поступали отходы производства ТГОК. Поверхностного стока у озера нет, отмечается незначительное просачивание грунтовых вод через тело хвостохранилища. Озеро постепенно пересыхает, открывая площадки с пульпой. В настоящее время рекультивация хвостохранилища завершена [Дреева, 2015].

Отбор проб проводился в 2013–2014 гг. в летний период во время максимального таяния ледников и выпадения осадков. Пункты отбора проб отмечены на рисунке 1. В пробах определялось содержание растворенных форм Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Ag, Mo. Измерение концентраций ТМ проводилось с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией "МГА-915" в соответствии с аттестованной методикой [Методика…, 2009].

Исследования выявили ряд отличий в речных системах соседних ущелий. В р. Малка отмечено превышение $ПДК_{рх}$ по Zn (5,5 ПДК) и Cu (5 ПДК), в р. Баксан – Mn (1,2 ПДК), Zn (2,5 ПДК), Cu (5–25 ПДК) и Ni (1,4 ПДК), а в р. Чегем – Mn (5 ПДК), Zn (17 ПДК), Cu (6–15 ПДК), Ni (> 5 ПДК). Относительно повышено в р. Малка содержание Cd и Pb, в р. Баксан – Ag, и в р. Чегем – Cd, Mo и Cr, хоть и не превышало ПДК (рис. 2). Для большинства металлов отмечено уменьшение содержания ТМ от истока к выходу на равнину. Кроме того, было замечено, что реки ледникового происхождения содержат тяжелые металлы в более высоких концентрациях [Реутова и др., 2014].

Таблица 1. Содержание некоторых тяжелых металлов в исследуемых пробах (мкг/л).

МЕСТО ОТБОРА	Mn	Ag	Pb	Cr	Ni	Cd	Mo
оз. Донгуз-Орункель	7,3	0,67	0,82	0,29	< 0,05	0,024	< 0,10
ручей с ледн. Медвежий	38,24	0,73	2,3	2,45	0,71	0,165	0,47
Нижнее Голубое оз.	< 0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,10	< 0,05	< 0,005	2,12
Хвостохранилище ТГОК	< 0,10	< 0,05	0,07	< 0,10	< 0,05	< 0,005	16,37

В озере Донгуз-Орункель наибольшие концентрации, по сравнению с другими озерами, отмечаются почти по всем определяемым элементам (табл. 1), кроме Mo, что характерно для поверхностных вод высокогорья. В ручье с ледника Медвежий отмечено превышение содержания ТМ до 10 раз по сравнению с содержанием в озере, что связано с уменьшением скорости течения и адсорбцией ТМ взвешенными веществами и донными отложениями озера. В озере отмечено наименьшее значение pH среди исследуемых объектов (pH = 6,92). В Нижнем Голубом озере ТМ содержатся в количествах ниже предела определения (ПО). Обнаружен был только Mo (2,12 мкг/л). Среда в озере слабощелочная (pH = 7,55), что связано с нахождением в зоне распространения карбонатных пород. Известно, что с глубиной содержание сероводорода повышается, и возникает геохимический барьер. Сероводород образует сульфиды ТМ, обладающие наименьшей растворимостью среди всех солей [Перельман, 1982]. Однако Mo в подобных условиях активно мигрирует, образуя вторичные минералы. Неожиданно низким оказалось содержание тяжелых металлов в пробе воды из хвостохранилища ТГОК. Выше нижнего ПО оказалось содержание только Pb и Mo. По данным исследований Высокогорного геофизического института [Реутова и др., 2005], проведенным 10 лет назад, концентрации ТМ в отстойниках значительно превышали нынешние значения (Mn 10,33–76,45; Ag 0,01–0,02; Pb 5,12; Cr 0,3–8,37; Ni 0,47–1,03; Mo 6,6–65,5). Такое снижение содержания ТМ свидетельствует о самоочищении озера, однако содержание Mo по-прежнему высоко (16,37 мкг/л). Высокие значения pH = 8,47 в озере связаны с климатическими условиями, а также попаданием в озеро извести вместе с отходами производства ТГОК.

ВЫВОДЫ

В реках содержание большинства ТМ уменьшается от истока к устью. Реки ледникового происхождения содержат ТМ в больших количествах. Содержание ТМ в озерах зависит в большей степени от гидрохимических условий, нежели от источника поступления воды и ТМ. Повышенное содержание ТМ характерно для всех поверхностных природных вод высокогорья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дреева Ф.Р. Тяжелые металлы в озерах Кабардино-Балкарии// Перспектива – 2015: материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Т. II. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2015. – С. 24– 27.

Ефремов Ю.В. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязей / Ю.В. Ефремов, В.Д. Панов, П.М. Лурье, Ю.Г. Ильчичев, С.В. Панова, Д.А. Лутков. Краснодар, 2007. – 338 с.

Методика выполнения измерений массовых концентраций Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn в природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией "МГА-915". – ПНД Ф 14.1:2.253-09. – М., 2009 г. – 36 с.

Перельман А.И. Геохимия природных вод. – М.: Наука, 1982. – 154 с.

Реутова Т.В., Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Жинжакова Л.З., Черняк М.М. О необходимости оценки подверженности рекреационных территорий техногенному влиянию на примере национального парка Приэльбрусье. //Метеоспектр, 2005. – №3. – С. 93–98.

Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Реутова Н.В. Пространственное распределение концентраций токсичных тяжелых металлов в речных водах горной зоны Кабардино-Балкарской Республики. //Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2014. – Т. 62 (№6). – С. 99–105.

DISTINCTIVE FEATURES OF THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SURFACE WATERS IN THE HIGHLANDS OF CENTRAL CAUCASUS (BY THE EXAMPLE OF THE KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC)

Dreeva F.R., Reutova T.V., Reutova N.V.

The Centre of Geographical Researches of KBSC of the Russian Academy of Science, Nalchik, Russia, f.dreeva@mail.ru

ABSTRACT

Results of a study of heavy metals content (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Ag, Mo) in the waters of rivers and lakes in the mountainous terrain of the Central Caucasus in the summer time are presented. There was a trend to lower concentrations of some metals downstream in river waters. The content of heavy metals in lakes of different genesis is significantly different, due to the difference of the hydrochemical conditions.

УГЛЕВОДЫ, ЛИПИДЫ, БЕЛКИ И МОЧЕВИНА В СОСТАВЕ АВТОХТОННОГО И АЛЛОХТОННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ

Ефремова Т.А., Зобкова М.В., Лозовик П.А., Сабылина А.В., Рыжаков А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск
efremova.nwpi@mail.ru

Установлены закономерности содержания и распределения углеводов, липидов, белков и мочевины в составе автохтонного и аллохтонного органического вещества в поверхностных водах гумидной зоны на примере водных объектов Карелии.

Углеводы, липиды, белки и мочевина являются основными компонентами органического вещества (ОВ) поверхностных вод. Изучение химического состава ОВ позволяет судить о происхождении, трансформации и запасах ОВ в экосистеме.

Исследование распределения углеводов, липидов и мочевины в составе автохтонного и аллохтонного ОВ было проведено на 25 разнотипных водных объектах Карелии в течение четырех гидрологических сезонов в 2012–2014 гг., белков – во все сезоны 2012 г. (малые озера Карелии – 9) и в 2014 г. (весна, лето, осень) – в Онежском, Ладожском озерах и р. Неве. Определение содержания липидов осуществлялось с фосфованилиновым реактивом, углеводов – с L-триптофановым [Лозовик и др., 2013], белков – с Кумасси R-250 [Руководство по современным…, 2004] и мочевины –гидролизом ее до ионов аммония в кислой среде. Оценку содержания автохтонного и аллохтонного ОВ проводили по эмпирической формуле [Лозовик и др., 2007] и адсорбцией аллохтонного ОВ на диэтиламиноэтилцеллюлозе в динамическом режиме [Лозовик, Мусатова, 2013]:

$$\rho_{авт} = 0{,}62ХПК / \sqrt{Нит} - 0{,}35, \quad (1)$$

где $\rho_{авт}$ – доля автохтонного ОВ; *ХПК* – химическое потребление кислорода; *Нит* – гумусность воды:

$$Нит = \sqrt{цветность - ПО.} \quad (2)$$

Доли аллохтонного ОВ, полученные по адсорбции, оказались близки к расчетным по эмпирической формуле, между ними наблюдается тесная корреляция (*r = 0,92):*

$$(\rho_{алл})_{эмп} = 1{,}0009(\rho_{алл})_{адс} + 0{,}0195 \quad (3)$$

где $(\rho_{алл})_{эмп}$ – доля аллохтонного ОВ, рассчитанная по эмпирической формуле; $(\rho_{алл})_{адс}$ – доля аллохтонного ОВ, полученная после адсорбции гумусовых веществ.

Установлено, что содержание растворенного автохтонного ОВ достаточно стабильно в водных объектах и составляет в среднем 3,1 ± 0,8 мгС/л (по ХПК) (рис. 1). Наименьшие значения отмечены в олиготрофных озерах (Урос, Урозеро, Вендюрское и Каменное), а также центральном плесе Онежского озера.

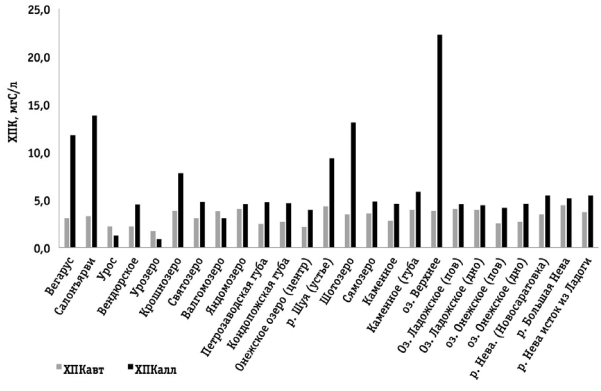


Рис. 1. Содержание растворенного автохтонного и аллохтонного ОВ в водных объектах Карелии

Малая изменчивость содержания растворенного автохтонного ОВ указывает на то, что его количество не зависит от гумусности и трофности водного объекта и связано это с тем, что все исследованные объекты находятся в одной климатической зоне и продукционно-деструкционные процессы здесь протекают на одном уровне. Однако при цветении воды в эвтрофных водоемах наблюдалось резкое увеличение содержания общего автохтонного ОВ, в первую очередь, его взвешенной формы. Так, в оз. Святозеро летом 2012 г. во время цветения воды количество общего автохтонного ОВ достигало 9,3 мгС/л, из которого 68% приходилось на взвешенную форму (6,3 мгС/л). Основное отличие водоемов связано с разным содержанием аллохтонного ОВ.

Концентрация углеводов в исследованных водоемах Карелии изменяется в широких пределах от 0,7 до 11,0 мг/л (в среднем 3,3 мг/л), липидов от 0,02 до 1,6 мг/л (в среднем 0,2 мг/л), белков – в малых озерах Карелии 0,1–0,92 (в среднем 0,32 мг/л), в Онежском, Ладожском озерах и р. Неве – 0,02–0,21 мг/л (в среднем 0,07 мг/л) и мочевины – 0,01–0,06 мг/л (в сред-

нем 0,04 мг/л). Используя разработанный нами физико-химический метод разделения ОВ на аллохтонную и автохтонную составляющие, удалось впервые установить, что углеводы в поверхностных водах представлены в трех формах: свободные в составе автохтонного ОВ, связанные – в аллохтонном ОВ и углеводы во взвеси. На долю свободных углеводов, липидов и белков в автохтонном ОВ приходится 28,0, 3,4 и 3,3%, соответственно. Связанные углеводы в составе аллохтонного ОВ составляют 7% от его содержания. Наибольшее количество связанных углеводов наблюдается в высокогумусных водоемах (27–51% от $У_{общ}$), а $У_{своб}$ – в низко- и среднегумусных (47–72%). Анализируя распределение общих углеводов в поверхностных водах в зависимости от трофности и гумусности, можно отметить следующие закономерности. Содержание общих углеводов одинаковое в олиго- и мезотрофных водоемах, а повышенное их количество наблюдается в эвтрофных водоемах. Наиболее высокие концентрации общих углеводов отмечены при цветении в них воды в эвтрофных озерах. Вторая закономерность, которая очень четко выражена в олиго- и мезотрофных водоемах, – это увеличение содержания общих углеводов с ростом гумусности воды.

Средние концентрации липидов в олиго-, мезотрофных и эвтрофных озерах оказались близким (0,33, 0,29 и 0,35 мг/л соответственно), из чего следует, что их среднегодовое содержание в различных группах приблизительно одинаковое. Более высокое среднегодовое содержание липидов в олиготрофных водоемах, чем в мезотрофных, связано с тем, что в олиготрофных олигогумусных водоемах наблюдается повышенное количество липидов в весенний период по сравнению с другими сезонами года. Это обусловлено активной вегетацией в этой группе озер, именно весной, диатомового планктона, богатого липидами (до 44% на сухую массу) [Сиренко, Козицкая, 1988].

Анализ связи содержания липидов и гумусности воды также показал отсутствие зависимости между ними. Наблюдается отрицательный тренд концентрации липидов с ростом гумусности воды. Это подтверждает, что липиды в поверхностных водах находятся преимущественно в составе автохтонного ОВ и образуются в результате протекания продукционно-деструкционных процессов.

Среднегодовое содержание растворенных белков в малых озерах Карелии в 2012 г. составляло 0,32 мг/л, а в крупных, таких как Ладожское и Онежское, озерах и р. Неве – 0,07 мг/л. Анализ связи их содержания от уровня трофии водоемов в летний период 2012 г. показал, что данная зависимость существует (олиготрофные – 0,32, мезотрофные – 0,52, эвтрофные – 0,66 мг/л). Доля белков от общего количества ОВ в малых озерах Карелии составляет 1,4, а в крупных – 0,5%. Что касается мочевины, то ее концентрация меняется от 0,01 до 0,06 мг/л (в среднем 0,04 мг/л). При этом наблюдается незначительное снижение ее содержания в зимний гидрологический сезон. Доля мочевинного азота от органического невысока и, в среднем, составляет около 10%.

Соотношение общих углеводов, липидов и белков в среднем составляет 11 : 1 : 1, а свободных углеводов и липидов, растворенных белков 6 : 1 : 1 в воде. Последнее значение является таким же, как и в большинстве живых организмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лозовик П.А., Ефремова Т.А., Сабылина А.В. Количественное определение содержания углеводов и липидов в поверхностных водах // Вестник МГОУ. Серия "Естественные науки", 2013. – №3. – С. 57–62.

Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б., Духовичева Т.А., Осипова Л.А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы, 2007. – Т.34. – №26. – С. 225–237.

Лозовик П.А., Мусатова М.В. Методика разделения органического вещества природных вод адсорбцией на диэтиламиноэтилцеллюлозе на автохтонную и аллохтонную составляющие // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки, 2013. – №3. – С. 63–68.

Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры. – М.: Издательство ВНИРО, 2004. – 123 с.

Сиренко Л.А., Козицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. – Киев: Наукова думка, 1988. – 255 с.

CARBOHYDRATES, LIPIDS, PROTEINS AND UREA IN THE AUTOCHTONOUS AND ALLOCHTHONOUS COMPOSITION OF ORGANIC MATTER IN NATURAL WATERS OF KARELIA

Efremova T. A., Zobkova M. V., Lozovik P. A., Sabylina A. V., Ryzhakov A. V.

Northern Water Problems Institute Karelian research center of RAS, Petrozavodsk, Russia

ABSTRACT

The regularities of the content and distribution of carbohydrates, lipids, proteins and urea as part of autochthonous and allochthonous organic matter humid zone of surface waters were established and illustrated by the example of water bodies in Karelia.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

Карпечко Ю.В., Лозовик П.А., Потапова И.Ю.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

karp@nwpi.krc.karelia.ru

Вследствие взаимодействия воды с частями дерева при прохождении осадков через полог леса концентрация многих элементов в них увеличивается. Существенное влияние на изменение концентрации катионов оказывает кислотность осадков. Количество поступающих на наземную поверхность веществ зависит от концентрации их в осадках, от изменения их концентрации в кронах деревьев и испарения задержанной влаги пологом леса.

Химический состав воды рек и озер зависит от геологического строения водосборов, состава горных пород верхней части земной коры, почвенных условий и растительного покрова. Важным звеном в формировании химического состава вод являются выпадающие на территорию водосборов атмосферные осадки, состав которых формируется в период образования и перемещения облаков и при выпадении.

Поступающие на лесной водосбор атмосферные осадки трансформируются растительным покровом и почвогрунтом. Преобразованию химического состава осадков древесной растительностью посвящены многие работы, в частности, [Алексеенко, 1991; Бахмет и др., 2011; Погребняк и др., 1985; Шильцова, Ласточкина, 2006]. Основной целью большинства исследований является оценка степени изменения концентрации ингредиентов в осадках после их прохождения через кроны и роли в этом процессе породного состава древостоя. Вопросу влияния таксационных характеристик древостоя на преобразование химического состава осадков внимания уделялось недостаточно, что затрудняет использование полученных результатов в других лесах, даже расположенных вблизи места исследования. В этой связи интерес может представлять анализ данных наблюдений в сосняке и ельнике южной Карелии, выполненных Институтом леса КарНЦ РАН при участии лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН [Бахмет и др., 2011]. Таксационные характеристики объектов исследований имеются в работе [Федорец и др. 2006].

Наблюдения выполнялись круглогодично в течение 2009-2012 гг. Осадки собирались как непосредственно под кронами, так и поступающие через просветы между кронами (в “окна”). Последние позволяли судить о химическом составе атмосферных осадков на верхней границе полога леса, хотя в них возможны незначительные изменения концентрации некоторых элементов. Это связано с тем, что капли с крон могли попадать под влиянием ветра в осадкосборники, установленные под “окнами”.

Химический состав атмосферных осадков зависит от сезона. Летние осадки, по сравнению с зимними, имеют более высокую концентрацию практически всех химических веществ. Эти различия сохраняются и в химическом составе осадков, просочившихся сквозь полог леса. Наиболее они ощутимы в концентрациях калия, магния и фосфора. Однако, количество нитратов в атмосферной воде в летний период меньше, чем зимой. Такое же сезонное соотношение нитратного азота в осадках отмечается и на метеорологических станциях Европейского Севера России [Федорова, Торсуев, 2011].

Изменения химического состава атмосферных осадков древесной растительностью в значительной степени объясняются смыванием с поверхности ветвей и листьев (хвои) задержанных ими веществ из атмосферного воздуха и непосредственным взаимодействием частей растения с водными растворами химических элементов, при котором возможно как увеличение концентрации в осадках, так и ее снижение. Важной задачей является установление роли каждого из этих процессов.

В преобладающем числе случаев из всех наблюденных в сосняке и ельнике концентрация большинства веществ в осадках возрастала после их прохождения через кроны (табл. 1). Изменение получено как разность между концентрациями веществ в прошедших через кроны древостоя и через “окна” осадках. Достаточно часто отмечалось только уменьшение содержания нитратов, что, по-видимому, объясняется их поглощением растениями. Уменьшение в подкроновых водах других элементов наблюдалось только в единичных случаях.

Из обширного обзора исследований, приведенного в работе [Tukey, 1970], следует, что в результате сложного взаимодействия с растениями, осад-

Таблица 1. Изменение осредненных за период наблюдений величин pH осадков и концентрации химических веществ в них после прохождения через кроны древостоя

СЕЗОН	pH	K^+ мг/л	Ca^{2+} мг/л	Mg^{2+} мг/л	SO_4^{2-} мг/л	$P_{общ.}$ мг/л	NH_4^+ мгN/л	NO_3^- мгN/л	$N_{общ}$ мгN/л	Si мг/л
Сосна										
Лето	-0,61	2,70	1,75	0,26	3,08	0,011	0,77	0	0,01	0,08
Зима	-0,09	0,05	0,12	0,02	1,30	0,0046	0,01	0,07	0,02	0,01
Год	-0,42	1,76	1,16	017	2,43	0,0081	0,51	0	0,01	0,06
Ель										
Лето	-0,17	1,67	1,89	0,28	3,48	0,302	1,48	0,04	0,38	0,09
Зима	0,05	0,81	0,44	0,03	2,37	0,130	0,03	-0,05	0,12	0,17
Год	-0,08	1,25	1,37	0,19	3,13	0,261	0,95	-0,01	0,30	0,11

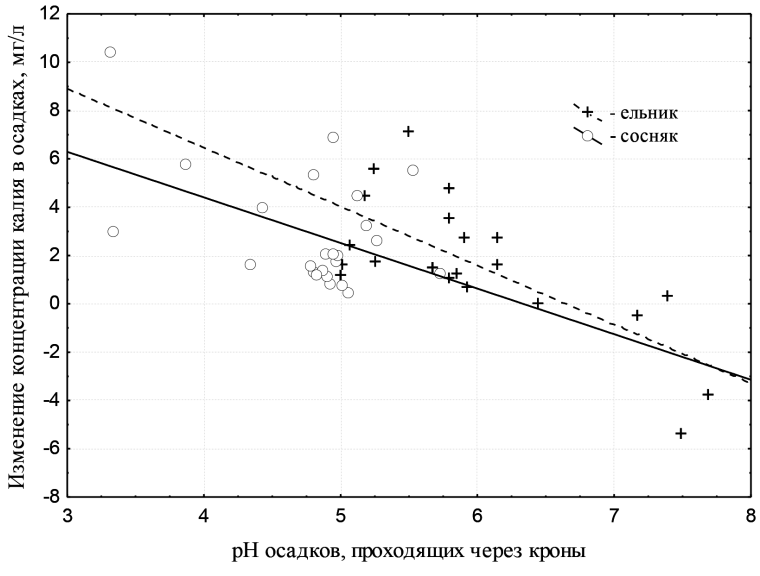


Рис. Зависимость величин изменения концентрации калия в осадках после прохождения через кроны древостоя от кислотности осадков

ки обогащаются большим набором неорганических и органических соединений. В наибольших количествах в осадки поступают калий, кальций, натрий и магний. По мнению ряда исследователей, одним из важных факторов, определяющих поступление катионов из растений в омывающую их воду, является кислотность осадков. Причем, наибольший эффект потери растениями элементов достигался в пределах pH 3,3–4,0 [Смит, 1985].

Для оценки влияния кислотности осадков на трансформацию их химического состава хвойной растительностью были рассмотрены зависимости между изменениями концентрации элементов с одной стороны и величинами pH осадков с другой стороны. Для тех веществ, для которых отмечены наибольшие по абсолютной величине изменения, получены достоверные зависимости (коэффициенты корреляции изменяются в пределах 0,5–0,7) (рис.).

Вероятно, количества вещества, поступающего в осадки или теряемого ими, зависит от числа дождевых капель, взаимодействующих с растением, поэтому величину изменения концентраций элементов в воде осадков можно рассматривать как функцию густоты кронового пространства, выражаемую через величину листового индекса. В этом случае концентрацию i-го элемента в прошедших через кроны осадках следует определять по формуле:

$$C_{Pci} = k_{Pci} \cdot LAI + C_{Pi}, \qquad (1)$$

где C_{Pci} – средневзвешенная (с учетом "окон") концентрация i-го химического вещества в воде, прошедшей через полог леса, мг/л; C_{Pi} – концентрация i-го химического вещества в воде осадков на верхней границе кронового пространства, мг/л; LAI – листовой индекс, га/га; k_{Pci} – изменение концентрации i-го химического вещества в осадках при их взаимодействии с листовой поверхностью (единицей листового индекса), (мг га)/(л га).

Расчеты по (1) дают приближенные результаты, так как увеличение концентрации элементов

Таблица 2. Изменение концентрации i-го химического вещества на единицу листового индекса

K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	$P_{общ}$	NH_4^+	NO_3^-	$N_{общ}$	Si
Сосняк								
0,35	0,23	0,03	0,49	0,002	0,10	0	0,002	0,01
Ельник								
0,19	0,21	0,03	0,48	0,040	0,14	-0,002	0,05	0,02

Таблица 3. Поступление некоторых химических веществ на верхнюю границу полога леса и на наземный покров при разных значениях листового индекса

LAI	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	$P_{общ}$	NH_4^+	NO_3^-	$N_{общ}$	Si
га/га	кг/га	кг/га	кг/га	кг/га	кг/га	кгN/га	кгN/га	кгN/га	кг/га
Сосняк									
0	10,7	7,84	1,08	17,4	0,17	1,55	2,16	4,06	0,51
2	13,6	9,64	1,36	21,2	0,17	2,56	1,90	3,59	0,56
4	16,6	11,6	1,65	25,3	0,18	3,52	1,78	3,39	0,64
6	19,5	13,4	1,92	29,2	0,19	4,39	1,69	3,24	0,71
Ельник									
0	18,1	15,28	2,84	44,14	1,11	3,85	1,96	5,68	1,35
2	17,9	15,7	2,80	43,8	1,19	4,97	1,68	5,45	1,37
4	18,7	16,9	2,92	46,0	1,32	6,16	1,55	5,58	1,46
6	19,6	18,1	3,05	48,3	1,45	7,23	1,44	5,72	1,55

в осадках, несомненно, ограничено сверху, поэтому для высокопродуктивного древостоя использование формулы может привести к завышению результатов.

Коэффициент k_{Pci} определяется при наличии наблюдений в исследуемом районе по формуле:

$$k_{Pci} = (C_{Pci} - C_{Pi}) / LAI \qquad (2)$$

При этом концентрация химических веществ в осадках, прошедших через полог леса, определяется как средневзвешенная величина с учетом сомкнутости крон. Величина листового индекса рассчитывается по методу, описанному в [Карпечко, Бондарик, 2010], с использованием имеющейся в учреждениях лесного хозяйства информации.

Для осредненных за год условий по данным наблюдений в сосняке и в ельнике южной Карелии для некоторых веществ были получены коэффициенты k_{Pci} (табл.2).

Важной величиной, наряду с концентрацией, является количество i-го химического вещества, поступающего на единицу площади. Количество вещества, поступающего на верхнюю границу кронового пространства (I_{Pi}, кг/га), определяется по формуле:

$$I_{Pi} = C_{Pi} \cdot P / 100 \qquad (3)$$

где P – атмосферные осадки, мм.

Количество вещества, поступающего на наземный покров (I_{Pci}), зависит от концентрации этого вещества в прошедших через полог леса осадках и от их испарения с полога леса (E_i):

$$I_{Pci} = C_{Pci} (P - E_i) / 100 \qquad (4)$$

Годовая величина испарения с полога леса для таежной зоны определяется как сумма из испарения осадков с крон древостоя в теплый период, испарения снега с полога леса и испарения осадков с полога леса в периоды, когда равновероятно выпадение жидких и твердых осадков. Методы расчета этих величин изложены в [Карпечко, Бондарик, 2010].

В таблице 3 представлены результаты расчета по соотношению (4) количества некоторых элементов, поступивших на земную поверхность под полог леса. Концентрация элементов в осадках определялась по (1), а ее изменение на единицу листового индекса по таблице 2. Нужно отметить, что даже с учетом ошибок в определении всех параметров, расчеты позволяют судить о соотношении поступающих под полог леса веществ и о влиянии на их величину густоты древостоя. В условиях южной Карелии больше всего на земную поверхность под полог леса поступают сульфаты, калий и кальций. Их количество заметно возрастает с увеличением густоты древостоя. Изменение других элементов в мень-

шей степени связано с густотой леса. При этом количество нитратов, достигших наземного покрова убывает с увеличением листового индекса, это относится и к общему азоту в сосняке (табл. 3).

ВЫВОДЫ

Концентрация многих химических веществ в осадках возрастает при их взаимодействии с кронами древостоя. В большей степени это относится к калию, кальцию и сульфатам. Наблюдаемое снижение концентрации некоторых веществ обусловлено, по-видимому, их поглощением растениями.

Существенное влияние на изменение концентрации катионов оказывает кислотность осадков, с возрастанием которой увеличивается их поступление из растений в осадки.

С увеличением густоты древостоя п*оступление* под полог леса сульфатов, калия и кальция возрастает, а нитратов – снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеенко В.А. Влияние полога леса на круговорот химических элементов на лесном водосборе Северо-Запада ЕТС // Водные ресурсы, 1991. – №3. – С. 57–64.

Бахмет О.Н., Федорец Н.Г., Ласточкина В.Г. Химический состав атмосферных осадков и почвенных вод Карелии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. – 34 с.

Карпечко Ю.В., Бондарик Н.Л. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. – 225 с.

Погребняк Ю.Ф., Сусленкова Р.М., Толочко В.В. Роль транспирации растений в формировании состава дождевых вод // Доклады АН СССР, 1983. – Т. 272. – №4. – С.968–970.

Смит У.Х. Лес и атмосфера. – М.: Прогресс, 1985. – 430 с.

Федорова В.А., Торсуев Н.П. Особенности выпадения и стока неорганического азота на севере Русской равнины // Журнал экологии и промышленной безопасности, 2010. – №1. – С. 5–13.

Федорец Н.Г., Солодовников А.Н., Мошкина Е.В., Преснухин Ю.В., Тимофеева В.В. Почвы хвойных и мелколиственных лесов //Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемвх средней тайги. – М.: Наука, 2006. – С. 98–147.

Шильцова Г.В., Ласточкина В.Г. Влияние полога соснового и березового леса на химический состав осадков в заповеднике "Кивач" // Труды КарНЦ РАН, 2006. – Вып. 10. – С. 180–184.

Tukey H.B. The leaching of substances from plants // Annual review of plant physiology, 1970. – 21. – P. 305–324.

TRANSFORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION BY FOREST VEGETATION

Karpechko Yu., Lozovik P., Potapova I.

Northern Water Problems Institute KRC RAS, Petrozavodsk, Russia, karp@nwpi.krc.karelia.ru

ABSTRACT

Due to the interaction of water with the parts of the tree during the passage of precipitation through the canopy of the forest, the concentration of many elements in precipitating water increases. The acidity of precipitation has a significant impact on the change in the concentration of cations. The amount of substances arriving at the ground surface depends on their concentration in precipitation, changes in their concentration in the canopy and evaporation of moisture detained by the forest canopy.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОСЛЕЙ ПЕРИФИТОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Ким Г.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

kimg@iwep.ru

Изучение водорослей является частью комплексных исследований, связанных с оценкой экологического состояния водных объектов. Индикаторная значимость водорослей твердых субстратов общепризнана. Кроме того, высокий уровень метаболизма водорослей, определяя существенную роль фитоперифитона в трансформации вещества и энергии в водных экосистемах, способствует его значительному вкладу в процессы самоочищения водоемов и водотоков. Данные аспекты рассмотрены на примере водорослей каменистого субстрата в разнотипных объектах бассейна Верхней Оби.

Вопрос преимущества микроорганизмов по сравнению с организмами бóльших размерных фракций в оценке качества воды [Золотарев, 2012] и участии в процессах самоочищения водных объектов поднимается исследователями, занимающимися изучением микроскопических водорослей перифитона. Их более короткий жизненный цикл, фиксированное положение на твердых субстратах конкретных участков водного объекта является основой для получения быстрого отклика и интегральной оценки изменения состояния в результате как естественных причин, так и антропогенных воздействий. Интенсивность процессов метаболизма микроорганизмов создает основу для эффективного самоочищения и целенаправленного использования водорослей в очищении водных объектов, загрязненных в результате антропогенной деятельности. Кроме того, космополитное распространение многих водорослей дает возможность для экстраполяции данных и прогнозирования изменений в водных объектах разных географических регионов.

В данной работе исследована индикаторная и трофическая значимость водорослей каменистого субстрата 47 водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби, изученных в период 1989–2010 гг., и их участие в процессах самоочищения. Спектр видов-индикаторов отражает низкую минерализацию воды и слабощелочную реакцию среды, что соответствует результатам гидрохимического анализа: общая минерализация составляла 12,0–300,0 мг/дм^3 в горных и 80,0–568,0 мг/дм^3 в предгорных водных объектах, pH – 7,40–8,65 (гидрохимические данные любезно предоставлены сотрудниками ИВЭП СО РАН, г. Барнаул). Более высокая доля галофилов и мезогалобов в фитоперитоне предгорных водотоков (14,2%) по сравнению с горными (до 10,1%) отражает повышение минерализации воды в них. Отмечено изменение в спектре водорослей-индикаторов активной реакции среды: при увеличении pH увеличивается соотношение (алкалифилы + алкалибионты) / ацидофилы. В многолетнем аспекте состав и структура альгоценозов каменистого субстрата не отличались от таковых в 1902–1963 гг. [Скворцов, 1930; Воронихин, 1940; Порецкий, Шешукова, 1953; Якубова, 1961; Левадная, 1970], так же, как и гидрохимические характеристики [Алекин, 1934; Иоганзен и др., 1950; Селегей, Селегей, 1978; Малолетко, 2007].

Виды водорослей каменистого субстрата, являющиеся индикаторами содержания органического вещества, отражают изменение его содержания как в результате естественных причин, так и в результате антропогенного вмешательства. Горные водотоки и озера (в том числе Телецкое) бассейнов рек Бия, Катунь, Чарыш, Алей по индексу сапробности и по гидрохимическим показателям (NO_3^- – 0,03–0,80 мг/дм^3, PO_4^{3-} – 0,005–0,08 мг/дм^3) характеризуются как предельно, очень и вполне чистые (классы I, II (разряды 2а, 2б)). Но в апреле-мае и сентябре-октябре отмечено повышение индекса сапробности и, соответственно, увеличение содержания растворенных органических веществ (III класс, разряды 3а, 3б). Возможной причиной является их поступление в реки и озера в результате смыва с территории водосборных бассейнов в периоды половодья и паводков. Вода рек в предгорной части названных выше бассейнов, напротив, характеризуется повышенным содержанием органического вещества (класс качества III, разряды 3а, 3б) в результате антропогенной деятельности, поскольку бассейны этих рек в предгорной части относятся к территориям с пониженной и высокой (4–5 баллов) степенью антропогенной нагрузки [Рыбкина и др., 2011].

Еще одним показателем, используемым в мировой практике для оценки качества воды и применимым для водных объектов бассейна Верхней Оби, является процент деформированных створок диатомовых водорослей. Деформация створок диатомовых водорослей связана с высоким содержанием тяжелых металлов и пестицидов. Например, в притоках р. Катунь, дренирующих ртутное месторождение (Улаганский район), отмечены высокие концентрации ртути в толще воды (до 35,0 мкг Hg/дм^3), в донных отложениях (до 332,0 мкг Hg/г) [Папина и др., 1990]. Доля деформированных створок диатомовых водорослей (*Fragilaria* sp., *Synedra* sp., *Gomphonema olivaceum, Diatoma elongatum* var. *tenuis* (Ag.) V.H., *Diatoma vulgare* Bory) в фитоперифитоне на соответствующих участках составляла 4,5–50,0%. Высокая доля аномальных створок отмечена на некоторых участках вдоль береговой линии Телецкого озера. Так, в месте складирования пестицидов у п. Артыбаш, в поверхностном слое почвы содержание ДДТ достигало 750,37 мг/кг, в донных осадках – 1,27 мг/кг [Куликова-Хлебникова, 2013], а доля аномальных створок диатомовых водорослей (*Cocconeis* sp., *Cymbella* sp., *G. olivaceum*, *Synedra pulchella* var. *lacerata* Hust., *Synedra ulna*, *Synedra* sp.) – 56,0%. Данные показатели значительно превышают фоновый уровень частоты морфологических аномалий у водорослей (1–2%) [Ким, 2013].

Как было отмечено выше, интенсивность процессов метаболизма водорослей создает основу для интенсивного самоочищения водных объектов. Так, интенсивность фотосинтеза водорослей каменистого субстрата в водных объектах бассейна Верхней Оби достигает 139,67 мгO_2/м^2 в час, максимальное значение суточного P/B-коэффициента, характеризующего интенсивность функционирования единицы биомассы, – 4,1. Это свидетельствует о соответствующем интенсивном поглощении водорослями перифитона растворенных в воде веществ, в том числе загрязняющих, способствуя самоочищению водоема. Например, содержание ртути в водорослях каменистого субстрата горных водотоков бассейна р. Катунь, дренирующих ртутное месторождение, достигает 49 мкг/г. При этом коэффициент накопления ртути водорослями в 1,3–3,3 раза превышает таковой у зообентоса [Эйрих, 1999].

Еще одним качеством, повышающим значимость водорослей перифитона в водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби, является незначительная зависимость величины биомассы водорослей от температуры в пределах 0,1–19°С. При температуре воды 0,1°С биомасса водорослей составляет 252 г/м^2, при 5°С – 585 г/м^2, при 19°С – 24 г/м^2 [Ким, 2015]. Можно сделать предположение, что в период понижения интенсивности физических и химических факторов самоочищения в осеннюю и зимнюю межень в водных объектах данного региона происходит увеличение роли биологического фактора самоочищения.

Использование сообществ водных беспозвоночных и макрофитов уже нашло применение в практике для очищения шельфовой зоны морей и водных объектов суши от загрязняющих веществ. Очистительная “емкость” альгоценозов пока только начинает находить целенаправленное использование для улучшения качества воды. Так, применение плавающих биомодулей с альгобактериальными биоценозами способствует удалению ряда загрязняющих веществ в 1,5–2 раза более эффективно по сравнению с макрофитами, а некоторые соединения удаляются практически полностью [Прыткова, 2002; *http://www.findpatent.ru/patent/222/2220922.html*)].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алекин О.А. К исследованию притоков Телецкого озера. //Исследования озер СССР. – Л.: Изд-во ГГИ, 1934. – Вып. 7. – С. 101–120.

Воронихин Н.Н. Микрофитобентос Телецкого озера и некоторых притоков //Споровые растения. – М.: Изд-во АН СССР, 1940. – Вып. 4. – С. 237–245.

Золотарев В.А. Микробиальные сообщества и микрокосмы: функциональные модели //Успехи наук о жизни, 2012. – №4. – С. 51–63.

Иоганзен Б.Г., Гундризер А.Н., Загороднева Д.С., Круглова В.М. Водоемы бассейна реки Чульчи //Тр. Том. Гос. ун-та., 1950. – Т. III. – С. 21–50.

Ким Г.В. Морфологические аномалии диатомовых водорослей фитоэпилитона как индикаторы качества воды водотоков и водоемов Горного Алтая //Мир науки, культуры, образования, 2013. – №5(42). – С. 444–449.

Ким Г.В. Фитоэпилитон водотоков и водоемов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.02.10 / Г.В. Ким. – Новосибирск, 2015. – 22 с.

Куликова-Хлебникова Е.Н. Хлорорганические пестициды в природных средах на территории Республики Алтай: автореф. дис. … канд. геогр. наук: 25.00.36 / Е.Н. Куликова-Хлебникова. – Томск, 2013. – 19 с.

Левадная Г.Д. Водорослевые обрастания в Верхней Оби // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд, 1970. – Ч. 1. – №3. – С. 58–61.

Малолетко А.М. Телецкое озеро по исследованиям 1973–1975 гг. – Томск, 2007. – 224 с.

Папина Т.С., Третьякова Е.И. Гидрохимические и химико-аналитические работы по исследованию водных экосистем р. Катуни и её притоков// материалы

общ.-науч. конф. “Катунский проект: проблемы экспертизы” 13-15 апреля 1990 г., Новосибирск. – Новосибирск, 1990. – с. 15–22.

Патенты. [Электрон. ресурс] / Режим доступа http://www.findpatent.ru/patent/222/2220922.html.

Порецкий В.С., Шешукова В.С. Диатомовые Телецкого озера и связанных с ним рек //Диатомовый сборник. – Л.: Изд-во Ленингр. гос. ун–та, 1953. – С. 107–172.

Прыткова М.Я. Научные основы и методы восстановления озерных экосистем при разных видах антропогенного воздействия. – СПб: Наука, 2002. – 148 с.

Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В., Курепина Н.Ю. Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) //Водное хозяйство России, 2011. – №4. – С. 42–52.

Селегей В.В., Селегей Т.С. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Телецкое озеро. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 141 с.

Скворцов Б.В. Материалы по флоре водорослей азиатской части СССР. 1. О фитопланктоне оз.Телецкого //Журн. Русск. ботан. о-ва, 1930. – Т.15, вып. 1–2. – С. 91–92.

Эйрих С.С. Особенности распределения и миграции ртути в водных экосистемах бассейнов рек Катуни и Томи: автореф. дис.… канд. хим. наук: 11.00.11 / С.С. Эйрих. – Барнаул, 1999. – 22 с.

Якубова А.И. Основные черты водорослевой растительности р. Оби в ее верхнем течении // Тр. БИН СО АН СССР, 1961. – Вып. 7. – С. 65–79.

USE OF THE PERIPHYTON ALGAE TO ASSESS AND IMPROVE WATER QUALITY

Kim G.V.

Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia, kimg@iwep.ru

ABSTRACT

The study of algae is part of comprehensive research related to the evaluation of ecological status of water bodies. The indicator value of algae hard substrates recognized. In addition, high levels of algae metabolism, determining significant role in phytoperiphyton transformation of matter and energy in aquatic ecosystems, contributes to its significant contribution to the process of self-purification of water bodies. These aspects are considered by the example of algae rocky substrate in diverse objects of Upper Ob basin.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ РТУТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ПРИАМУРЬЯ

Кондратьева Л.М.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

kondratevalm@gmail.com

Рассматриваются вероятные источники ртутного загрязнения р. Амур и комплекс биогеохимических факторов, определяющих риск образования метилированной ртути: высокий уровень евтрофирования; поступление из водохранилищ взвешенных веществ с высокой долей детрита; формирование локальных сероводородных зон; сток с заболоченных участков гумифицированных вод; поступление в зимний период железосодержащих подземных вод.

Пристальное внимание к ртутному загрязнению вызвано возрастающими масштабами циркуляции ртути в компонентах окружающей среды. Во многих странах ртуть стала самым опасным загрязнителем и главным компонентом системы национального мониторинга. Экологические и медицинские эффекты ртути зависят от ее химической формы. Принято считать, что наиболее токсичной является природная органическая форма – метилртуть ($MeHg^+$) – сильное нейротоксическое вещество. $MeHg^+$ выступает главным фактором риска и потенциальной угрозой для разных организмов [Scheuhammer et al., 2007]. Ртуть оказывает влияние на различные метаболические процессы у гидробионтов: углеводный, липидный и белковый обмен. Получены многочисленные результаты по воздействию ртути на главные органы "мишени" рыб – мышцы и печень. При аккумуляции ртути в мышцах рыб снижается синтез коллагена, происходит разрыхление мышечных тканей, нарушается рост и снижается выживаемость рыб [Немова, 2005].

Достигнуты определенные успехи в изучении последствий ртутного загрязнения, имеется множество сведений по отдельным этапам сложного взаимодействия между ртутью и компонентами окружающей среды. В связи с региональной спецификой часто существует недостаток информации относительно источников поступления ртути, ее поведения, и эффектов воздействия ртути на организмы *in situ*. Этот момент чрезвычайно важен для осознания факторов риска, поиска решений для эффективного управления возникающей проблемой.

Для понимания сложности природных процессов, в которые вовлекается ртуть, автором предлагается двухуровневый подход, учитывающий источники поступления, процессы происходящие на макро- и микроуровнях, регуляторы ее активно-

Таблица 1. Уровни вовлечения ртути в разнообразные биосферные процессы

МАКРОУРОВЕНЬ	МИКРОУРОВЕНЬ
Источники поступления:	***Регуляторы активности:***
Вулканическая деятельность	Гуминовые и фульвокислоты
Тектонические разломы	Железо, метан и селен
Лесные пожары и сжигание угля	Сера и сероводород, тиоловые группы
Золотодобыча	***Реципиенты:***
Металлургическая промышленность	Органы и ткани
Производство целлюлозы	Клеточные мембраны
Водохранилища	Ферменты
Сельское хозяйство	ДНК и РНК
Процессы:	***Процессы на клеточном уровне:***
Испарение	Разрушение мембран
Миграция	Ингибирование ферментов
Осаждение	Генетические модификации
Седиментация	Нарушение адаптивных реакций
Фотолиз (климат, погода)	***Процессы на молекулярном уровне:***
Биоаккумуляция	Комлексообразование
Влияние на биоразнообразие	Метилирование
Ущерб здоровью человека	Связывание сульфгидрильных групп
	Нарушения в синтезе коллагена

Таблица 2. Содержание ртути в донных отложениях р. Амур на разных участках

2005 год		2008 год	
МЕСТО ОТБОРА ПРОБ	Hg, мг/кг	МЕСТО ОТБОРА ПРОБ	Hg, мг/кг
Устье р. Зея	0,03	Выше Хабаровска, ЛБ	0,036
Устье р. Бурея	0,14	Выше Хабаровска, ПБ	0,259
Ниже устья р. Сунгари, ЛБ	0,032	Ниже Хабаровска, ЛБ	0,099
Ниже устья р. Сунгари, ПБ	0,075	Ниже Хабаровска, ПБ	0,003
Выше Хабаровска, ЛБ	0,085	Ниже Амурска, ЛБ	0,128
Выше Хабаровска, ПБ	0,14	Ниже Амурска, ПБ	0,036

Примечание: ЛБ – у левого берега, ПБ – у правого берега

сти (табл.1). Разные этапы этих схематических переходов существенно отличаются в масштабах времени и пространства, в зависимости от источника поступления и происходящего процесса, в который вовлечена ртуть в данный момент. Поэтому здесь уместно говорить о пролонгированных эффектах, потенциальных и социально приемлемых рисках.

Предпосылки ртутного загрязнения р. Амур обусловлены реальным риском поступления ртути: на верхнем Амуре – при использовании ртутьсодержащих реагентов при добыче золота в Монголии; на среднем Амуре – при поступлении воды из крупных водохранилищ (Зейское и Бурейское) и с поверхностным стоком в результате активного освоения правобережной территории в Китае; на нижнем Амуре – в результате трансграничного поступления поллютантов со стоком рек Сунгари и Уссури.

В 90-е годы к основным источникам ртутного загрязнения р. Амур относили [Кот, 1994] промышленные центры (города Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре) и трансграничное загрязнение со стоком р. Сунгари (Китай). В течение нескольких лет (2002–2010 гг.) рыба, вылавливаемая в р. Амур имела специфические химические запахи. Обнаруженные морфологические отклонения в организме рыб (язвы, изменение цвета и консистенции тканей, отсутствие глаз) связывали с политоксикозом, вызванным аккумуляцией токсичных элементов и органических веществ (ОВ) в различных органах [Чухлебова и др., 2005].

По данным различных авторов до 50–97% ртути, поступающей в водные экосистемы, связывается с донными отложениями. Активная миграция ртути из почв происходит при создании водохранилищ. Ртуть может вступать во взаимодействие с фульвокислотами или поверхностью бактериальных мембран, которые способствуют ее переходу в подвижную метилированную форму. Исследования содержания ртути в донных отложениях, отобранных на различных участках р. Амур (табл. 2), свидетельствуют о вероятности ее поступления со стоком рек Бурея и Сунгари [Кондратьева и др., 2006]. После создания в 2003 г. Бурейского водохранилища в нем происходит трансформация затопленных почв и торфяников, однако до настоящего времени нет официальной информации о содержании ртути в воде, донных отложениях и гидробионтах.

Повышение содержания ртути в донных отложениях и рыбе в недавно созданных водохранилищах является их универсальным свойством [Сухенко, 1995]. Во всех водохранилищах мира регистрировали повышение содержания ртути в рыбе уже через 7–10 лет после их создания. Предпосылкой является разложение ОВ растительного происхождения в зоне затопления. В результате биогеохимических процессов, включая микробиологическую деструкцию растительных остатков и гуминовых веществ почв, ртуть переходит в более токсичную форму – $MeHg^+$.

Комплексные исследования экологического состояния р. Амур показали, что существует множество биогеохимических факторов обеспечивающих механизм метилирования ртути: высокий уровень евтрофирования; загрязнение природных вод сульфатами; поступление взвешенных веществ с высокой долей детрита; формирование локальных сероводородных зон; сток с заболоченных участков гумифицированных вод; поступление в зимний период железосодержащих подземных вод.

Многие из перечисленных факторов рассматриваются в рамках биогеохимических процессов, создающих синергические и антагонистические эффекты в результате технических сбросов с крупных водохранилищ, под влиянием стока р. Сунгари и после интенсивных паводков с затоплением поймы. Степень экологического риска образования $MeHg^+$ существенно повышается в зонах активной аккумуляции взвешенных веществ. Такие участки были обнаружены в районе г. Комсомольск-на-Амуре, где отмечена активизация сульфатредуцирующих бактерий [Кондратьева и др., 2013].

Согласно данным российско-китайского мониторинга уровень ртутного загрязнения р. Амур

в 2012-2013 гг. существенно изменялся в зависимости от гидрологического режима. Так, в 2012 г. самые высокие концентрации ртути были установлены в р. Аргунь (верховье Амура) в феврале и мае (0,04 мкг/л). В августе ее содержание было ниже пределов обнаружения (0,01 мкг/л). В зоне влияния стока р. Бурея вдоль левого берега в придонных слоях воды в феврале были обнаружены повышенные концентрации ртути (0,04 мкг/л). В мае при увеличении расходов воды в 6 раз ртуть была обнаружена только у китайского берега. В августе повышенные концентрации ртути вновь были установлены у левого берега и на середине реки (0,03 мкг/л). На створе ниже устья р. Сунгари в мае 2012 г. ртуть присутствовала во всех пробах воды (0,02-0,03 мкг/л). В августе было зарегистрировано увеличение концентрации ртути у левого (российского) берега и на середине реки (до 0,04 мкг/л), хотя высокие расходы воды (10100 $м^3$/с) в это время были связаны с поступлением водных масс со стоком р. Сунгари. Такое распределение ртути свидетельствует о ее вероятном поступлении с верховий Амура и из Бурейского водохранилища. Во время исторического наводнения 2013 г. на Амуре ртутное загрязнение не было выявлено. Так в мае/июне при увеличении расходов воды до 9870/12141 $м^3$/с на створе выше устья р. Сунгари ртуть отсутствовала в пределах обнаружения. В зоне влиянии р. Сунгари в июне/октябре при больших расходах 15400 $м^3$/с и 17000 $м^3$/с ртуть отсутствовала во всех пробах воды. На фоне высокой водности происходило снижение концентрации ртути ниже пределов обнаружения, несмотря на то, что были осуществлены технологические сбросы воды с Бурейского и Зейского водохранилищ. Более важное экологическое значение имеет оценка состояния поймы, которая в течение нескольких месяцев находилась в затопленном состоянии.

Хотя доказана роль микроорганизмов в метилировании ртути, остается отрытым вопрос, какой фактор является определяющим в устойчивости микробных комплексов (МК) к ртутному загрязнению. Например, было установлено, что в донных отложениях под влиянием ионов железа возрастает скорость продукции метилртути [Warner et al., 2003]. Известно, что во время паводков активизируются процессы сульфатредукции и метилирования ртути, которые зависят от степени заболоченности водосбора и количества растворенных ОВ [Brigham et al., 2009; Hall et al., 2008; Rolfhus et al., 2011].

Исследования, проведенные в 2013 году в Зейском водохранилище [Андреева и др., 2014], показали, что наибольшей устойчивостью к ионам ртути отличались сульфатредуцирующие бактерии из придонных слоев воды, отобранных выше плотины. В 2013 году на спаде паводка была исследована структура МК воды р. Амур и их ответные реакции на воздействие ионов ртути (10 и 100 ПДК) при утилизации разных источников углерода. Так, на пептоне и гуминовых веществах при 20°С, структура и численность микробного сообщества не зависели от концентрации ртути. Однако, при 4°С снижалась численность и изменялась структура сообщества уже при 10 ПДК ртути. При культивировании МК на гуминовых веществах при 4°С внесение ртути в двух дозах вызывало видимую перестройку в структуре бактериального сообщества. Эти данные свидетельствуют о разных механизмах утилизации ОВ при ртутном загрязнении, которые могут происходить в летний и зимний периоды. При увеличении концентрации ртути в водной среде могут существенно изменяться биогеохимические процессы и изменяться качество воды по другим показателям.

В зимнее время, локальные точки риска могут быть связаны с процессами, происходящими в толще льда. В присутствии ОВ существует высокая вероятность увеличения содержания биодоступной ртути при участии криомикробоценозов, развивающихся в разных слоях льда. Метилированию ртути в период ледостава могут способствовать лимит кислорода, сброс недостаточно очищенных сточных вод, поступление детрита из водохранилищ, питание подземными железосодержащими водами и активизация процессов сульфатредукции в донных отложениях. Многолетние микробиологические исследования свидетельствуют, что в период ледостава в воде р. Амур присутствуют железо- и сульфатредуцирующие бактерии. Активными агентами процесса метилирования могут выступать сульфатредуцирующие бактерии рода *Desulfovibrio* и железоредуцирующие микроорганизмы рода *Geobacter* [Fleming et al., 2006]. Обе эти группы микроорганизмов могут стимулировать метилирование ртути при загрязнении водных масс ОВ, которые поступает со стоком крупных притоков Зея, Бурея и Сунгари. После техногенной аварии в бассейне р. Сунгари в ноябре 2005 г. было установлено, что ряд ОВ и токсичных элементов, включая ртуть, аккумулировались во льдах [Кондратьева и др., 2011]. Такие эффекты наблюдали в 2010–2012 гг. в районе Хабаровского водного узла, после летнего превышения ПДК ртути в воде.

Таким образом, на фоне всех предпосылок загрязнения ртутью одной из крупнейших речных экосистем Дальнего Востока России возникает острая необходимость более глубокого обсуждения этой проблемы, затрагивающей интересы Азиатско-Тихоокеанского региона. Для предотвращения рисков и сохранения экологической безопасности

в Приамурье целесообразна разработка расширенной программы мониторинга за содержанием ртути в компонентах окружающей среды. В настоящее время имеется противоречивая информация об источниках поступления ртути в результате активизации золотодобычи на территории Монголии. Полевыми и экспериментальными методами подтверждается поступление ртути из водохранилищ, расположенных на российской территории. Если источником поступления ртути является Бурейское водохранилище, важно выявить масштабы и длительность токсикологических последствий в связи планируемым строительством новых водохранилищ в бассейне р. Амур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреева Д.В., Кондратьева Л.М., Стукова О.Ю. Микробиологические исследования процессов сульфатредукции в Зейском водохранилище // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып.6. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – С. 32–37.

Голубева Е.М., Кондратьева Л.М., Кипер Р.Н. Послойное распределение ртути во льдах реки Амур // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата. Сб. докладов Всероссийской конференции 29 сентября-3 октября 2014 г. Хабаровск. [Электронный ресурс] – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 58–61.

Кондратьева Л.М., Андреева Д.В., Голубева Е.М. Влияние крупных притоков на биогеохимические процессы в реке Амур // География и природные ресурсы, 2013. – №2. – С. 36–43.

Кондратьева Л.М., Бардюк В.В., Жуков А.Г. Аккумуляция и трансформация токсичных веществ во льдах рек Амур и Сунгари после техногенной аварии в Китае в 2005 г.// Лед и снег, 2011. – №4. – С. 118–124.

Кондратьева Л.М., Канцыбер В.С., Зазулина В.Е., Боковенко Л.С. Влияние крупных притоков на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях р. Амур // Тихоокеанская геология, 2006. –Т. 25. – №6. – С. 103–114.

Кот Ф.С. Тяжелые металлы в донных отложениях Среднего и Нижнего Амура // Биогеохимические и экологические оценки техногенных экосистем бассейна р. Амур. Владивосток: Дальнаука, 1994. – С. 123–135.

Немова Н.Н. Биохимические эффекты накопления ртути у рыб. М.:Наука, 2005. – 140 с.

Сухенко С.А. Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы. Сер. Экология. – Новосибирск: СО РАН, 1995. – 59 с.

Чухлебова Л.М., Кондратьева Л.М., Рапопорт В.Л., Сиротский С.Е. Сезонное изменение санитарно-гигиенических показателей качества рыбы реки Амур // Гигиена и санитария, 2005. –№2. –С. 37–41.

Brigham M.E., Wentz D.A., Aiken G.R., Krabbenhoft D.P. Mercury cycling in stream ecosystems. 1. Water column chemistry and transport // Environ. Sci. Technol., 2009. – V. 43. – P. 2720–2725.

Fleming E.J., Mack E.E., Green P.G., and *Nelson D.C.* Mercury methylation from unexpected sources: molybdate-inhibited freshwater sediments and an iron-reducing bacterium. Appl. Environ. Microbiol., 2006. – V. 72. – P. 457–464.

Hall B.D., Aiken G.R., Krabbenhoft D.P., Marvin-Dipasquale M., Swarzenski C.M. Wetlands as principal zones of methylmercury production in southern Louisiana and the Gulf of Mexico region // Environ. Pollut., 2008. – V.154. – P. 124–134.

Rolfhus K.R., Hall B.D., Monson, B.A., Paterson M.J., Jeremiason J.D. Assessment of mercury bioaccumulation within the pelagic food web of lakes in the western Great Lakes region // Ecotoxicology, 2011. –V.20. – P. 1520–1529.

Scheuhammer A., Meyer M., Sandheinrich M., and *Murray M.* Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish // Ambio, 2007. – N 36. – P. 12–18.

Warner R.A., Roden E.E., Bonzongo J.C. Microbial mercury transformation in anoxic freshwater sediments under iron-reducing an other electron-accepting conditions // Environ. Sci. Technol., 2003. – V.37. – P. 2159–2165.

TNE POTENTIAL RISKS OF MERCURY CONTAMINATION NATURAL WATERS IN PRIAMURYE

Kondrateva L.M.

Institute of Water and Ecology Problems, FEB RAS, Khabarovsk, Russia, kondratevalm@gmail.com

ABSTRACT

It is considered likely sources of mercury pollution of the Amur river and complex biogeochemical factors that determine the risk of methylated mercury formation: the high level of eutrophication; flow from the reservoirs of suspended solids with a high proportion of detritus; the formation of local hydrogen sulfide zones; runoff from wetlands humified waters; admission to the winter iron containing groundwater.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ АМУР ВО ВРЕМЯ НАВОДНЕНИЯ 2013 ГОДА

Кондратьева Л.М.[1], Голубева Е.М.[2]

[1] Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

kondratevalm@gmail.com

[2] Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск

evg8302@ya.ru

В работе представлен анализ данных российско-китайского мониторинга качества воды на трансграничном участке р. Амур в 2012 г. и в период исторического наводнения 2013 г. Показано влияние стока р. Сунгари на поступление взвесей и легко окисляемых азотсодержащих органических веществ. Определяющую роль в поступлении ароматических соединений, ионов железа и марганца играли сбросы водохранилищ.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование качества воды в р. Амур зависит от поступления различных соединений с водосборной территории и гидрологического режима. Катастрофическое наводнение на р. Амур в 2013 г. охватило огромные территории Дальнего Востока, зафиксированное количество осадков превышало норму в полтора, местами в два раза. Практически вся водосборная площадь Амура была переувлажнена и, как следствие, сформировалась высокая насыщенность почвогрунтов водой, что привело к снижению их впитывающей способности [Дугина, 2014]. Основная особенность формирования стока р. Амур в 2013 г заключается в том, что над Приамурьем сформировалась стационарная высотная фронтальная зона, сопровождающаяся сильными ливневыми дождями. В некоторых частях бассейна р. Амур слой осадков, выпавших в период за июль-август, превысил годовую норму [Даниловн-Данильян и др., 2014]. Все это привело к высоким дождевым паводкам на всех основных притоках реки Амур: Зея, Бурея, Уссури и Сунгари, чего ранее не наблюдалось [Аношкин, 2014; Дугина, 2014]. Наводнение на р. Амур 2013 года нанесло материальный и моральный ущерб и оказало существенное влияние на качество воды в связи с затоплением огромных площадей различных сельскохозяйственных и промышленных объектов.

В последние годы природоохранные службы причисляют ионы железа и марганца к критическим показателям загрязнения реки Амур, наряду с фталатами, хлорсодержащими пестицидами и нефтяными углеводородами. Кроме Fe и Mn к биогеохимическим индикаторам качества воды можно отнести биодоступные и стойкие органические вещества (ОВ), железо-гуматные комплексы, активность гетеротрофных микроорганизмов, участвующих в самоочищении водных экосистем. На территории бассейна р. Амур существуют ряд не контролируемых источников поступления Fe и Mn, а также геологические предпосылки их повышенного содержания в поверхностных водах. К ним относятся месторождения и многочисленные проявления железных и марганцевых руд [Архипов, 2003; 2005]. Форма нахождения ионов железа в водных экосистемах зависит от содержания ОВ и активности микроорганизмов, редуцирующих Fe^{3+} и Mn^{4+} [Кулаков, Кондратьева, 2008; Потехина, 2006]. В зимнее время химический состав воды р. Амур на 90% определяется поступлением железосодержащих подземных вод. В результате разгрузки подземных вод происходит переход ионов железа и марганца из грунтовых вод в донные отложения, а затем в придонные слои воды р. Амур.

На экологическое состояние вод в р. Амур оказывают влияние Зейское и Бурейское водохранилища. В результате изменяется химический состав воды в реках Зея и Бурея ниже плотин, увеличивается количество биогенных веществ и фенольных соединений, содержание ионов железа, гуминовых и фульвокислот.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для анализа экологической ситуации на реке Амур послужили данные совместного российско-китайского мониторинга качества воды трансграничных водных объектов за период 2012–2013 гг., опубликованные Министерством природных ресурсов Хабаровского края [Итоговый отчет…, 2012; Итоговый отчет…, 2013]. В ходе мониторинга были проанализированы пробы поверхностных и придонных вод в р. Амур на створах, расположенных в районе г. Благовещенск, выше (Амурзет – Миньшань) и ниже (Нижнеленинское – Тундзяндунган) впадения реки Сунгари (рис. 1).

Рис.1. Карта-схема района исследований

Таблица 1. Сезонные изменения коэффициентов корреляции между содержанием взвешенных веществ и показателем ХПК в 2012–2013 гг. (н.д. – нет данных)

	НИЖЕ УСТЬЯ Р. ЗЕЯ		ВЫШЕ УСТЬЯ Р. СУНГАРИ		НИЖЕ УСТЬЯ Р. СУНГАРИ	
МЕСЯЦ	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Февраль	-0,004	-0,02	-0,51	0,817	0,639	0,514
Май	0,64	0,034	-0,866	0,795	-0,801	-0,968
Июнь	0,62	0,752	0,891	0,775	0,551	0,216
Август	0,479	н.д.	-0,705	н.д.	0,243	н.д.
Сентябрь	н.д.	0,77	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Октябрь	н.д.	н.д.	н.д.	-0,218	н.д.	0,342

Основные задачи состояли в выявлении сезонных закономерностей изменения концентраций растворенных ионов марганца и железа; определении возможных связей с количеством взвешенных веществ (ВВ) и общим содержанием органических веществ (ОВ), определяемых по показателю ХПК (химическое потребление кислорода). При этом учитывали расходы воды за период наблюдений, в том числе в 2013 г. с экстремальным наводнением.

Корреляционный анализ был проведен с использованием встроенных стандартных функций Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании данных российско-китайского мониторинга качества воды р. Амур был проведен анализ сезонной динамики содержания ионов Fe и Mn в поверхностных и придонных слоях воды при различных гидрологических режимах в 2012–2013 гг.; выявлены корреляционные связи между их содержанием, расходами воды, распределением взвешенных веществ (ВВ) и ОВ на разных участках (табл. 1).

В 2012 г по мере увеличения расходов воды с февраля по август характер связей между Mn, Fe, ВВ и содержанием ОВ на створах выше и ниже устья р. Сунгари постоянно изменялся. Заметная связь Mn-ВВ (R = 0,907), установленная в феврале, когда расходы воды составляли 1100 м^3/с, показала, что в зимний период ионы марганца могут присутствовать в р. Амур в составе взвесей и донных отложений.

В мае 2013 г., когда был сформирован паводок в бассейне р. Сунгари, самое высокое содержание ВВ (табл. 2) было зарегистрировано у правого берега 265 мг/дм^3 в поверхностных (пов.) и 377 мг/дм^3 в придонных (дно) водах. Однако максимальный показатель ХПК был зарегистриро-

Таблица 2. Содержание взвешенных веществ в воде р. Амур в 2013 г., мг/дм^3

	ВЫШЕ УСТЬЯ Р. СУНГАРИ						НИЖЕ УСТЬЯ Р. СУНГАРИ					
	ЛЕВЫЙ БЕРЕГ		СЕРЕДИНА		ПРАВЫЙ БЕРЕГ		ЛЕВЫЙ БЕРЕГ		СЕРЕДИНА		ПРАВЫЙ БЕРЕГ	
МЕСЯЦ	ПОВ.	ДНО	ПОВ.	ДНО	ПОВ.	ДНО	ПОВ.	ДНО	ПОВ.	ДНО	ПОВ.	ДНО
Февраль	5	7	7	8	9	6	6	8	6	6	5	6
Май	93	111	137	165	150	153	101	104	205	229	265	377
Июнь	33	36	39	41	39	52	35	38	49	42	90	122
Октябрь	10	11	8	9	14	16	17	17	74	97	140	120

ван у левого берега (49 мг/дм^3 в поверхностных и 47 мг/дм^3 в придонных слоях воды). Корреляционные связи в парах Mn – ХПК и Mn – ВВ были отрицательными. Позднее, в июне, с ростом расходов воды на этом створе наблюдали снижение концентрации ВВ, ХПК и марганца, хотя максимальное поступление ВВ по-прежнему фиксировали у правого берега (90 мг/дм^3 в поверхностных и 122 мг/дм^3 в придонных слоях воды).

Расчеты показали, что во время исторического паводка 2013 г. существенное количество трудноминерализуемых ОВ переносилось в составе взвеси на участке от г. Благовещенска до с. Амурзет. Водные массы с повышенным содержанием марганца распространялись вдоль левого берега, где определяющую роль играл сток рек Зея и Бурея, и, соответственно, сбросы с водохранилищ. В зоне влияния р. Сунгари в октябре на спаде паводка, была выявлена обратная зависимость для пар Fe – ВВ (R = -0,92) и Mn – ВВ (R = -0,96). Между ХПК и ВВ достоверная связь отсутствовала. Это свидетельствует о том, что в период паводка 2013 г. с водами р. Сунгари поступали ВВ в основном минерального состава. Распространение ионов Fe и Mn было обусловлено природными факторами, которые контролировали микробиологические процессы трансформации и деструкции ОВ различного генезиса, поступающих с затопленной поймы и со сбросами водохранилищ.

Микробиологические исследования качества воды в р. Амур в районе г. Хабаровска были проведены в конце августа, когда уровень воды составлял 770 см и превышал исторический максимум на 1,3 м. Согласно полученным данным общая численность гетеротрофных бактерий у правого берега по сравнению с зимним периодом выросла в 5 раз. Общий тренд увеличения их численности сохранялся от левого к правому берегу. Это свидетельствует о том, что основная масса ОВ и бактерий, поступивших с вышерасположенных участков, распространялись вдоль правого берега в составе паводковых вод р. Сунгари. Численность бактерий, участвующих в цикле азота (аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии) также увеличивалась по направлению к правому берегу. У правого берега количество аммонифицирующих микроорганизмов было в 2 раза выше, чем у левого берега и в 5 раз больше, чем в зимний период. Только на середине реки их численность была минимальной. При таком пространственном распределении бактерий можно говорить о более выраженном загрязнении воды у правого берега азотсодержащими органическими соединениями.

Совершенно иное распределение по поперечному профилю реки было характерно для фенолрезистентных бактерий (ФРБ), которые в зимнее время 2013 г. отсутствовали в воде. В период паводка было зафиксировано существенное повышение их численности у левого берега. Это могло быть обусловлено затоплением припойменных участков левобережья еще в июле и вовлечением пойменных почв в микробиологические процессы. Возможность разложения растительных остатков на затопленной пойме, распространение сбрасываемой воды из водохранилищ вдоль левого берега, поступление ароматических углеводородов антропогенного происхождения – все это могло послужить причиной загрязнения воды фенольными соединениями. Во время паводка увеличение численности ФРБ отражало особенности загрязнении природных вод возле левого берега ароматическими углеводородами различного происхождения (природного и антропогенного).

Таким образом, корреляционный анализ данных по содержанию Mn, Fe, трудноминерализуемых органических веществ (по ХПК) и взвешенных веществ в поверхностных и придонных слоях воды р. Амур в 2012 и 2013 гг. позволил выявить различные связи между этими показателями на разных створах в зависимости от гидрологического режима. Кроме того, эти связи существенно различались по поперечному профилю реки, что свидетельствует о разных источ-

никах и формах миграции этих соединений. Важно подчеркнуть, что в 2013 г. во время паводка на всех створах наблюдения с увеличением расходов воды концентрация марганца снижалась.

Корреляционный анализ связей между ХПК и ВВ показал их существенное варьирование в зависимости от гидрологического режима. Так, во время паводка 2013 г. в зоне влияния р. Сунгари в мае, несмотря на высокую водность, была выявлена обратная зависимость для пары ХПК – ВВ ($R = -0.968$). Это свидетельствует о том, что в период паводка 2013 г. с водами р. Сунгари поступали ВВ в основном минерального состава и легко доступные азотсодержащие ОВ. При спаде уровня воды были зафиксированы массивные песчаные наносы по берегам р. Амур на всем протяжении от устья р. Сунгари до г. Хабаровск. Установлено, что содержание ионов марганца и железа в период наводнения на р. Амур не связано с влиянием стока р. Сунгари. Природные воды с повышенным содержанием этих металлов и ароматическими соединениями различного генезиса распространялись в основном вдоль левого берега, где определяющую роль играли сток рек Зея и Бурея, а также сбросы водохранилищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аношкин А.В. Развитие гидрологической ситуации на водотоках среднего течения реки Амур в период катастрофического наводнения 2013 года // Современные проблемы регионального развития. Биробиджан. Изд-во: ИКАРП ДВО РАН, 2014. – С. 197–199.

Архипов Г.И. Эволюция формирования и закономерности размещения железных руд северо-востока Азии. – Владивосток: Дальнаука. 2003. – 162 с.

Архипов Г.И. Дальневосточная черная металлургия: железорудносырьевая база и возможности развития. – Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2005. – 234 с.

Гусев М.Н. К проблеме наводнений в Приамурье // Проблемы региональной экологии, 2014. – №6. – С. 84–90.

Дугина И. Выдающееся наводнение на Амуре 2013 года и его особенности. Взгляд гидролога // Наводнение-2013. Талакан: ОАО "РусГидро", 2014. – С. 41–57.

Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2012 году. Изд-во: МПР Хабаровского края, 2013. – 240 с.

Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2013 году. Изд-во: МПР Хабаровского края, 2014. – 158 с.

Кулаков В.В., Кондратьева Л.М. Биогеохимические аспекты очистки подземных вод Приамурья// Тихоокеан. Геология, 2008. – Т. 27. – №1. – С.109–118.

Потехина Ж.С. Метаболизм Fe(III) восстанавливающих бактерий. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. – 225 с.

BIOGEOCHEMICAL INDICATORS CHANGE OF WATER QUALITY IN THE AMUR RIVER DURING THE FLOOD OF 2013

Kondrateva L. M.[1], Golubeva E. M.[2]

[1] *Institute of water and ecological problems, Far East Branch of Russian Academy of Science, Russia, Khabarovsk, kondratevalm@gmail.com*

[2] *Institute of tectonics and geophysics, Far East Branch of Russian Academy of Science, Russia, Khabarovsk, evg8302@ya.ru*

ABSTRACT

The paper presents an analysis of the data of the Russian-Chinese monitoring of water quality in the transboundary area Amur river in 2012 and during the historic floods in 2013. The influence of runoff of Songhua river for admission suspensions and easily oxidized nitrogen-containing organic substances. A decisive role in the flow of aromatics, iron ions and manganese discharges from the reservoirs played.

ОПАСНОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ВОДОСБОРАХ ДЛЯ ВОДНЫХ И ПОЧВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Кочарян А.Г., Лебедева И.П.

Институт водных проблем РАН, Москва

kochar@aqua.laser.ru, iplebed@gmail.com

Показано, что опасность выноса тяжелых металлов из диффузных техногенных литохимических ореолов на водосборах зависит, прежде всего, от содержания их подвижных форм. Предложены методы количественной оценки массы подвижных соединений, представляющей реальную опасность для водных и почвенных экосистем.

Многочисленные источники загрязнения природных водных объектов находятся на их водосборах. Это и контролируемые источники – сбросы сточных вод промышленности и коммунального хозяйства, канализованные поверхностные стоки с городских территорий и промплощадок, и неконтролируемые, так называемые диффузные источники – рассредоточенные по площади водосбора. По мере совершенствования технологии основного производства промышленности, внедрения малоотходных технологий и прогрессивных методов очистки сточных вод, роль диффузных источников в процессах загрязнения водных объектов будет только возрастать. Диффузные источники характеризуются разнообразным генезисом, неравномерным распределением загрязняющих веществ по водосборной площади, нерегулярностью воздействия на водный объект, тесной связью с метеоусловиями, широким набором токсических элементов и их соединений и разнообразным диапазоном концентраций.

В зависимости от депонирующей среды выделяются следующие геохимические неоднородности на водосборе: литохимические – в почвах, гидрохимические – в подземных водах; сноухимические – в снеговом покрове; биогеохимические – в растительности. Геохимические аномалии в этих депонирующих средах – это участки, в пределах которых статистические параметры распределения химических элементов отличаются от геохимического фона территории.

Доминирующую роль, безусловно, играет почвенный покров, в котором формируются литохимические ореолы рассеяния элементов. Они обусловлены петрохимическим составом почвообразующих пород, наличием месторождений и поступлением загрязняющих веществ (ЗВ) от источников антропогенного генезиса. Основными путями поступления тяжелых металлов (ТМ) в почвы водосбора являются аэральный внос, вынос из отвалов разного генезиса на поверхность почвы, запахивание с удобрениями, рекреационное использование.

В условиях промышленного загрязнения в почву поступает целый ряд ТМ, которые вступают во взаимодействие с различными почвенными компонентами в условиях конкуренции и избирательного поглощения. Типичными сорбентами являются гумусовые вещества, глинистые минералы, гидроксиды железа, марганца и алюминия. При этом даже при сравнительно низком уровне техногенного загрязнения наблюдается определенная доля подвижных соединений ТМ.

Почва имеет способность удерживать ТМ, но она исчерпывается при увеличении техногенной нагрузки. Это ведет к резкому увеличению доли водорастворимой фракции ТМ и фракции обменных соединений. Именно эти фракции могут выноситься из почвы в половодье, паводки в поверхностные водные объекты с внутрипочвенным стоком. Изучение содержания водорастворимых и подвижных форм ТМ в гумусовых горизонтах дерно-подзолистых по-

Таблица 1. Предельное содержание водорастворимых и подвижных форм тяжелых металлов в % от валовых концентраций в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых почв, подверженных аэральному влиянию Конаковской ГРЭС

ФОРМА НАХОЖДЕНИЯ	ЭЛЕМЕНТЫ								
	Pb	Mo	Cr	Ni	Cu	Zn	Co	Fe	Mn
Водорастворимые соединения	12	22	21	17	23	-	11	9	3
Обменные соединения	29	32	26	41	40	40	29	19	25

чв, находящихся под непосредственным воздействием аэральных выбросов Конаковской ГРЭС в Тверской области, показало их существенную долю по отношению к валовому содержанию (таблица 1).

Проведение экспериментов с почвенными образцами с ненарушенной структурой показало, что для меди только 12% этого элемента экстрагируется серией последовательных вытяжек, причем 70% из них экстрагируется при обработке почвы перекисью водорода с 1 н HNO_3. Если учесть, что эта вытяжка разрушает не только гуминовые кислоты, но и затрагивает силикатную часть матрицы, становится ясно, что в этом опыте способность почвы удерживать медь не утрачена, и подвижные соединения элемента практически не образовались. Необходимо проводить эксперименты, показывающие распределения загрязняющего металла по всем фракциям почв, способных к удержанию загрязняющих веществ.

Если в математических моделях формирования качества воды на водосборе модуль выноса веществ из диффузных источников принимается постоянным или пропорциональным расходам воды, то такой подход является ошибочным.

При изучении уровней загрязнения почвенного покрова широко используется суммарный показатель загрязнения тяжелыми металлами Z_c, предложенный Ю.Е. Саетом. Он характеризует степень загрязнения почвы с выделением различных классов опасности. Расчеты проводятся по формуле [Сает и др., 1990]:

$$Z_c = \sum_{1}^{n} K_c - (n-1),$$

где K_c – отношение концентрации химического элемента в оцениваемом объекте к его фоновому содержанию; n – число химических элементов, входящих в изучаемую ассоциацию.

Разработана четырёхранговая шкала оценки опасности загрязнения компонента природной среды по величине Z_c:

$Z_c < 16$ – допустимая степень загрязнения;

$16 < Z_c < 32$ – умеренно опасная степень загрязнения;

$32 < Z_c < 128$ – опасная степень загрязнения, при которой отмечен высокий уровень общей заболеваемости населения;

$Z_c > 128$ – чрезвычайно опасная степень загрязнения.

Помимо сложности определения фоновых показателей, надо отметить необоснованность оценки токсической опасности суммарного показателя. Одна и та же степень загрязнения, определенная по нему, может быть вызвана различными по токсичным свойствам элементами. При этом используются валовые содержания элементов.

Действующие в РФ санитарно-гигиенические нормативы регламентируют в почвах валовое содержание только 9 ТМ и концентрацию подвижных форм, таких, как Ni, Cu, Co, Zn, Cr [ГН.2.1.7.2041…, 2004]. Эта система не учитывает региональную специфику элементного состава, функционального назначения их использования, охватывает небольшое число элементов, оперирует валовыми содержаниями. Хорошо известно, что нормы допустимого воздействия, способность почв удерживать загрязняющие вещества зависят от условий почвообразования и региональной специфики, целевого использования почв. Поэтому существующие нормативы для оценки токсичности литохимического ореола непригодны. Необходим учет подвижных форм ТМ в ореоле и оценка токсичности элементов как для водных, так и для почвенных экосистем.

Для оценки потенциальной опасности диффузного ореола рассеяния ТМ для водной и почвенной экосистем необходимо проведение полевых и экспериментальных работ. Для выявления диффузных очагов рассеяния тяжелых металлов проводятся полевые работы с отбором почвенных образцов на химический анализ. Работы проводятся в несколько этапов, а отбор образцов выполняется по стандартам ИСО 10381-1.

В подготовительном этапе собираются материалы о районе исследования, в том числе сведения о геологическом и геоморфологическом строении территории, почвенном покрове, гидрологии, размещении источников загрязнения и характере их функционирования. Рекогносцировочный этап должен подтвердить наличие диффузного ореола рассеяния определенных тяжелых металлов. Разреженность сети опробования от 0,5 ×0,5 км до 5 ×5 км. Отбираются почвенные образцы с глубины 0–5 см; 5–20 см на пашне; 0–15 см в степи; 0–10 см в лесу; 0–10 см на промплощадках, в селитебной зоне и в парках. В каждой точке отбора берется смешанная проба из 5 образцов, взятых по “методу конверта”.

О.В. Чернова и О.В. Бекецкая [Чернова, Бекецкая, 2010] оценили валовые концентрации некоторых ТМ в фоновых почвах Европейской территории России. Все данные условно разделены на Черноземный и Нечерноземный регионы для тяжелых и легких почв с условной границей между ними – “легкий суглинок”. За верхнюю границу фоновых содержаний ТМ они предложили принять величину, которая на 3 стандартных отклонения выше среднего регионального уровня ($C + 3\sigma$). Превышение верхней границы фонового содержания может свидетельствовать о наличии диффузной аномалии.

Учитывая, что реальную опасность для водных экосистем представляет вынос только подвижных

Таблица 2. ПДК подвижных форм тяжелых металлов/металлоидов в почвах по данным российских нормативов и ПДП тяжелых металлов и металлоидов по данным нидерландских экологов, мг/кг [Водяницкий Ю.Н. и др., 2012]

МЕТАЛЛ/МЕТАЛЛОИД	$ПДК_{подв}$	ПДП
Бериллий Be	отсутствует	0,0061
Селен Se	-"-	0,11
Таллий Tl	-"-	0,25
Сурьма Sb	-"-	0,53
Кадмий Cd	-"-	0,76
Ванадий V	-"-	1,1
Ртуть Hg	-"-	1,9
Никель Ni	4	2,6
Медь Cu	3	3,5
Хром Cr	6	3,8
Мышьяк As	отсутствует	4,5
Барий Ba	-"-	9,0
Цинк Zn	23	16|
Кобальт Co	5	24
Олово Sn	отсутствует	34
Свинец Pb	-"-	253

форм ТМ, в конкретном случае необходимо определять их экспериментально, а токсичность учитывать с помощью рыбохозяйственного ПДК. Экотоксикологические исследования биологов, проведенные в Нидерландах, позволили установить предельно-допустимые превышения (ПДП) для 16 ТМ и металлоидов в почвах по сравнению с фоном, которые представляют реальную опасность для почвенной экосистемы. Методической основой этой работы послужило изучение влияния реальных водных вытяжек из загрязненных почв на разные типы организмов почвенной экосистемы. Данные нидерландских экологов приведены в таблице 2 наряду с российскими нормативами по предельно допустимым концентрациям подвижных форм тяжелых металлов/металлоидов в почвах (ПДКподв)

Сравнение российских рыбохозяйственных нормативов с ПДП показало, что ряды токсичности элементов для водных и почвенных экосистем не совпадают:

Ряд токсичности для экосистемы почвы
Be > Se > Sb > Cd > Hg > Ni > Cu > Cr > As > Zn > Pb > Mo.

Ряд токсичности для водных экосистем
As > Cd > Hg > Pb > Zn > Co > Ni > Mo > Cu > Sb > Se.

При установлении ПДП использовались реальные водные вытяжки. Это позволило учитывать влияние на биоту различных миграционных форм элементов, что никогда не учитывалось при создании санитарных и рыбохозяйственных нормативов. Наши исследования показали, что в водную вытяжку из подзолистых и дерново-подзолистых почв переходят в виде комплексных соединений с фульвокислотами следующие элементы (в % от валового содержания): Cu (99%), Zn (56%), Fe (81%), Mn (90%). Оставшаяся часть элементов находится в ионной форме и в виде комплексов с неорганическими лигандами. В водную вытяжку из чернозема переходят в виде комплексных соединений с фульвокислотами такие элементы, как Cu (99%), Zn (55%), Fe (40%), Mn (90%). Оставшаяся часть элементов находится в растворе в ионной форме. Такие элементы, как Ca и Mg в водную вытяжку переходят, в основном, в ионной форме. Таким образом, существует реальная возможность оценивать потенциальную опасность литохимического полиэлементного ореола рассеяния для почвенной, водной экосистем и человека.

Необходимо оценить степень индивидуальной опасности каждого элемента и суммарную опасность совокупности всех элементов для почвенной и водной экосистем и человека. Важно, что уровни опасности для этих сообществ будут совершенно различными. Индивидуальная опасность для i-го элемента определяется, как величина A_i , обратная его рыбохозяйственному ПДК – для водной экосистемы, обратная санитарному ПДК – для человека и ПДП – для почвенной экосистемы:

$A_{i1} = (ПДК_{рыб})^{-1}$ – для водной экосистемы.

$A_{i2} = (ПДК_{гиг})^{-1}$ – для человека (гигиенический).

$A_{i3} = (ПДП)^{-1}$ – для почвенной экосистемы

Суммарная опасность совокупности всех металлов, характерных для данной литохимической аномалии и обладающих токсичностью, определяется как сумма индивидуальных опасностей элементов:

$$A_{g1} = \sum_{i \in g} A_{i1}\,; \quad A_{g2} = \sum_{i \in g} A_{i2}\,; \quad A_{g3} = \sum_{i \in g} A_{i3}\,;$$

Коэффициент опасности i–го элемента в данной совокупности определяется как доля этого вещества в суммарной опасности элементов:

$$K_{i1} = \frac{A_{i1}}{A_{g1}}; \quad K_{i2} = \frac{A_{i2}}{A_{g2}}; \quad K_{i3} = \frac{A_{i3}}{A_{g3}};$$

Эквивалентная масса элемента – это его масса в литохимическом ореоле, находящаяся в подвижной форме, умноженная на его коэффициент опасности. Единица его измерения: кг – экв. Вычисляется для всех K_{i1}, K_{i2} и K_{i3} эквивалентная масса суммы всех элементов ореола, находящихся в подвижной форме.

Эти данные позволяют сравнивать уровни токсичности потенциально опасных масс ТМ в литохимическом ореоле для почвенной и водной экосистем и для человека, и ранжировать индивидуальные элементы по степени их токсичности для этих сообществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выноса ТМ из техногенного литохимического ореола в водную среду участвуют практически только подвижные формы ТМ твердой фазы почв.

Дается методика определения массы подвижных форм ТМ в техногенном литохимическом ореоле.

Сделана оценка опасности ореолов рассеяния раздельно для водной и почвенной экосистем. Выявлены существенные различия в оценке токсичности отдельных элементов для почвенной и водной биот. Эти различия необходимо учитывать при назначении водоохранных мероприятий в бассейнах рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Г. Загрязнение почв тяжелыми металлами. – М.: МГУ им. Ломоносова, 2012. – 304 с.

ГН.2.1.7.2041 – 06. Гигиенические нормативы. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – М., 2006. – 6 с.

Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

Чернова О.В., Бекецкая О.В. Экологическое нормирование фоновых концентраций микроэлементов и тяжелых металлов в почвах // Современные проблемы загрязнения почв. III Междунар. науч. конф. Май 2010 г, Москва. – М.: МГУ, 2010. – с. 454–458.

THE DANGER OF TECHNOGENIC LITHOCHEMICAL SPREAD AUREOLES OF HEAVY METALS ON WATERSHEDS FOR WATER AND SOIL ECOSYSTEMS

Kocharyan A.G., Lebedeva I.P.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, kochar@aqua.laser.ru; iplebed@gmail.com

ABSTRACT

It is shown that the danger of heavy metals' removal from diffuse technogenic lithochemical aureoles on watersheds basically depends on heavy metals' mobile forms. The authors offered techniques of quantitative assessment of mobile compounds that present danger for water and soil ecosystems.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УСТАНОВЛЕНИЮ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Кузьмич В.Н.

АНО "НИИ промышленной экологии", Москва

delo.gva@gmail.com

Предлагается системный подход к установлению нормируемых химических, физических и биологических показателей качества поверхностных пресных вод в соответствии с требованиями законодательства.

Установление нормативов качества поверхностных вод относится к сфере государственного управления в области использования и охраны водных объектов.

Согласно Федеральному закону "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 г. №7-ФЗ (ст. ст. 1, 3, 6, 20) и Федеральному закону "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 21. 07. 2014 г. N 219-ФЗ (ст. 20), нормативы качества устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека, рационального использования природных ресурсов, сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов.

В соответствии с указанными Законами и применительно к водным объектам, к нормативам качества поверхностных вод (НКВ) относятся нормативы, установленные для физических, химических показателей (в т.ч. нормативы ПДК веществ воды и донных отложений), и биологических показателей качества поверхностных вод (в т.ч. видов и групп водных организмов, используемых как индикаторы качества водной среды); при этом учитываются природные особенности водного объекта и территории его бассейна, международные правила и стандарты в области охраны окружающей среды.

В настоящее время из всех НКВ имеются нормативы ПДКрх веществ воды водных объектов рыбохозяйственного значения, которые устанавливаются для оценки пригодности воды для обитания водных биоресурсов и обеспечения безопасности продукции из них. За неимением других, указанные нормативы применяются для оценки состояния водных объектов в целях сохранения естественных водных экосистем. Как показывает практика, их соблюдением не обеспечивается снижение негативного воздействия на водные объекты и сохранение естественных водных экосистем и генетического фонда водных организмов.

Недостатки методологии нормирования качества воды, основанной на концепции ПДК веществ, и результаты применения нормативов ПДКрх многократно подвергались справедливой критике [Абакумов, Сущеня, 1991; Левич, Булгаков, Максимов, 2004; Патин, 2011 и др.].

Для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду Президентом Российской Федерации в 2010 г. поручено Правительству Российской Федерации разработать нормативы качества окружающей среды, учитывающие состояние и особенности конкретных территорий, положив их в основу нормирования воздействия хозяйствующих субъектов на окружающую среду (п. 15 Перечня поручений Президента РФ от 06.12.2010 №Пр-3534 по реализации Послания Президента РФ Федеральному Собранию от 30.11.2010).

Для реализации поставленных задач и требований законодательных и иных нормативных актов в рассматриваемой области предлагаются к разработке и внедрению нормативные документы, обеспечивающие установление нормативов качества поверхностных вод по химическим и биологическим показателям.

На сегодняшний день сохраняется необходимость в нормативах ПДК веществ воды, поскольку им нет альтернативы. Исходя из этого, проведена работа по актуализации "рыбохозяйственных" нормативов ПДКрх в части приведения их в соответствие с требованиями природоохранного законодательства с учетом международных правил и стандартов в области охраны окружающей среды. Одновременно для веществ природного происхождения предложен подход к установлению нормативов ПДК веществ воды на основе данных о природных особенностях химического состава воды водных объектов, что связано с региональной естественной неоднородностью химического состава поверхностных вод. Этот под-

ход включает использование ГИС-технологий для выделения территорий, в границах которых качество поверхностных вод определяется природными факторами. Для веществ искусственного происхождения, которые преобладают в действующем перечне нормативов ПДКрх, имеется четкая необходимость в едином методологическом подходе к разработке нормативов, опираясь на положительный отечественный опыт и с учетом зарубежного опыта. Наряду с нормативами ПДК веществ воды, предложено определение допустимого содержания приоритетных химических веществ в донных отложениях водного объекта на основе испытаний в лабораторных условиях и на водном объекте, а также на совместном применении методов химического анализа, биоиндикации и биотестирования донных отложений.

Для определения токсичности вод и донных отложений в целях государственного надзора и контроля за водными объектами проведена актуализация имеющихся методов биотестирования на основе анализа практики их применения, к разработке предлагается соответствующий методический документ.

Для оценки качества вод и состояния водных объектов по биологическим показателям проведен анализ накопленной к настоящему времени, объемной и до сих пор недостаточно востребованной, отечественной и зарубежной научной информации [Шитиков, Розенберг, Зинченко, 2003; Семенченко, Разлуцкий, 2010 и др.]. Предлагается включить в нормативный документ биологические показатели с точки зрения их информативности и практической применимости, в т.ч. характеризующие состояния групп и сообществ водных организмов, с выделением основных и дополнительных нормируемых показателей, а также методы их определения отдельно для рек, пресных озер (с учетом их трофического статуса) и водохранилищ.

Что касается нормирования физических показателей качества воды, в частности температуры воды, предлагается дифференцированный подход к установлению температурного показателя воды водных объектов, используемых в целях производства электроэнергии с учетом интересов других водопользователей. На основе результатов современных научных исследований [Голованов, 2013] разработаны показатели определения верхней температурной границы жизнедеятельности рыб, наиболее распространенных в пресных водах нашей страны, и нормируемый температурный показатель допустимого сброса подогретых вод в водный объект.

В целях планирования управления качеством вод выделены классы качества “чистых” вод, к которым, наряду с естественным состоянием водного объекта, отнесены водные объекты “хорошего” состояния, как слабо подвергшихся антропогенному воздействию, и удовлетворительного состояния, когда водная экосистема сохраняет способность к самовосстановлению. В соответствии с отечественными системами классификации качества вод, эти классы соответствуют условно чистым и слабо загрязненным водам. Для определения “хорошего” состояния водного объекта и выделения эталонных водных объектов использован опыт стран Европейского Союза [Директива по водной политике ЕС, 2000], в соответствии с которым обязательным элементом оценки качества вод являются биологические показатели. Нельзя не отметить, что, по Директиве цели сохранения и достижения полноценного качества вод являются приоритетной задачей по сравнению с использованием водных ресурсов. В предложенной классификации качества “чистых” вод нормируемые показатели даны в количественном и качественном выражениях. Для их установления рекомендовано применение ретроспективных данных, метода моделирования, метода экспертных оценок, учет природных особенностей водного объекта. Показана необходимость стандартизации подходов нормирования качества вод, принятой в странах ЕС, интеркалибровки отечественных методов оценки качества вод, создание системы эталонных створов и озер.

Для органов государственного управления в области использования и охраны водных объектов разработан проект руководящего документа, обеспечивающего системный подход к нормированию качества поверхностных вод (СНКПВ). Концептуальной основой СНКПВ является приоритет сохранения природных вод России. Документ представляет собой начальный этап создания Системы, которая направлена на установление нормативов качества речных вод, пресных озер и водохранилищ, обладающих свойствами природного объекта. Что касается нормативов качества морских вод, переходных вод, соленых озер, болот, каналов и др. водных объектов, то это является задачей последующих этапов формирования СНКПВ.

Структура документа приводится на рисунке 1. В блоке 1 содержится перечень законодательных и нормативных актов (35 наименований), из которых отношения в области нормирования качества окружающей среды установлены федеральными законами (ФЗ №7-ФЗ от 10.01.2002 г. и №219-ФЗ от 21.07.2014 г.). Что касается нормативов качества поверхностных вод, то отсутствие законодательных требований к их разработке является пробелом водного законодательства и свидетельствуют о необходимости внесения изменений в Водный кодекс РФ. В блоке 2 приводится перечень документов разно-

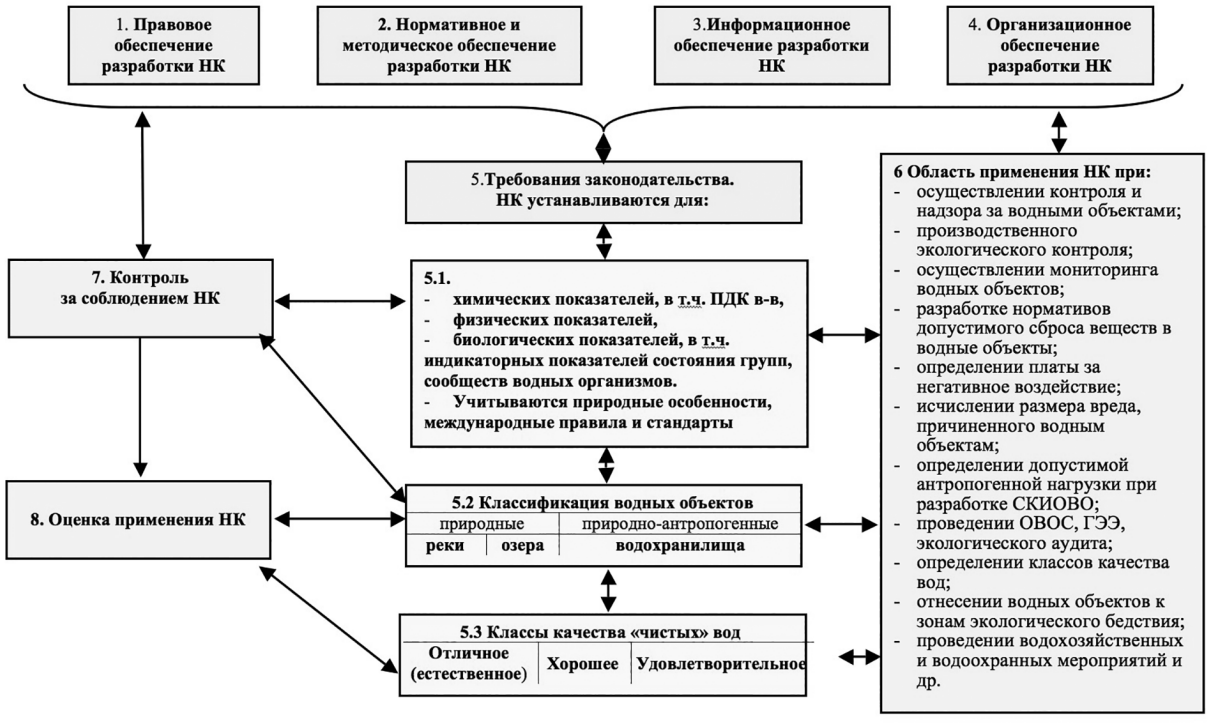


Рис. 1. Структура системы нормирования качества поверхностных пресных вод (СНКПВ)

го уровня (50 наименований), в т.ч. предложенные к разработке нормативные документы в области НКВ, которые являются первыми в рассматриваемой области. В блоке 3, наряду с приведенными источниками информации по разработке нормативов, предлагается ведение единой информационной базы данных нормативов качества вод и нормативных документов. В организационном блоке 4 дается ссылка на ст. 20 ФЗ от 21.07.2014 г. №219-ФЗ, согласно которой на Правительство РФ возложено установление порядка разработки, установления и пересмотра нормативов качества окружающей среды. Отсутствие указанного нормативного акта затрудняет разработку методических документов в области нормирования качества вод. В блоке 5 приводятся требования законодательства к установлению НКВ, наряду с которыми должны учитываться классификация водных объектов и классы качества "чистых" вод. Что касается "региональных" НКВ, то их разработку целесообразно возложить на субъекты РФ, к полномочиям которых относится разработка нормативов в области охраны окружающей среды (ст. 6 ФЗ №7-ФЗ от 10.01.2002 г.). В блоке 6 показано, что НКВ являются фундаментом в осуществлении государственной, хозяйственной и иной деятельности. Блок 7 представлен, прежде всего, административным регламентом исполнения федеральной службой по надзору в сфере природопользования государственной функции по осуществлению федерального государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов (Приказ Минприроды России от 26.08.2008 г. №192), и указываются проблемные документы в этой сфере. В блоке 8 предусматривается планирование оценки применения НКВ, которое целесообразно возложить на межведомственный орган в области нормирования качества вод.

Создание СНКПВ направлено на совершенствование государственного управления качеством вод, выполнение требований законодательства и иных нормативных актов в области охраны окружающей среды и области водного законодательства и на гармонизацию с системами нормирования в странах Евросоюза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов В.А., Сущеня Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды международного симпозиума. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – С. 41–51.

Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности рыб. – Москва: Издательство ПОЛИГРАФ-ПЛЮС, 2013. – 300 с.

Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 года, устанавливающая основы для деятельности Сооб-

щества в области водной политики. Люксембург, 23 октября 2000 г.
Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. – М.: НИА-Природа, 2004. – 271 с.
Патин С.А. Мифы и реалии эколого-рыбохозяйственного нормирования качества водной среды. //Материалы объединенного пленума научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011. – М: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – С.151–155.
Семенченко В. П., Разлуцкий В. И. Экологическое качество поверхностных вод. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 329 с.
Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

THE SYSTEM APPROACN TO THE DEFINITION OF REGULATED SURFACE WATER QUALITY STANDARDS

Kuzmich V.N.

AIO "SRI of industry ecology", Moscow, Russia, delo.gva@gmail.com

ABSTRACT

The system approach to the definition of surface fresh water quality standards for chemical, physical and biological indices is proposed in accordance with legislation demands.

ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ГУМИДНОЙ ЗОНЫ

Лозовик П. А.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

lozovik@nwpi.krc.karelia.ru

Рассмотрены вопросы формирования химического состава поверхностных вод гумидной зоны в результате поступления химических веществ с атмосферными осадками, выщелачивания компонентов на водосборной территории и вследствие протекания внутриводоемных процессов.

Процессы формирования химического состава природных вод можно подразделить на следующие основные элементы: 1) поступление химических веществ с атмосферными осадками; 2) выщелачивание компонентов на водосборной территории; 3) внутриводоемные процессы.

Если рассматривать первый и второй процессы применительно к поверхностным водам Карелии, то установлены следующие закономерности [Лозовик и др., 2005]: поступление Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, Fe, Mn, Al всецело обусловлено выщелачиванием этих компонентов на водосборной территории, Cl^{-}, NH_4^{+}, NO_3^{-} – почти на 100% атмосферными осадками, SO_4^{2-}, $P_{общ}$ – атмосферными осадками и водосбором (рис. 1) [Лозовик и др., 2005].

Немаловажную роль в водных экосистемах играют внутриводоемные процессы, которые можно разделить на 3 группы: 1) трансформация веществ в водных объектах (окисление, седиментация и захоронение в донных отложениях); 2) круговорот веществ в водных экосистемах; 3) продукционно-деструкционные процессы.

Для оценки трансформации веществ в озерных системах, было введено понятие "удерживающая способность водоемов":

$$R = (C_{пр} - C_{оз}) / C_{пр}, \qquad (1)$$

где $C_{пр}$ – средняя концентрация вещества в приточных водах, $C_{оз}$ – соответственно, в озере (или в истоке из озера). В дальнейшем были получены эмпирические зависимости R от периода водообмена озер. В основном они касались фосфора общего как основного лимитирующего БЭ [Dillon, Rigler, 1974; Vollenweider, 1975].

Нам удалось теоретически установить строгую зависимость R от периода водообмена озер (τ) и константы скорости трансформации веществ (k) в природных водах [Лозовик, Рыжаков, 2009]

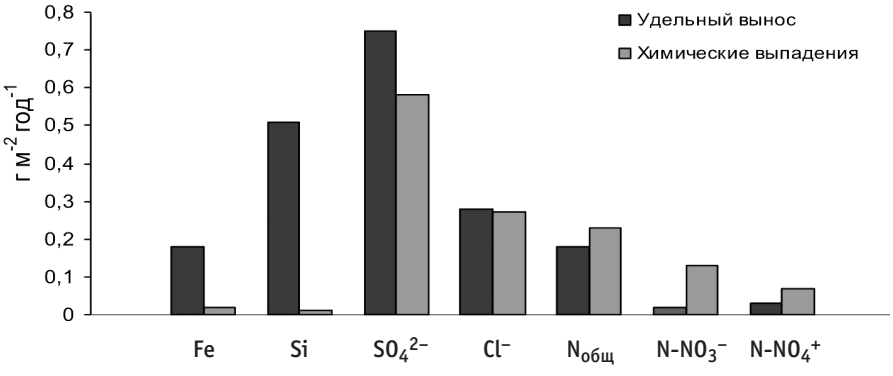


Рис. 1. Выпадения и удельный вынос химических веществ на территории Карелии

Таблица 1. Константы скорости k трансформации лабильных веществ и среднегодовая температура воды в больших и малых озерах, год $^{-1}$

ОЗЕРА	ОВ	$N_{орг}$	$P_{общ}$	$Fe_{общ}$	Si	t, °C
Большие*	0,15	0,13	0,13	0,31	0,24	~ 4,0
Малые**	0,44	0,42	0,43	0,83	0,54	7,0

* – Онежское и Ладожское озера,

** – Сегозеро, Сямозеро, Вендюрское, Исо-Пюхаярви, Остер, Селецеое, Крошнозеро, Пряжинское, Водлозеро, Суоярви

в предположении, что трансформация веществ в озерах подчиняется кинетическому уравнению реакций первого порядка:

$$R = k\tau / (1 + k\tau e^{-1/\tau}) \qquad (2)$$

Зная R и τ для озер, можно вычислить k, что и было сделано для многих веществ: $P_{общ}$, Fe, аллохтонного ОВ и, в его составе, $N_{орг}$, Si [Лозовик и др., 2011] и Cu [Белкина и др. 2012]. Оценку доли аллохтонного ОВ проводили по эмпирической формуле [Лозовик и др., 2007]:

$$\rho_{алл} = 0{,}65 - 0{,}62 \times ХПК / \sqrt{Hum} \qquad (3)$$

По этой доле оценивали и содержание $N_{орг}$ в составе аллохтонного ОВ.

Надо отметить, что скорости трансформации веществ в поверхностных водах очень низкие (табл. 1). Об их интенсивности можно судить по времени полупревращения ($\tau_{1/2}$), т.е. времени, за которое концентрация вещества уменьшится в 2 раза. Это время для указанных групп веществ составляет 1–5 лет.

Если обратиться к табл.1, то константы скорости трансформации аллохтонного ОВ и, в его составе, $N_{орг}$, а также $P_{общ}$, имеют близкие значения как для больших, так и для малых озер. Более высокие значения констант отмечены для Si и $Fe_{общ}$ по сравнению с выше указанной группой веществ. В одном случае близость констант, а в другом их отличие, по-видимому, связано с особенностями механизмов трансформации веществ. Для ОВ, $N_{орг}$ и $P_{общ}$, вероятнее всего, является доминирующим процесс биохимического окисления ОВ, для $Fe_{общ}$ – гидролиз солей железа и осаждение гидрооксидов на дно, а для Si – потребление его диатомовым планктоном и захоронение в донных отложениях.

Обращают внимание более высокие значения констант (в 2–3 раза) в малых озерах по сравнению с большими. Это отличие намного больше, чем следовало ожидать, исходя из температурных условий в водоемах. По-видимому, в малых озерах по сравнению с большими имеют большее значение седиментационные процессы, а также сток терригенных взвешенных частиц и поступления гидролизующихся солей Fe, Al, с учетом малого периода их водообмена. В пользу последнего утверждения свидетельствуют и данные по константам скорости окисления аллохтонного ОВ, полученные по кинетике БПК [Лозовик, 2014]. Для температуры 4,0°С она составляет 0,11, а для 7°С – 0,15 год$^{-1}$. Для больших озер константы скорости биохимического окисления ОВ близки к таковой, установленной по химическому балансу озер. А вот для малых озер она почти в 3 раза меньше, что указывает на протекание в них, наряду с биохимическим окислением и других процессов трансформации ОВ.

Если рассматривать круговорот БЭ на примере азота, то он выглядит следующим образом:

$$N_{орг} \xrightarrow{\text{аммонификация}} NH_4^+ \xrightarrow{\text{I стадия нитрификации}} NO_2^- \xrightarrow{\text{II стадия нитрификации}} NO_3^- \xrightarrow{\text{потребление } NO_3^-} N_{орг}$$

Перед нами фактически имеется циклическая цепь последовательных реакций первого порядка. Используя теорию последовательных реакций первого порядка, удалось установить кинетические параметры этих процессов [Рыжаков и др., 2010].

Для характеристики продукции и деструкции в водных объектах разработан принципиально новый метод, основанный на кинетике БПК и на пока-

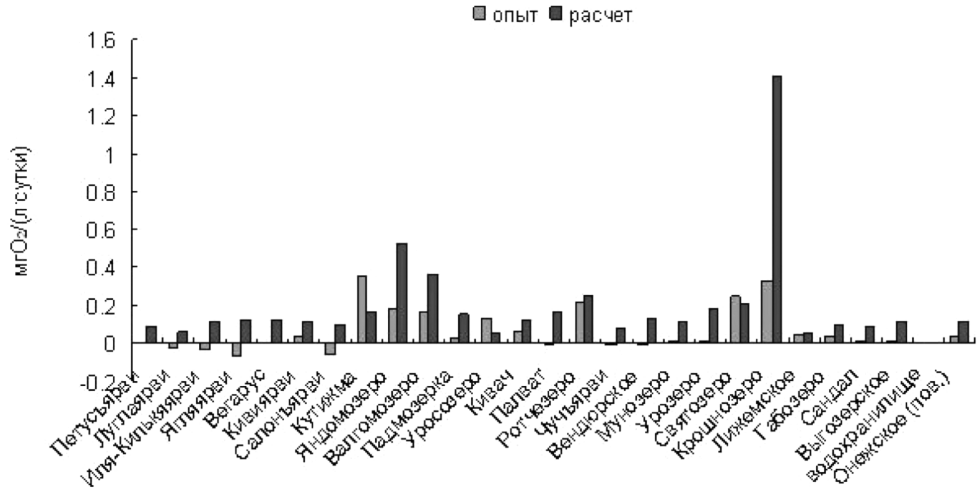


Рис. 2. Опытная и расчетная продукция в водных объектах

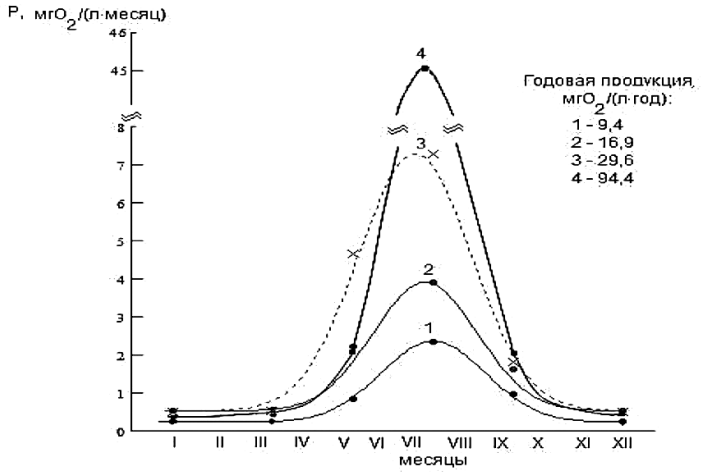


Рис. 3. Распределение первичной продукции по сезонам 2012 г. для олиготрофных озер (Вегарусъярви, Вендюрское, Урос и Урозеро) (1), мезотрофных (Салонъярви, Яндомозеро и Валгомозеро) (2) и эвтрофных (Крошнозеро (3) и Святозеро, в котором наблюдалось цветение воды (4))

зателях автохтонного ОВ (его доле ($\rho_{авт}$) и константе скорости окисления ($k_{авт}$)) [Лозовик, 2009]:

$$P = \rho_{авт}\,ХПК_{исх} \cdot (e^{k_{авт}} - 1) \qquad (4)$$

$$D_{общ} = БПК_{полн} \cdot (1 - e^{-k}) \qquad (5)$$

$$D_{авт} = \rho_{авт}\,ХПК_{исх} \cdot (1 - e^{-k_{авт}}) \qquad (6)$$

$$(ОВ)_{новообр} + O_2 = P - D_{авт} = \rho_{авт}\,ХПК_{исх} \cdot (e^{k_{авт}} + e^{-k_{авт}} - 2), \qquad (7)$$

где P – продукция, $D_{общ}$ – общая деструкция, $D_{авт}$ – деструкция автохтонного ОВ, $\rho_{авт}$ – доля автохтонного ОВ, $k_{авт}$ – константа скорости окисления автохтонного ОВ, K – константа скорости потребления кислорода.

До настоящего времени определение продукции и деструкции осуществлялось и осуществляется классическим методом Винберга: по изменению содержания O_2 в склянках на свету и в темноте. Проблема использования метода Винберга состоит в том, что в склянках в темноте мы имеем деструкцию ОВ, которое накопилось в водоеме к моменту постановки опытов, а на свету – отражается фотосинтез, который имел место на момент постановки опытов, а что было до этого, мы не знаем. Результаты расчета продукции и деструкции по разработанной методике и сравнение их с опытными данными, полученными по методике Винберга для летнего периода 2011 г., позволили выявить следующие закономерности (рис. 2).

Суточная деструкция ОВ, устанавливаемая в опыте по Винбергу, согласуется с расчетной по кинетическим параметрам БПК. Опытная величина продукции существенно отличается от расчетной по кинетике БПК. В некоторых случаях в опытах продукция имеет отрицательное значение, что не имеет физического смысла. Там, где продукция в опытах больше нуля, ее отличие от расчетной в некоторых случаях достигает 10-кратного. Осуществив интегрирование сезонной продукции, мы можем установить годовую продукцию и годовую деструкцию (рис. 3). Новый метод позволяет более надежно определить эти характеристики для водных объектов, чем метод Винберга.

На основании проведенных исследований было установлено, что первичная продукция ОВ в олиготрофных водоемах составляет менее 10 мг O_2/(л·год), мезотрофных – до 25, в эвтрофных свыше 25. При цветении воды в последних она достигает значительных величин – свыше 90 мгO_2/(л·год).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белкина Н.А., Вапиров В.В., Лукин А.А. и др. Медь в экосистеме Онежского озера // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Материалы V Всерос. симпоз. с междунар. участием. 10–14 сент. 2012 г., Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. – С. 93–97.

Лозовик П.А. Оценка продукционно-деструкционных характеристик водных объектов по кинетическим параметрам окисления органического вещества // Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології: Матеріали шостої всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю 20–22 травня 2014. – Днепропетровск (Украина), 2014. – С. 182–185.

Лозовик П.А., Рыжаков А.В. Внутриводоемные процессы трансформации и накопления лабильных веществ в озерных системах // Материалы науч.-практ. конф. (с междунар. участием) "Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России", г. Азов, 8–11 июня 2009 г. Ч. 1. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 124–127.

Лозовик П.А., Басов М.И., Литвиненко А.В. Оценка поступления химических веществ в гидрографическую сеть с водосборной территории Карелии // Водные ресурсы, 2005. – Т. 32, №5. – С. 584–588.

Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б. и др. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы. 2007, Т. 34, №2. – С. 225–237.

Лозовик П.А., Рыжаков А.В., Сабылина А.В. Процессы трансформации, круговорота и образования веществ в природных водах // Тр. КарНЦ РАН. Водные проблемы Севера и пути их решения, 2011. – №4. – С. 21–28.

Рыжаков А.В., Кукконен Н.А., Лозовик П.А. Определение интенсивности аммонификации и нитрификации в природных водах кинетическим методом // Водные ресурсы, 2010. – Т. 37, №1. – С. 70–74.

Dillon P.I., Rigler F.N. A test of simple nutrients budget model predicting the phosphorus concentrations in lake water // J. Fish. Res. Board Can., 1974. – Vol. 31(11) – P. 1771–1778.

Vollenweider R.A. Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in Limnology // Schweiweir. Z. Hydrol. 1975. Bd. 37, N 1. P. 53–84.

THE PROCESSES OF FORMING OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE WATER HUMID ZONE

Lozovik P.A.

Northern Water Problems Institute Karelian research center of RAS, Petrozavodsk, Russia

lozovik@nwpi.krc.karelia.ru

ABSTRACT

The problems of forming of the chemical composition of surface water humid zone by chemical deposition with precipitation, leaching of components in the catchment area and the flow inside the reservoir processes were reviewed.

СВЯЗЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ С МОРФОМЕТРИЕЙ РЕКИ ИРТЫШ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ В СЕЗОННОМ АСПЕКТЕ

Михайлова Л.В.[1,2], Чемагин А.А.[1,3], Медведева И.Н.[3]

1 ГАУ Северного Зауралья, Тюмень

2 ФГУП "Госрыбцентр", Тюмень

3 Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, Тобольск

В статье приводятся данные о сезонном распределении макро- и микроэлементов в донных отложениях по длине и поперечному сечению р. Иртыш в нижнем течении в зависимости от гидрологического режима, морфометрии реки и других абиотических факторов.

Река Иртыш – наиболее крупный, длиной 4370 км, приток Оби; площадь бассейна – 1643000 км^2. В среднем и нижнем течении река имеет хорошо разработанную долину, ширина которой от 0,5 до 40 км. Основные почвообразующие породы – элювиально-делювиальные отложения четвертичного периода. Берега сложены легкоразмываемыми породами, в результате чего образуются многочисленные протоки и старицы, особенно в пологом левобережье; правый берег высокий, иногда крутой обрывистый. Слабый уклон Западно-Сибирской низменности обусловливает медленное течение и сильную извилистость русла реки (рис. 1).

Территория Иртышского бассейна одна из самых развитых в индустриальном отношении, что сопровождается формированием больших объемов производственных, сельско-хозяйственных и хозбытовых стоков – основных источников нефтепродуктов, тяжелых металлов (ТМ), биогенов, ОВ и других загрязняющих веществ. Основными источниками загрязнения р. Иртыш в нижнем течении являются локальные источники – стоянки флота, нефтеперерабатывающий завод и г. Тобольск, а также трансграничный перенос из южных и западных частей бассейна, в том числе из приграничных государств – Казахстана и КНР.

Исследования реки Иртыш в нижнем течении проводились в период открытой воды 2012–2013 гг. в пределах Тобольского и Уватского районов Тюменской области (179 км). На всем протяжении исследуемого участка реки размещено 7 створов, для которых оценивалась сезонная динамика концентрации минеральных элементов, в том числе ТМ, в донных отложениях (ДО): увеличение наблюдалось весной на створах 2, 5 и 7 и осенью на створах 3 и 7, в остальных точках наблюдалось уменьшение концентрации. (рис. 2).

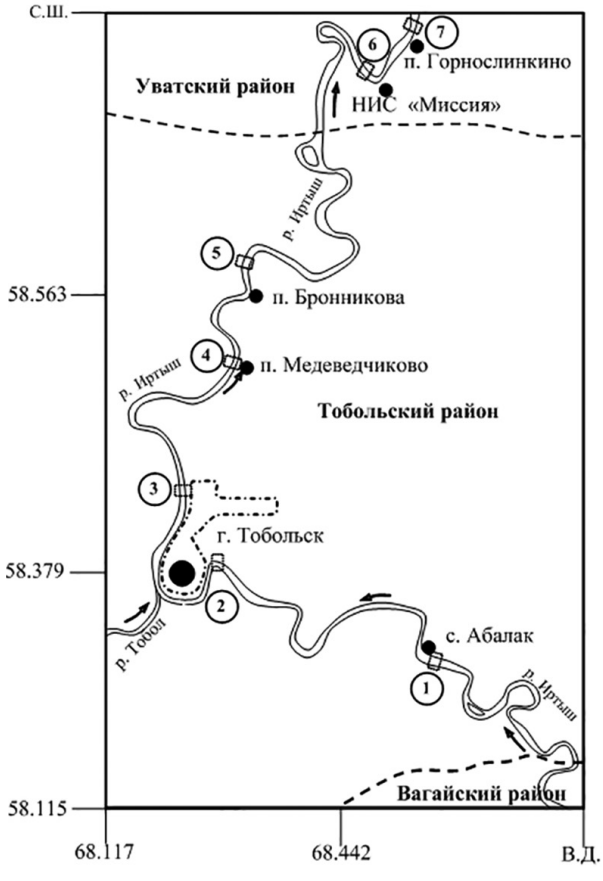


Рис. 1. Карта-схема района исследований
Основные обозначения:

– станции отбора проб бентоса, воды и донных отложений
– границы муниципальных районов
– границы г. Тобольска
– направление течения реки
– населенные пункты

Летом столь существенных различий между створами не наблюдалось. Увеличение содержания загрязняющих веществ на отдельных створах связано с локальными источниками загрязнения

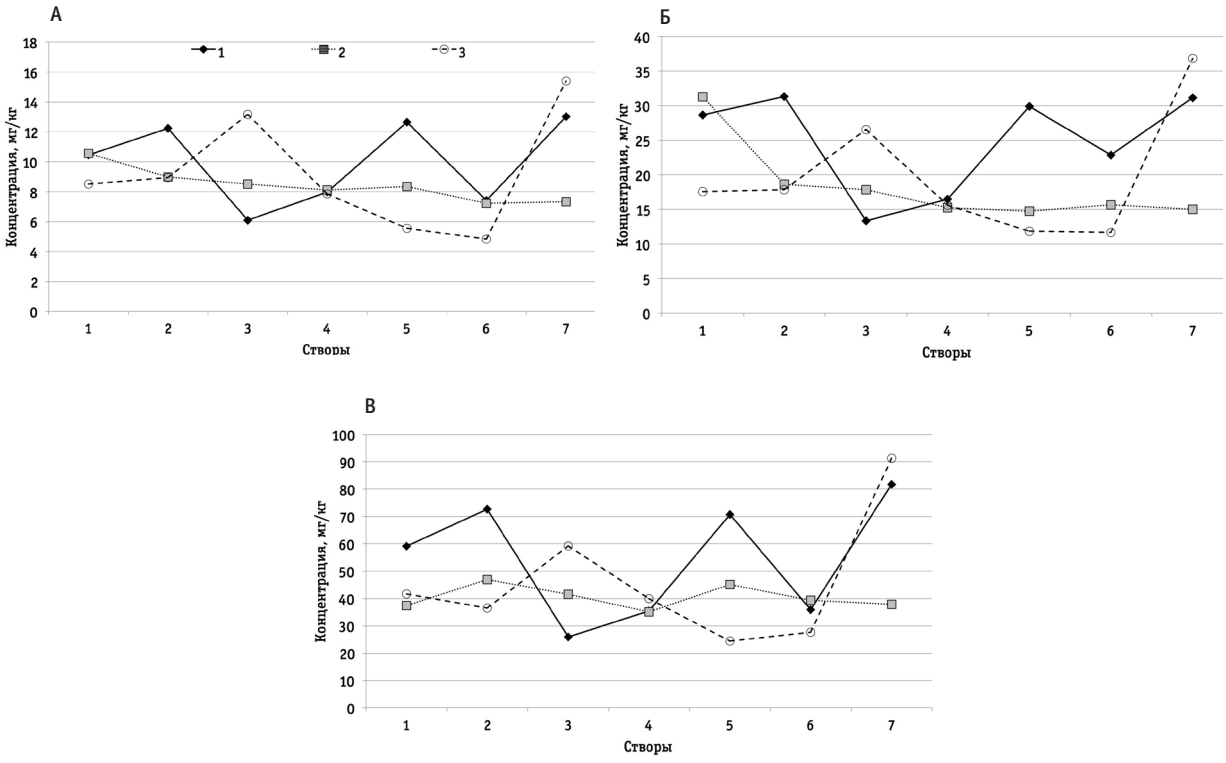


Рис. 2. Концентрация Sb (А), Zn (Б) и Pb (В) в ДО
в створах Нижнего Иртыша в открытый период 2013 г.
(1 – весенний период, 2 – летний период, 3 – осенний период)

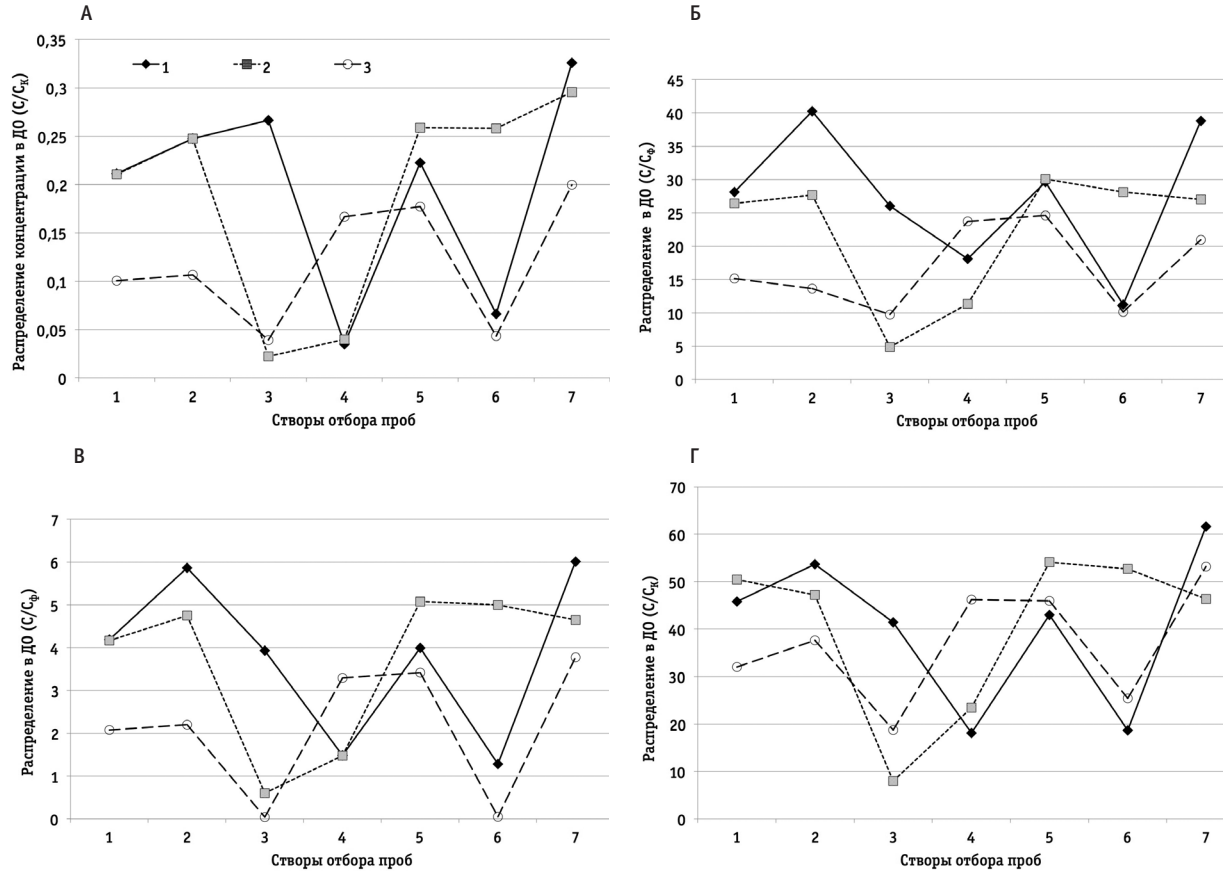


Рис. 3. Соотношение $С_{ДО}/С_{Кларка}$ Al (А), Sb (Б), Pb (В) и Se (Г) в ДО
в створах Нижнего Иртыша в весенний период 2013 г.
(1 – левый берег, 2 – стрежень, 3 – правый берег)

Таблица 1. Кларки, фоновые концентрации (мг/кг) химических элементов в донных отложениях, пресноводных водоемов и рек (в числителе – диапазон концентраций, в знаменателе – средние величины)

ЭЛЕМЕНТ	КЛАРКИ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ, МГ/КГ [Виноградов, 1956, 1962; Ферсман, 1939; Goldschmidt, 1937; Taylor, 1964]	ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ, МГ/КГ [Валеева, 2008; Гертер и др., 2011; Комов, Томилина, 1999; Лукин и др., 2000; Михайлова, 2006; Московченко, 1998; Перевозников, Богданова, 1999]	СРЕДНЯЯ ВЕЛИЧИНА ЗА ОТКРЫТЫЙ ПЕРИОД 2013 Г. – (ЧИСЛИТЕЛЬ) И ОТНОШЕНИЕ К $C_Ф$ И $C_К$ (ЗНАМЕНАТЕЛЬ)	ЭЛЕМЕНТ	КЛАРКИ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ, МГ/КГ [Виноградов, 1956, 1962; Ферсман, 1939; Goldschmidt, 1937; Taylor, 1964]	ФОНОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ, МГ/КГ [Валеева, 2008; Гертер и др., 2011; Комов, Томилина, 1999; Лукин и др., 2000; Михайлова, 2006; Московченко, 1998; Перевозников, Богданова, 1999]	СРЕДНЯЯ ВЕЛИЧИНА ЗА ОТКРЫТЫЙ ПЕРИОД 2013 Г. – (ЧИСЛИТЕЛЬ) И ОТНОШЕНИЕ К $C_Ф$ И $C_К$ (ЗНАМЕНАТЕЛЬ)
Al	74500–88000 / 80283	–	11179,66 / 0,14	Mn	800–1000 / 942	49,1–1764 / 612	284,38 / 0,46
As	1,7–5,0 / 4,0	3,8	2,92 / 0,77	Mo	1,1–10,0 / 4,0	0,7–2,4 / 1,6	0,17 / 0,10
Ca	29600–41500 / 34967	–	3111,17 / 0,09	Na	23600–28300 / 25617	–	109,57 / –
Cd	0,1–5,0 / 2,0	0,11–1,5 / 0,6	1,49 / 2,49	Ni	58–200 / 116	1,85–42,3 / 20,4	9,98 / 0,49
Co	18,0–100,0 / 39,0	0,68–12,9 / 7,6	4,45 / 0,59	Pb	12,5–20,0 / 16,0	2,5–21,6 / 13,8	46,93 / 3,40
Cr	83–330 / 202	7,9–72,0 / 41,4	20,80 / 0,50	Sb	0,1–1,0 / 0,45	–	9,20 / 20,44
Cu	47–100 / 79	1,2–32,5 / 13,2	7,00 / 0,53	Se	0,08–0,1 / 0,27	–	9,58 / 35,50
Fe	42000–56300 / 48800	2400–27080 / 11742	7889,66 / 0,67	Sr	150–400 / 298	99,7	28,25 / 0,28
K	20900–26000 / 24217	–	1535,22 / 0,06	Zn	40–200 / 87	5,7–111,8 / 54,6	20,95 / 0,38
Mg	18700–23500 / 21133	–	2090,93 / 0,01	Hg	0,05–0,5 / 0,16	0,033–0,08 / 0,06	–

и смывом их с площади водосбора, а также с гидрологией реки. У вогнутой части меандров сильное течение реки размывает ДО и переносит намывной материал на противоположный берег, что наблюдали и участники Южно-Тобольской экспедиции 1932 г. [Фридман, 1937]. Распределение по створам макро- и микроэлементов подтверждает эти наблюдения, независимо от концентрации элемента в ДО (например, Al – от 2802 до 26160 мг/кг, Se – от 2,15 до 14,6 мг/кг), а также отношения к кларку или фону (рис. 3).

Коэффициент накопления химических элементов в ДО, представляющий собой отношение фактической концентрации в ДО ($C_{ДО}$) к величине усреднённого кларка или фоновой концентрации (табл. 1), колебался в широком диапазоне. Содержание сурьмы (Sb), селена (Se) и свинца (Pb) превысило кларк и фон на всех створах и всех станциях – в 5,0–40,3, 8,0–62,0 и 1,5–4,4 раза, соответственно. Содержание макроэлементов (Al, Ca, K, Na, Mg) в ДО не превышало соответствующие кларки, но по длине (по створам, станциям) и по сезонам различалось существенно. Среди тяжелых металлов превышение фонового значения установлено для Fe, Mn, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, а также As, в 1,2–2,0 раза в основном у левого берега и на стрежне в замыкающем 7 створе в районе Горнослинкинской ямы, где возникает сильная турбулентность и гидрофизический барьер.

Таким образом, колебания концентраций химических веществ в ДО и их распределение связано с гидрологическим режимом, морфометрией реки (меандрирование), скоростью течения, характером грунтов и других абиотических факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Валеева Э.И., Московченко Д.В., Арефьев С.П. Природный комплекс парка "Нумто" – Новосибирск: Наука, 2008. – 280 с.

Виноградов, А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре // Геохимия, 1956. – №1. – С. 6–52.

Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия, 1962. – №7. – С. 555–571.

Гертер О.В., Пислегин Д.В., Соромотин А.В. Геоэкологическая характеристика поверхностных вод и донных отложений некоторых заказников ХМАО – Югры // Вестник Тюменского государственного университета, 2011. – Т. 12 – С. 179–191.

Комов В.Т., Томилина И.И. Токсичность донных отложений озер Северо-Запада России: влияние закисления и тяжелых металлов // Биология внутренних вод, 1999. – №1–3. – С. 141–147.

Лукин А.А., Даувальтер В.А., Новоселов А.П. Экосистема Печоры в современных условиях – Апатиты: Ин-т проблем промышленной экологии Севера, 2000. – 192 с.

Михайлова Л.В. Расчет норматива предельно допустимого вредного воздействия (ПДВВ) на р. Тура в пределах Тюменской области // Материалы семинара "Чистая вода". – Тюмень, 2006. – С. 26–29.

Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: Эколого-геохимический анализ Тюменской области. – Новосибирск: Наука, 1998. – 112 с.

Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах – С.-Пб., 1999. – 228 с.

Ферсман А.Е. Геохимия. Т. IV. – Л.: Госхимиздат, 1939. – 355 с.

Фридман Г.М. Материалы к изучению Иртыша. Гидробиологический очерк р. Иртыша и придаточных водоемов в пределах Вагайского района // Тр. Пермск. биол. НИИ, 1937. – Т. 7, вып. 3. – С. 177–222.

Goldschmidt V.M. Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente, IX. Die Mengenverhältnisse der Elemente und Atomarten // Skrifter Norske Videnskaps-Akad. Oslo, I. Mat.-naturw. C1. – No.4, 1937 (1938).

Taylor S.R. Abundance of chemical elements in the continental crust; a new table // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1964. – 28(8). – 1273–1285 pp.

CONNECTION CHEMICAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS WITH MORPHOMETRY OF THE IRTYSH RIVER IN THE LOWER REACHES IN THE SEASONAL ASPECTS

Mikhailova L.V.[1,2], Chemagin A.A.[1,3], Medvedeva I.N.[3]

[1] State Agrarian University Northern Transurals, Tyumen, Russia

[2] State Research and Production Center for Fisheries, Tyumen, Russia

[3] Tobolsk complex scientific station UrB RAS, Tobolsk, Russia

ABSTRACT

The article presents data on the seasonal distribution of macro- and microelements in sediments along the length and section p. Irtysh River in the lower reaches, depending on the hydrological regime of the river morphometry and other abiotic factors.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

Никаноров А.М.[1,2,3], Закруткин В.Е.[1], Решетняк О.С.[1,2], Гибков Е.В.[1], Решетняк В.Н.[1]

[1] Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону

[2] ФГБУ "Гидрохимический институт" Росгидромета, Ростов-на-Дону

[3] Институт водных проблем РАН, Москва

olgare1@mail.ru

Проведена оценка изменчивости химического состава и качества речных вод техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса. Показано, что основными негативными последствиями воздействия техногенных источников на речные воды является ухудшение качества воды. Отмечается высокий уровень загрязненности речных вод широким спектром соединений металлов, из которых наибольшую опасность представляют Fe, Al, Mn, Cu, Sr, загрязнение которыми носит устойчивый характер. Качество воды большинства рек Восточного Донбасса оценивается 4-м классом качества – "грязная" и (или) "очень грязная".

ВВЕДЕНИЕ

Геохимическая специфика Восточного Донбасса определяется нахождением в его пределах каменноугольных месторождений и последствиями интенсивной разработки ископаемого угля, приводящей к загрязнению не только водных объектов, но и всех компонентов окружающей среды. Природные геосистемы в пределах углепромышленных территорий на протяжении многих десятилетий подвергались интенсивному техногенному воздействию. Осложнение экологической ситуации происходило в период разработки угольных месторождений и усилилось в период реструктуризации угольной промышленности, начавшейся в 90-е годы [Закруткин, 2010 а].

С увеличением времени эксплуатации угольных месторождений минерализация шахтных вод обычно растет, при этом может меняться их химический состав. Наибольшую экологическую опасность представляют кислые шахтные воды, формирующиеся непосредственно в горной выработке, поскольку являются источником загрязнения водосборных территорий тяжелыми металлами [Никаноров, 2002]. Происходящее ухудшение гидроэкологической обстановки на водосборах рек Восточного Донбасса [Закруткин, 2010 а, 2010 б] обусловливает актуальность данного исследования, поскольку находящиеся в тесном взаимодействии поверхностные и подземные воды являются наиболее уязвимыми компонентам окружающей среды.

Исследование проведено на основе анализа литературных данных и результатах экспедиционных исследований сотрудников кафедры геоэкологии и прикладной геохимии ЮФУ на малых и средних реках бассейнов Северского Донца и Тузлова.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Длительная разработка угольных месторождений Восточного Донбасса, массовая ликвидация нерентабельных шахт привели к обострению экологической ситуации на водных объектах и загрязнению поверхностных вод [Закруткин, 2010 а; Закруткин, 2010 б]. В период с 1992 по 2002 год ликвидировано большинство угольных шахт Восточного Донбасса путем полного затопления выработанного пространства или частичного затопления с перекачкой шахтных вод в соседние шахты. Это привело к снижению общего объема шахтных вод до 63 млн м^3/год и соответственно выноса на поверхность растворенных веществ, но вынос SO_4^{2-} почти не сократился, а железа наоборот вырос в 9 раз и снизилась величина pH, при этом окислительные процессы получили дальнейшее развитие [Гавришин, 2009]. При этом наибольший вынос растворенных веществ, сульфат-иона и железа происходит в реку Грушевка (167,0; 91,0 и 2,5 тыс. т/год соответственно), Кундрючья (100,0; 50,0 и 0,37), Кадамовка (91,0; 57,0 и 0,76), Лихая (35,0; 17,0 и 0,48). Во всех случаях снижается величина pH, минерализация увеличивается в 2 раза, содержание SO_4^{2-} – в 3 раза, железа – в десятки раз. Кроме того обнаруживается повышенное содержание Mn, Al, Cu и других компонентов. На воды р. Кадамовка,

например, основное влияние оказывает сброс шахты Глубокая, воды которой имеют минерализацию 12,7 г/л, содержание сульфат-иона – 8,2 г/л и железа – 0,11 г/л [Гавришин, 2009, 2010].

В ряде работ последних лет [Гибков, 2011; Закруткин, 2009; Закруткин, 2010 б; Приваленко, 2005; Экологический мониторинг…, 2001] отмечается высокий уровень загрязненности речных вод широким спектром соединений металлов, из которых наибольшую опасность представляют Fe, Al, Mn, Cu, Sr, загрязнение которыми носит устойчивый характер с высокой частотой превышения ПДК 70-100%. При этом содержание данных металлов в речных водах достигает уровней высокого (ВЗ) и экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) воды. Это усугубляется еще и тем, что влиянию подвержены экосистемы рек с малой и средней водностью (т.е. с низкой разбавляющей способностью), и поэтому химический состав их воды напрямую подвержен влиянию шахтных вод [Закруткин, 2009; Закруткин, 2010б].

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

Исследуемые водотоки Восточного Донбасса (р. Северский Донец и его притоки – рр. Большая Каменка, Калитва, Большая Гнилуша, Кундрючья и др., Тузлов и его притоки – рр. Большой Несветай, Кадамовка. Аюта, Грушевка и др.) относятся к водным объектам Юга России со стабильно высоким уровнем химического загрязнения [Закруткин, 2009; Никаноров, 2012]. Водная среда рек не только относится к 4-му классу качества вод, но и этот высокий уровень загрязненности (“грязная” и “очень грязная”) отмечается в течение продолжительного периода времени.

Наиболее напряженная ситуация сложилась в 90-х годах на малых реках бассейна Тузлова. Состояние экосистем по степени химического загрязнения и гидробиологическим показателям оценивалось как крайне неблагополучное и соответствовало зоне чрезвычайной экологической ситуации, а на отдельных участках рек (в зонах влияния сточных вод) – зоне экологического бедствия [Экология Новочеркасска, 2001]. Имело место хроническое загрязнение рр. Грушевка, Тузлов, Аксай не только соединениями тяжелых металлов, но и специфическими токсическими веществами.

В целом, воды малых и средних рек Восточного Донбасса отличаются достаточно высокой комплексностью загрязнения, то есть широкой ассоциацией компонентов, содержание которых превышает ПДК. Средние значения коэффициента комплексности изменяются в створах рек бассейна Северского Донца в диапазоне 41–56%, рек бассейна Тузлова – 41–59% [Гибков, 2011; Закруткин, 2009; Закруткин, 2010 б].

В настоящее время наихудшим качеством отличается вода рек бассейна Тузлова: по результатам комплексной оценки (РД 52.24.643) оно оценивается 5-м классом – “экстремально грязная”. Из 19 определяемых нормируемых ингредиентов в воде большинства створов от 9 до 12 из них являются характерными загрязняющими веществами, от 6 до 9 – критическими показателями загрязнения воды. В число критических, наряду с микрокомпонентами (Fe, Al, Mn, Cu, Sr), входят макрокомпоненты: сульфаты, ионы натрия и магния [Закруткин, 2009; Закруткин, 2010 а, б].

Несколько ниже загрязненность воды рек бассейна Северского Донца. Качество воды варьирует от 4-го класса “грязная” и “очень грязная” до 5-го – “экстремально грязная”. Во всех створах наблюдений на реках Большая Каменка, Кундрючья, Большая Гнилуша и в устье р. Калитва степень загрязненности воды характеризуется как “экстремально грязная”, в верховьях рек Малая Каменка и Быстрая, а также в устье р. Северский Донец – “грязная” (4-ый класса качества разряд “б”) [Закруткин, 2010 а, б].

Отмечается, что в створах, расположенных ниже “куста” ликвидируемых шахт, наблюдаются максимальные для всей территории Восточного Донбасса экстремально высокие концентрации марганца (925 ПДК – р. Аюта, 490 ПДК – р. Большой Несветай), алюминия (272 ПДК – р. Лихая, 90 ПДК – р. Большая Каменка), железа (72 ПДК – рр. Лихая и Кундрючья), меди (99 ПДК – р.Большой Несветай), а также высокие концентрации сульфатов (39 ПДК – р. Кадамовка, 32 ПДК – р. Аюта), цинка (24 ПДК – р. Атюхта, 16 ПДК – р. Быстрая) [Закруткин, 2010 а, б].

Таким образом, качество воды рек на территории Восточного Донбасса характеризуется высоким уровнем загрязненности воды широким комплексом загрязняющих веществ. Наибольшую техногенную нагрузку испытывают реки с малой и средней водностью такие, как рр. Тузлов, Большой и Малый Несветай, Аюта, Грушевка, Кадамовка, Лихая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях интенсивного антропогенного воздействия на природные геосистемы углепромышленных территорий происходит повышение фоновых характеристик водных экосистем, усиливаются внутри- и межгодовые колебания концентраций в вод-

ной среде химических соединений, изменяются закономерности процессов формирования химического состава поверхностных вод и ухудшается качество воды. Именно поэтому необходима разработка и принятие эффективных мер по реабилитации экологического состояния водосборных территорий Северского Донца и Тузлова и очистке шахтных вод. Следует критически проанализировать последствия ликвидации угольных шахт путем массового затопления выработанного пространства и сделать прогноз возможного изменения качества поверхностных вод на территории Восточного Донбасса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00376).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Закруткин В.Е., Иваник В.М., Гибков Е.В. Эколого-географический анализ рисков реструктуризации угольной промышленности в Восточном Донбассе // Известия РАН, Серия географическая, 2010 а. – №5. –С. 94–102.

Никаноров А.М., Страдомская А.Г., Иваник В.М. Локальный мониторинг загрязнения водных объектов в районах высоких техногенных воздействий топливно-энергетического комплекса // Серия "Качество вод". – СПб: Гидрометеоиздат, 2002. – 155 с.

Гавришин А.И., Влияние функционирования и ликвидации угольных шахт на химический состав природных вод в Восточном Донбассе / Материалы научно-практической конференции с межд. участием "Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России". Часть 1. –Ростов-на-Дону, 2009. – С. 43–46.

Закруткин В.Е., Иваник В.М., Гибков Е.В., Скляров В.В. Оценка влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса на гидрохимический состав малых рек бассейна Северского Донца // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2010 б. – №3. – С. 84–87.

Приваленко В.В. Загрязненность поверхностных вод. – В кн.: Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов-на-Дону, 2005. – С.143–147.

Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса / Под ред. В.М Еремеева. – Шахты, 2001. – 182 с.

Гибков Е.В. Эколого-географический анализ и оценка гидроэкологического риска на территории Восточного Донбасса в связи с реструктуризацией угольной промышленности. – Автореф. на соиск. учен. ст. канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2011. – 23 с.

Закруткин В.Е., Иваник В.М. Состояние загрязненности воды рек Ростовской области в районах техногенного влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса (реки бассейна Тузлова) // Материалы научно-практической конференции с межд. участием "Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России". Часть 1. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 88–91.

Никаноров А.М., Хоружая Т.А. Качество воды в водных объектах Юга России со стабильно высоким уровнем химического загрязнения // География и природные ресурсы, 2012. – №2. – С. 40–45.

Экология Новочеркасска. Проблемы, пути решения. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2001. – 412 с.

VARIATION OF CHEMICAL COMPOSITION AND QUALITY OF SURFACE WATER TECHNOGENIC VIOLATIONS GEOSYSTEMS OF EASTERN DONBASS

Nikanorov A.M.[1,2,3], Zakrutkin V.E.[1], Reshetnyak O.S.[1,2], Gibkov Ye.V. Reshetnyak V.N.[1]

[1] Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

[2] Hydrochemical Institute Roshydromet, Rostov-on-Don, Russia, olgare1@mail.ru

[3] Institute of Water Problems, RAS, Moscow, Russia

ABSTRACT

The estimation of the chemical composition and river waters quality variability within the technogenic disturbed geosystems of East Donbass was conducted. It is shown that the main negative effects of technogenic sources on river water is the deterioration of water quality. It is notes the high level of river water pollution by wide range of metal compounds, of which the most dangerous are Fe, Al, Mn, Cu, Sr and pollution level of these metals is sustainable. The water quality of most of the Eastern Donbass rivers was estimated 4th class quality – "dirty" and (or) "very dirty."

The study was performed by financial support from the Russian Science Foundation (project № 14-17-00376).

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА В ВОДОЕМАХ С УСТОЙЧИВЫМ ЛЕДОВЫМ ПОКРОВОМ (НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

Папина Т.С., Эйрих А.Н., Серых Т.Г., Усков Т.Н., Дрюпина Е.Ю.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

papina@iwep.ru

Рассматриваются сезонные особенности обменных процессов в системе донные отложения (поровый раствор) – водный поток на примере Новосибирского водохранилища. Показано, что максимальный поток растворенных форм марганца (Mn^{2+}) из донных отложений в водную толщу происходит в подледный период (с конца февраля по середину апреля), а также в период максимального развития биоты (август месяц), когда в донных отложениях повсеместно создаются восстановительные условия. В это время донные отложения являются основным источником поступления Mn в воду водохранилища – их вклад достигает 250–400% относительно входного речного потока. При этом в воде наблюдается противоположное относительно растворенного кислорода вертикальное распределение марганца, концентрации которого превышают гигиенические нормативы. Осаждение Mn^{4+} из воды в донные отложения происходит в составе взвешенных веществ. Максимальный поток взвешенных форм марганца отмечается в августе-сентябре (0,3–0,5 г/м^2 сутки), во время весеннего паводка он снижается до 0,05–0,2 г/м^2 сутки, а в подледный период практически отсутствует.

В последнее время при оценке формирования качества поверхностных вод большое значение уделяется изучению внутриводоемных процессов, определяющих или влияющих на поступление загрязняющих веществ, в первую очередь биогенных элементов и биогенных металлов (Fe, Mn), в водную толщу водоемов [Wu et.al., 2001; Lui et.al.,2003; Lopez, 2004; Ardelan and Steinnes, 2010; Папина и др., 2012; Мартынова, 2013]. При этом важную роль во внутриводоемном круговороте веществ отводят донным отложениям (ДО) и сезонным изменениям обменных процессов в системе поровый раствор ДО – водный поток [Lui et.al.,2003; De Schamphelaire, 2007; Smith, 2009; Папина и др., 2012].

В отличие от водоемов, расположенных в регионах теплого и умеренного климата, сибирские водоемы в течение зимнего периода имеют устойчивый ледовый покров, что влечет за собой сезонные изменение в процессах круговорота и обмена веществ в системе "донные отложения – водная масса". В Обском речном бассейне самым крупным искусственным водоемом является Новосибирское водохранилище, которое полностью покрыто льдом с середины ноября по конец апреля. По гидрологическому режиму и морфометрическим характеристикам Новосибирское водохранилище является типично равнинным водоемом. Площадь его водосбора в створе гидроузла составляет 228000 км^2; водосбор водохранилища расположен на территории Новосибирской области и Алтайского края. Общий объем водохранилища составляет 8,86 км^3, средняя глубина 9 м, максимальная 25 м, мелководье составляет 16%. Новосибирское водохранилище является главным источником водоснабжения коммунального хозяйства самого крупного города Сибири г. Новосибирска, дополнительно оно также используется для целей ирригации и рекреации.

В нашей работе был оценен поток растворенных форм марганца (Mn^{2+}) из донных отложений в воду Новосибирского водохранилища, а также поток сорбированных форм (Mn^{4+}) из воды в донные отложения в различные сезоны года за период с июня 2013 по февраль 2014. Отбор проб проводили на вертикалях 8.2 и 9.2, расположенных соответственно в Бердском заливе и на выходе из него (рис.1).

Для оценки скорости оседания взвешенных веществ (ВВ) и расчета потока Mn^{4+}, поступающего на дно водохранилища, были использованы специально сконструированные седиментационные ловушки, установленные в контрольных точках отбора.

Методика пробоотбора включала отбор 8-ми проб воды на каждой вертикали по следующей схеме: поровая вода, вода придонного слоя (30 см, 60 см, 90 см, 120 см от дна), а также на глубине 0,6h, 0,4h и 0,2h (где h – глубина, м). Отбор ВВ осуществлялся в цилиндрические пробирки объемом 50 мл в течение 1–2 суток. Пробы верхнего слоя (0–10 см) донных отложений отбирали дночерпателем Петерсена. Поровую воду из донных от-

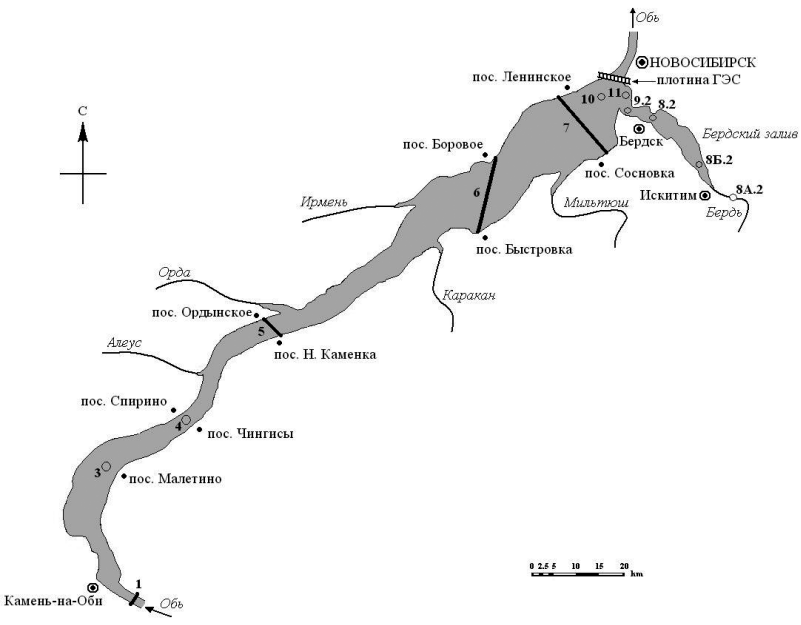


Рисунок 1. Схема точек и створов отбора проб на Новосибирском водохранилище

ложений отстаивали или отжимали в инертных условиях (в токе азота). Отобранные пробы воды фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм и консервировали 0,2 N азотной кислотой. Пробы донных отложений и взвешенных веществ разлагали смесью кислот в микроволновой печи MARS-5. Определение марганца проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии в графитовой кювете (пробы воды) или в воздушно-ацетиленовом пламени (ДО и ВВ) на приборе SOLAAR-M6 фирмы Thermo Elemental.

Известно, что при восстановительных условиях происходит восстановление Mn^{4+} до Mn^{2+} и возникает мощный поток растворимого в воде Mn^{2+} из донных отложений в водную толщу, оценку которого можно провести с помощью двухслойной диагенетической модели [Berner, 1980], рассчитывающей на основе 1-го закона Фика плотность потока веществ из донных отложений в поверхностную воду:

$$J_0^* = -\Phi_0 \left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)_0 D_S \qquad (1)$$

где индекс 0 означает взаимодействие на границе раздела ДО – вода; J^* – плотность потока ($г^1м^{-2}с^{-1}$); Ф – пористость верхнего 1 см слоя ДО; $(\partial C/\partial x)_0$ – градиент концентраций на границе раздела ($г^1м^{-4}$); D_S – коэффициент диффузии, который связан с коэффициентом молекулярной диффузии соотношением [Ullman,1982]:

$$D_S = D \cdot \Phi^{m-1},$$

где D – коэффициент молекулярной диффузии в свободном растворе; m – эмпирический фактор (m = 2,5-3 при $\Phi \geq 0{,}7$; m = 2 при $\Phi < 0{,}7$).

Плотность потока 2-х валентного марганца от придонного слоя воды к поверхности можно также рассчитать с помощью 1-го закона Фика:

$$F = -D \frac{\partial C}{\partial x} \qquad (2)$$

где D – коэффициент диффузии Mn^{2+} в растворе, равный $6{,}88 \cdot 10^{-6}$ $см^2$ $сек^{-1}$; C – концентрация Mn^{2+} (мкг/$см^3$); x – расстояние от дна (см).

Для сравнения потока растворенных форм марганца, поступающих со дна водохранилища и с реч-

Таблица 1. Скорость осаждения взвешенных веществ (ВВ) и взвешенных форм Mn^{4+} в донные отложения Новосибирского водохранилища, а также поступления растворенных форм Mn^{2+} из донных отложений в воду в различные сезоны 2013–2014 г. (г/$м^2$сутки).

НОМЕР ВЕРТИКАЛИ ОТБОРА ПРОБ	ИЮНЬ 2013			АВГУСТ 2013			ОКТЯБРЬ 2013			ФЕВРАЛЬ 2014		
	ВВ↓	Mn^{4+}↓	Mn^{2+}↑	ВВ↓	Mn^{4+}↓	Mn^{2+}↑	ВВ↓	Mn^{4+}↓	Mn^{2+}↑	ВВ↓	Mn^{4+}↓	Mn^{2+}↑
т. 8.2	100	0,19	<0,01	120	0,41	1,1	19	0,05	<0,01	<0,002	<0,001	1,6
т. 9.2	–	–	–	48	0,26	0,7	7,5	0,07	<0,01	<0,002	<0,001	1,1

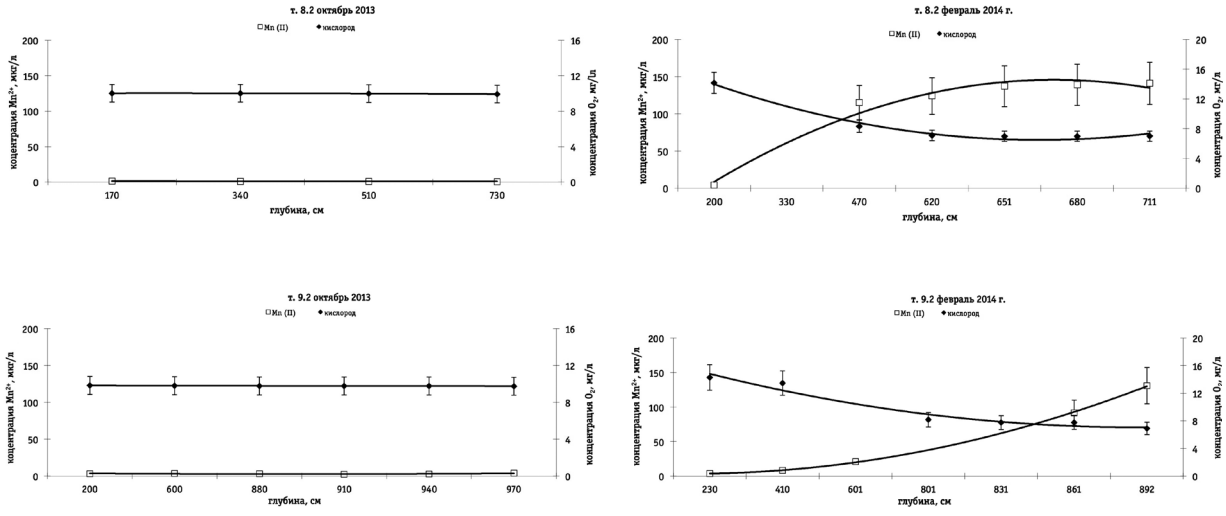


Рис. 2. Содержание растворенных форм марганца (II) и кислорода в воде Новосибирского водохранилища на различных глубинах (вертикаль 8.2 и 9.2, октябрь 2013 г. и февраль 2014 г.)

ным стоком Оби, в разные гидрологические периоды были рассчитаны расходы растворенных форм марганца, проходящие через входной створ, расположенный в районе г. Камень-на-Оби:

$$J_r = C_{Mn} \cdot Q \qquad (3)$$

где J_r – расход марганца (г/с), C_{Mn} – концентрация марганца (г/м^3), Q – расход воды (м^3/с) во входном створе водохранилища.

Полученные значения потока растворенных форм марганца от придонного слоя до поверхности воды через площадь сечения 1 м^2 за сутки приведены в таблице 1.

Наши расчеты показали, что максимальный поток растворенных форм марганца в Новосибирском водохранилище наблюдается с конца февраля до середины апреля, а также в период максимального развития биоты в августе – начале сентября. В это время в поровых водах донных отложений при недостатке кислорода устанавливаются восстановительные условия, которые обеспечивают существенный вклад в поступление марганца в воду водохранилища (до 250–400%) относительно основного источника его поступления – речного стока, в то время как в остальные сезоны года этот вклад не превышает 10–30%.

При доминирующих восстановительных условиях в весенний подледный период концентрация растворенного марганца от дна до самых верхних слоев может достигать значений, превышающих в 1,5 раза ПДК для водоемов культурно-бытового водопользования. При этом для открытой воды (период максимального развития биоты) высокие концентрации, превышающие нормативные значения, ограничиваются придонным слоем в 3–3,5 м. Для уточнения модели поступления Mn^{2+} из донных отложений в воду Новосибирского водохранилища в каждой точке вертикали отбора проб наряду с марганцем определяли содержание растворенного кислорода. Распределение концентрации марганца и кислорода в подледный период (февраль 2014 г.) имеют четкую обратно пропорциональную зависимость (рис. 2), показывающую, что по вертикальному распределению растворенного кислорода можно реконструировать распределение растворенных форм марганца.

Поступление марганца из потока воды в донные отложения происходит в составе взвешенных веществ (Mn^{4+}). Наибольший поток взвешенных форм марганца достигает в августе-сентябре месяце (до 0,3–0,5 г·м$^{-2}$сутки$^{-1}$), во время весеннего паводка поступление марганца происходит со скоростью 0,05–0,2 г·м$^{-2}$сутки$^{-1}$, а в остальное время (особенно в подледный период) поток марганца из воды в донные отложения очень слабый или почти полностью отсутствует (Таблица 1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Мартынова М.В. Обмен соединениями Mn между донными отложениями и водой 1. поток Mn из воды на дно // Водные ресурсы, 2013. – Т. 40, № 6. – С. 593–602.

Папина Т.С., Третьякова Е.И., Эйрих А.Н. Оценка поступления биогенных элементов из донных отложений в воду Новосибирского водохранилища // Вода, химия и экология, 2012. – №6. – С. 3–10

Ardelan M.V. Steinnes E. Changes in mobility and solubility of the redox sensitive metals Fe, Mn and Co at the seawater-sediment interface following CO2 seepage // Biogeosciences, 2010. – V. 7. – P. 569–583.

Berner R.A. Early digenesis: A theoretical approach // Princeton University press. Princeton. 1980. 241 pp.

De Schamphelaire L., Rabaey K., Boon N., Verstraete W., Boeckx P. Minireview: The potential of enhanced manganese redox cycling for sediment oxidation // Geomicrobiology Journal, 2007.– V. 24. – P. 547–558.

Lopez P. Composition of porewater and benthic fluxes in the Mesohaline Es Grau lagoon (Minorca, Spain) during spring and early summer // Wetlands, 2004. – V. 24(4). – P. 796–810.

Liu S.M., Zhang J, Jiang W.S. Pore water nutrient regeneration in Shallow coastal Bohai Sea, China // Journal of Oceanography, 2003. – V. 59. – P. 377–385.

Smith L.G. Missisquoi bay sediment phosphorus cycling: The role of organic phosphorus and seasonal red-ox fluctuations // Thesis presented to the Faculty of the Graduate College of the University of Vermont for the degree of Master of Science specializing in Geology, 2009. – 130 pp.

Ullman W.J, Aller R.C. Diffusion coefficients in nearshore marine sediments. // Limnol. Oceanography, 1982. – V. 27. – P. 552–556.

Wu F, Qing H, Wan G. Regeneration of N, P, and Si near sediment/water interface of lakes from south-western China plateau. // Wat. Res., 2001. – V. 35. – P. 1334–1337.

INFLUENCE OF SEASONAL CHANGES OF THE OX-RED CONDITIONS AT EMISSION AND DISTRIBUTION OF MANGANESE IN RESERVOIRS WITH LONG WINTER ICE COVER (A CASE STUDY OF THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR)

Papina T.S., Eirikh A.N., Serykh T.G., Uskov T.N., Dryupina E.Yu.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, papina@iwep.ru

ABSTRACT

The paper deals with the seasonal features of the exchanged processes in the sediments (pore solution) - water flow in the Novosibirsk reservoir. The maximum flux of the dissolved manganese (Mn^{2+}) from the bed sediments to the water is observed from late February to mid-April (before ice floating), as well as in the period of maximum development of the biota in August, when there are strong reducing conditions in the sediments and bottom water. At that time sediments make significant contribution to manganese input into the water of the Novosibirsk reservoir (up to 250–400% respect to the river discharge – the main source of Mn in the reservoir), while in other seasons, this contribution does not exceed 10–30%. Additionally, in the winter-spring period the clearly expressed vertical distribution of the dissolved manganese were observed, at that Mn concentrations were in the reverse of the dissolved oxygen concentrations. During this low water period (before ice floating) vertical changes of dissolved manganese from the bottom to the water surface exceeded the Russian national water quality criteria at all depths of the water column, except at the surface layer. Manganese sedimentation (Mn^{4+}) from the water column to the bottom takes place in the composition with suspended matter. The greatest fluxes of suspended manganese were in August-September (0.3–0.5 g/m^{2}day), during the spring flood these fluxes rich only 0,05–0,2 g/m^{2}day, and in the rest time (especially in the ice cover period) fluxes are very weak or practically absent.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН И ВЫСОКОГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рец Е.П.[1], Фролова Н.Л.[2], Киреева М.Б.[2], Лошакова Н.А.[2], Чижова Ю.Н.[3], Буданцева Н.А.[3], Васильчук Ю.К.[3], Токарев И.В.[4]

[1] Институт водных проблем РАН, Москва

retska@mail.ru

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, Москва

[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, Москва

[4] Ресурсный центр СПбГУ "Геомодель", Санкт-Петербург

Результативность изотопных методов при исследовании природных водных объектов со сложным режимом, труднодоступных и в суровых климатических условиях была продемонстрирована на примере высокогорного бассейна р. Джанкуат с большой долей оледенения (Северный Кавказ) и меромиктического водоема – оз. Трёхцветное (побережье Кандалакшского залива Белого моря).

Результативность изотопных методов при исследовании природных водных объектов со сложным режимом, труднодоступных и в суровых климатических условиях была продемонстрирована на примере высокогорного бассейна р. Джанкуат с большой долей оледенения (Северный Кавказ) и меромиктического водоема – оз. Трёхцветное (побережье Кандалакшского залива Белого моря).

В гидрологических исследованиях природные изотопы кислорода (^{18}O) и водорода (дейтерий и тритий) широко применяются в качестве естественных трассеров, что обусловлено их консервативным поведением в воде и значительной вариабельностью изотопных соотношений $^{2}H/^{1}H$ и $^{18}O/^{16}O$. Вариации и соотношение таких изотопов кислорода и водорода, существующие в природе, характеризуют процессы конденсации влаги, испарения и смешения вод разного генезиса. Все воды (дождевые, талые снеговые и ледниковые), как правило, имеют свой индивидуальный изотопный состав, нередко существенно различающийся.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ И ДАННЫЕ

Трехцветное озеро расположено в Пеккелинской губе Белого моря. Размеры водоема: 340 м × 150 м, наибольшая глубина 7,5 м. Абсолютная отметка льда в феврале 2014 г. – 1,25 м, а поверхности воды – 0,85 м. Площадь водосбора – 643 809 м^2, площадь самого озера – 32 407 м^2. Приливных колебаний не наблюдается.

Также были исследованы еще четыре водоема, находящихся на разных стадиях отделения от моря: лагуна на Зеленом мысу, Кисло-Сладкое (полупресная лагуна), Нижнее Ершовское и Верхнее Ершовское. В указанных водоемах изучены изотопные, гидрофизические и биологические характеристики на разных глубинах. Отбор проб воды и льда из озера Трехцветное был проведен 21 марта 2012 г., 18 марта 2013 г., 2 февраля 2014 г., 16 июня 2014 г. и 31 января 2015 г.

Высокогорный бассейн р. Джанкуат площадью 9,09 км^2 со средней высотой 3285 м и степенью оледенения около 0,5 расположен в приводораздельной части северного склона Главного Кавказского хребта. Это – типичный участок альпийского высокогорья с широко развитым оледенением. Комплексные наблюдения в горно-ледниковом бассейне Джанкуат по программе МГД начаты сотрудниками МГУ ещё в 1965 г. и ведутся до настоящего времени без перерывов.

Программа полевых работ 2013 и 2014 гг. включала: 1) измерение стока р. Джанкуат в течение периода абляции с временным шагом 1 час; 2) отбор проб воды р. Джанкуат на стабильные изотопы в замыкающем створе в течение периода абляции: в 2014 г. – два раза в сутки (всего 674 пробы), в 2013 г. было сделано 5 серий суточных ходов [Чижова и др., 2014]; 3) отбор проб снега, фирна и льда с различных частей ледника Джанкуат, атмосферных осадков, а также соответствующих проб из отдельных водотоков бассейна, для определения изотопного состава и минерализации (суммарно 209 проб); 4) регистрация электропроводности воды р. Джанкуат на гидрометрическом створе в течение всего сезона абляции 2014 г., ежесуточно по 5–8 сроков в день.

Изотопные определения выполнялись параллельно в двух лабораториях: в эколого-геохимиче-

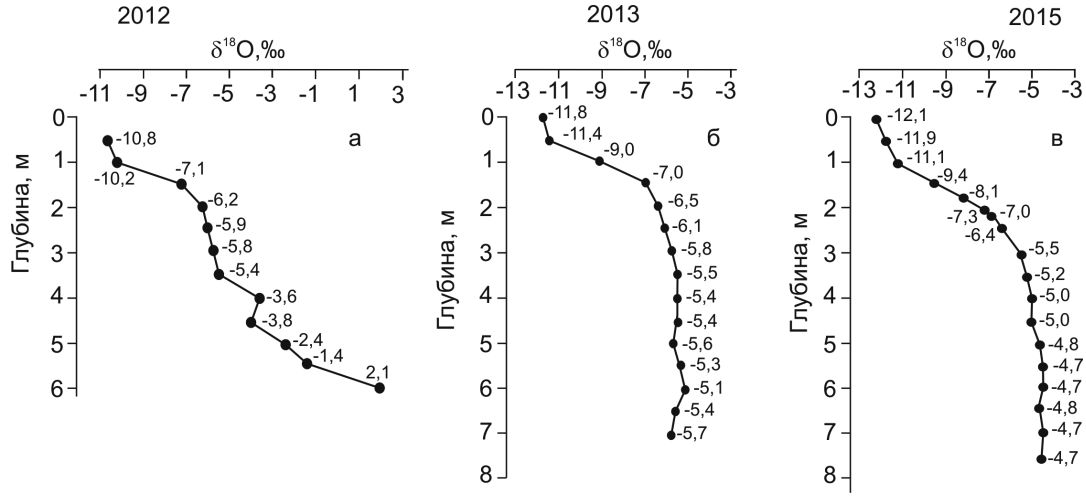


Рис. 1. Распределение вариаций $\delta^{18}O$ по глубине в воде меромиктического озера Трёхцветное в 2012 (а), 2013 г. (б) и в 2015 г. (в)

ской лаборатории географического факультета МГУ на масс-спектрометре Delta-V со стандартной опцией газ-бенч и в Ресурсном центре "Геомодель" Научного парка СПбГУ на лазерном инфракрасном анализаторе изотопного состава воды Picarro L-2120i. Для измерений использовали международный стандарт среднеокеанической воды V-SMOW (значение $\delta^{18}O$ = 0‰), международный стандарт GISP (значение $\delta^{18}O$ = -24,76‰) лабораторные стандарты МАГАТЭ (IAEA 12, значение $\delta^{18}O$= -12,1‰, IAEA 13, значение $\delta^{18}O$ = -33,35‰), собственный лабораторный стандарт МГУ – снег ледника Гарабаши (значение $\delta^{18}O$ = -15,60‰). Точность определений составила ±0,1‰ по кислороду-18 и ±1‰ по дейтерию. Результаты определения $\delta^{18}O$, которые были получены независимо в ходе анализа двумя лабораториями, показали высокую степень сходимости. Коэффициент корреляции составил 0,97.

РЕЗУТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОТОПНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЗ. ТРЕХЦВЕТНОЕ

Из всех исследованных водоемов района, отделяющихся от моря, оз. Трехцветное лучше всех отвечает понятию меромиктического. Вертикальная стратификация сохраняется постоянной в течение года и не менялась на протяжении шести лет наблюдений. На дне водоема (с глубины от 1,5 м в 2012 г. до 2 м в последующие годы) расположена анаэробная зона с высоким содержанием сероводорода.

По изотопным данным оз. Трехцветное типично меромиктическое, с полным выраженным профилем. В 2013 и 2015 году распределение $\delta^{18}O$ и δD по глубине в целом подобно (рис. 1). Выделяется зона миксолимниона (0–1 м), со значениями $\delta^{18}O$ варьирующими, в основном, в пределах -12 – -11‰ и значениями δD от -85 до -93‰. Зона с переходными свойствами располагается на глубине 0,5–3,0 м, глубже, от 3,0 до 7,0 м – зона монимолимниона, в которой отмечены наиболее высокие значения $\delta^{18}O$ (однако не превышающие эти значения для морской воды), и довольно однородное распределение значений по глубине от -5,5 до -4,77‰ в 2015 г. (от -5,82 до -5,66‰ в 2013 г.), а значения δD достигают -42,4‰.

Высокий сизигийный прилив в ноябре 2011 г., совпавший с ветровым нагоном, забросил свежую морскую воду в оз. Трехцветное, для которого это является уникальным событием. В результате мощность миксолимниона в 2012 году была значительно больше последующих лет (рис. 1), а также он стал солоноватым (4,9–5,2‰).

В пределах слоя монимолимниона были получены необычные значения δD: в 2013 г. на глубине от 4 до 6,5 м – 779,1–1109,4‰, в 2015 г. на глубине 3,5–7,6 – от 1638,4 до 2530,3‰, что может быть связано с высокой активностью микроорганизмов, которые осуществляют окислительно-восстановительные процессы с образованием водорода, сероводорода и метана.

Столь высокое содержание дейтерия не обнаруживается, как в других водоемах района, так и в прочих наземных природных объектах. В известных содовых меромиктических озерах экстремальные значения δD в воде достигают +29,7‰ в кратерном озере вулкана Эль Чичон, в Мексике [Taran, Rouwet, 2008]. Единственный объект, по которому получены столь же высокие концентрации дейтерия – это воды, попутно извлекаемые при эксплуатации нефтегазоконденсатных месторождений – от 10–100 до 200, 500 и до 1300‰ [Зыкин, 2012].

Таблица 1. Значения $\delta^{18}O$, δD и минерализации источников питания р. Джанкуат

	ЗИМНИЙ СНЕГ	ВЕСЕННИЙ СНЕГ	ФИРН	ЛЕД	ДОЖДЬ	ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ
Средняя $\delta^{18}O$, ‰SMOW	-14,4	-7,4	-10,5	-13	-4,7	-11,5
интервал	-11 … -19	-6 … -9	-8 …-14	-10… -16	0 … -11,0	-11 … -12
Средняя δD, ‰SMOW	-101	-45	-70	-89	-21,1	-77
интервал	-67…-137	-28…-71	-53…-95	-65…-116	32 … -85	
Средняя минерализация, мг/л	11,6	8,67	13,3	15,1	12,3	96,7
интервал	6,4…33,5	7,36…9,71	6,14…22,5	9,8…39,6	-	83,2…105

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА ВЫСОКОГОРНОЙ РЕКИ ДЖАНКУАТ ПРИ ПОМОЩИ ИЗОТОПНО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА

Для высокогорных рек с большой долей оледенения бассейна характерна сложная структура питания, определяющая водный и гидрохимический режим стока. В структуре питания обычно выделяют не менее 5–6 компонент: таяние льда и фирна с различных частей ледника; таяние сезонного снега, как с ледниковой, так и с неледниковой части бассейна; летние дождевые осадки; подземные воды.

Наиболее тяжелый изотопный состав характерен для жидких атмосферных осадков: среднее содержание $\delta^{18}O$ в отобранных пробах составило -4,7‰, δD = -21,1‰ (табл. 1). Также относительно более тяжелый изотопный состав характерен для отложившегося в период весенных снегопадов снежного покрова ($\delta^{18}O$ в среднем -7,4‰, δD = -45‰) Наименьшая концентрация исследуемых изотопов характерна для зимнего снега ($\delta^{18}O$ от -19 до -11‰, δD от -67 до -137‰). Фирн, лед и грунтовые воды имеют относительно схожий изотопный состав с точки зрения $\delta^{18}O$ и δD, вследствие чего эти компоненты в общем стоке реки невозможно разделить, используя уравнение изотопного баланса.

Содержание $\delta^{18}O$ и δD в пробах имеет тесную линейную связь между собой. Таким образом, в контексте задачи расчленения гидрографа данные показатели дублируют информацию, поэтому в дальнейшем использовалось только уравнение баланса $\delta^{18}O$.

В отличие от изотопов $\delta^{18}O$ и δD, минерализация является неконсервативной характеристикой, она может быть показателем того, как вода стекала по водосбору. Та часть воды, которая сразу же стекает по поверхности ледника и затем по системе ручейков, не успевает насытиться растворенными солями, что обуславливает ее относительно низкую степень минерализации. Грунтовые воды и вода, которая протекает по непокрытой ледником части бассейна, просачиваясь через мощный слой отложений, насыщается солями (до 105 мг/л).

Вследствие многокомпонентности структуры питания высокогорных рек, решение системы уравнений ионного, изотопного и водного баланса возможно только для тех фаз периода абляции, когда возможно пренебречь отдельными компонентами, чтобы уменьшить число неизвестных. Так, для конца периода абляции, когда можно пренебречь составляющей сезонного снега, была составлена следующая система уравнений:

$$\begin{cases} \delta^{18}O = (q_i + q_f)\,\delta^{18}O_{if} + q_{gr}\,\delta^{18}O_{gr} + q_p\delta^{18}O_p & (a) \\ q_i + q_f + q_{gr} + q_p = 1 & (b) \\ M = (q_i + q_f)M_{if} + (q_{gr} + q_p)\,M_{gr} & (c) \end{cases} \quad (1)$$

где q_i, q_f, q_p и q_{gr} – это доли талой ледниковой воды, фирна, жидких атмосферных осадков и грунтовых вод в речном стоке; $\delta^{18}O$ – концентрация ^{18}O в речном стоке; $\delta^{18}O_p$ и $\delta^{18}O_{gr}$ – среднее значение концентрации ^{18}O в жидких осадках и грунтовой составляющей, соответственно, $\delta^{18}O_{if}$ – средняя концентрации ^{18}O льда и фирна, M – фоновая минерализация в замыкающем створе, M_{if} – среднее значение минерализации льда и фирна, M_{gr} – среднее значение минерализации грунтовых вод.

Совместное решение уравнений *(b)* и *(c)* системы уравнений (1) для дней без значительных осадков, когда данной составляющей можно пренебречь, позволяет получить долю грунтовой составляющей в суммарном стоке р. Джанкуат. Так для сентября 2014 года средний расход грунтовых вод составил 0,42 м^3/с, а его доля – от 30 до 100% (рис. 2). Совместное решение уравнений *(a)* и *(b)* при известной величине грунтового стока, позволяет отделить талую компоненту от жидких атмосферных осадков в общем стоке реки Джанкуат (рис. 2) К концу периода абляции сток, образованный за счет таяния льда и фирна, постепенно истощается и совсем утрачивает свою силу к концу сентября.

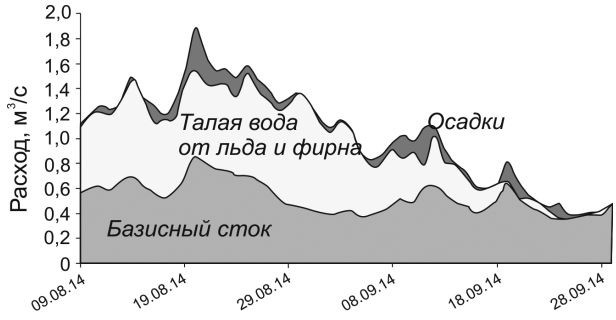


Рис. 2. Расчленение гидрографа р. Джанкуат за август – сентябрь 2014 г.

ВЫВОДЫ

Применение изотопных методов ввиду консервативности изотопного состава вод различного происхождения, позволяет выявить генезис компонентов стока реки и водных масс водоема. Совместное решение уравнения изотопного, солевого и водного баланса позволило разделить генетические составляющие стока р. Джанкуат для конца периода абляции 2014 г. Полученные данные об изотопном составе воды в оз. Трёхцветное позволяют сделать выводы о режиме взаимодействия с морскими водами. В пределах слоя монимолимниона озера были получены аномально высокие значения δD.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №14–27–00083 в части изотопного анализа), а также при поддержке фонда РФФИ (грант №14-05-31239 в части полевых исследований).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., Рец Е.П., Лошакова Н.А., Поповнин В.В., Васильчук Ю.К. Вариации изотопно-кислородного состава талого стока ледника Джанкуат на Центральном Кавказе // Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2014, № 6.

Зыкин Н.Н. Попутные воды нефтегазоконденсатных месторождений как нетрадиционное сырье для газохимического производства // Газовая промышленность, 2012. - Спец. вып. С. 38–42.

Taran Yu., Rouwet D. Estimating thermal inflow to El Chichon crater lake using the energy-budget, chemical and isotope balance approaches // Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2008. – Vol. 175(4) – P. 472–481.

USING STABLE ISOTOPES TO INVESTIGATE COASTAL LAKES AND ALPINE RIVERS

Rets E.[1], Frolova N.[2], Kireyeva M.[2], Loshakova N.[2], Chizhova J.[2], Budantseva N.[2], Vasilchuk Yu.[2], Tokarev I.[3]

[1] Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[2] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

[3] Resource center "Geomodel", Research park, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

retska@mail.ru

ABSTRACT

The effectiveness of isotope methods in the study of natural water bodies with complex hydrological regime, under the conditions of harsh climate and remoteness, has been demonstrated by the example of alpine basin Dzhankuat with a high degree of glaciation (the North Caucasus) and meromictic reservoir – lake Trekhtsvetnoje (the coast of the Kandalaksha Bay of the White Sea).

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Решетняк О.С.[1,2]

[1]*ФГБУ "Гидрохимический институт" Росгидромета, Ростов-на-Дону*

[2]*Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону*

olgare1@mail.ru

Рассмотрены региональные особенности химического состава воды речных экосистем Европейской территории России на основе изучения пространственной изменчивости модальных интервалов концентраций химических веществ. Выявлено, что концентрации в воде различных соединений значительно варьируют по природным зонам. Наиболее высокое региональное содержание химических веществ по сравнению с другими зонами отмечено для речных экосистем зон тайги и смешанных и широколиственных лесов.

Европейская территория России (ЕТР) характеризуется широким биоклиматическим диапазоном – от арктической пустыни и тундры до полупустынь и пустынь. Такая сложность строения территории обусловливает необходимость учета региональных особенностей формирования химического состава воды водных объектов при изучении изменчивости качества воды и состояния водных экосистем. Поэтому данная работа, посвященная выявлению региональных особенностей химического состава воды речных экосистем ЕТР, является актуальной.

Материал исследования – многолетняя (1980–2012 гг.) режимная гидрохимическая информация государственной системы наблюдений (ГСН) Росгидромета. Объектами исследования являются более двухсот речных экосистем (участков рек) в различных природных зонах ЕТР, вода которых имеет сложный многокомпонентный состав, изменяющийся во времени и пространстве. В работе использована информация о химическом составе водной среды в 17 пунктах наблюдений на 13 реках в зонах тундры и лесотундры, 89 пунктах наблюдений на 68 реках в зоне тайги, 65 пунктах наблюдений на 47 реках в зоне смешанных и широколиственных лесов, 56 пунктах наблюдений на 37 реках в зоне лесостепей и 40 пунктах наблюдений на 28 реках в зоне степей.

Использование карты физико-географического районирования Геопортала Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова позволило распределить исследуемые речные экосистемы по природным зонам [*http://www.geogr.msu.ru:802/FGR/*]. Из-за недостаточности наблюдений в исследование не включены участки рек горных районов и функционирующие в условиях аридного климата (в зонах полупустынь и пустынь).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Региональные особенности химического состава воды рек ЕТР рассмотрены по пространственной изменчивости модальных интервалов (МИ) концентраций химических веществ. Для этого рассчитаны МИ концентраций многолетних рядов наблюдений для таких химических веществ, как хлориды, сульфаты, азот аммонийный, азот нитритный, легкоокисляемые органические вещества (ЛООВ), определяемые по показателю $БПК_5$, нефтепродукты, фенолы, соединения железа (общего), меди, цинка, никеля и марганца.

Далее для выявления региональных особенностей химического состава речных вод модальные интервалы были обобщены для всех речных экосистем каждой природной зоны. Результаты такого обобщения представлены в таблице.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя представленные в таблице данные, можно выделить для речных экосистем, находящихся в различных природных зонах ЕТР, ряд закономерностей, характеризующих ширину МИ значений концентраций ("антропогенно измененный" природный фон [Никаноров, Брызгало, 2006; Никаноров и др., 2007]). Во всех природных зонах ЕТР верхние границы модальных интервалов по ряду показателей незначительно меняются при переходе от одной природной зоны к другой: так верхняя граница МИ концентрации ЛООВ превышала ПДК в 1,0–3,0; азота аммонийного – 2,0–2,6; соединений никеля – 1,5–2,0; соединений цинка – 1,5–4,5 и азота нитритного в 3,0–5,0 раз. Эти показатели можно считать стабильными и не под-

Таблица. Обобщённые модальные интервалы многолетних вариационных рядов концентраций химических веществ, формирующих химический состав воды речных экосистем различных природных зон ЕТР

ИНГРЕДИЕНТЫ (ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА)	ОБОБЩЕННЫЕ МИ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ДЛЯ ЗОН (В МГ/ДМ^3)				
	ТУНДРА И ЛЕСОТУНДРА	ТАЙГА	СМЕШАННЫЕ И ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА	ЛЕСОСТЕПЬ	СТЕПЬ
Хлориды	1,10–7,10	1,10–22,7	5,70–79,2	1,00–121	1,40–284[1]
Сульфаты	0,40–24,2	0,50–85,5[2]	3,80–164	0,96–356[3]	38,9–410[4]
ЛООВ* (по $БПК_5$)	0,52–4,05	0,62–6,85	0,16–6,86[5]	1,84–7,91	1,52–6,32
Азот аммонийный	н.о.**–0,72	н.о.–0,70[6]	н.о.–1,00[7]	0,28–0,86[8]	0,09–0,64[9]
Азот нитритный	н.о.–0,010	0,001–0,060[10]	н.о.–0,066[11]	0,007–0,090[12]	0,006–0,099
Фенолы	0,002–0,006	0,001–0,010	0,001–0,008	н.о.–0,005	0,001–0,006
Нефтепродукты	0,02–0,10	0,01–0,56[13]	0,01–0,70	0,02–0,45	0,05–0,45
Соединения железа	0,04–0,82	0,04–0,96[14]	0,08–0,94[15]	0,04–0,70	0,04–0,85[16]
Соединения меди	0,004–0,008	0,001–0,012	0,002–0,012	0,001–0,007	0,002–0,012
Соединения цинка	0,006–0,031	0,003–0,045	0,001–0,028	0,001–0,015	0,003–0,031
Соединения никеля	0,001–0,008[17]	0,001–0,020	н.о.–0,015	н.о.–0,009	н.о.–0,008
Соединения марганца	0,010–0,050	н.о.–0,123[18]	0,008–0,163	0,011–0,108[19]	нет данных

Примечания: *ЛООВ – легкоокисляемые органические вещества, **н.о. – ниже предела обнаружения.

Исключения: 1 – рр. Северский Донец, Маныч, Средний Егорлык (МИ = 191–576 мг/дм^3); 2 – рр. Можель, Ухта (МИ = 71,8–140 мг/дм^3); 3 – рр. Дон, Быстрый Танып (МИ = 307–552 мг/дм^3); 4 – рр. Кундрючья, Маныч, Миус (МИ = 594–1120 мг/дм^3) и р. Средний Егорлык (МИ = 1190–2738 мг/дм^3); 5 – рр. Москва, Клязьма, Неман (МИ = 3,08–10,00 мг/дм^3); 6 – рр. Волошка, Вологда и Охта (МИ = н.о.–2,81 мг/дм^3); 7 – рр. Москва, Пахра и Клязьма (МИ = н.о.–5,20 мг/дм^3); 8 – рр. Инсар, Упа, Степной Зай, Зай Дон (МИ = 0,10-2,65 мг/дм^3); 9 – рр. Калаус, Чапаевка (МИ = н.о.–1,84 мг/дм^3); 10 – рр. Вологда, Мга (МИ = н.о.–0,110 мг/дм^3); 11 – рр. Москва, Пахра и Клязьма (МИ = н.о.–0,216 мг/дм^3); 12 – рр. Упа, Степной Зай, Зай, Оскол, Тихая Сосна (МИ = 0,010–0,212 мг/дм^3); 13 – р. Вига (МИ = н.о.–1,12 мг/дм^3); 14 – р. Нея (МИ = 0,005–1,24 мг/дм^3); 15 – р. Пра (МИ = 1,33–2,60 мг/дм^3); 16 – р. Калаус (МИ = 0,005–1,14мг/дм^3); 17– р. Печенга (МИ = 0,016–0,045мг/дм^3); 18 – р. Вига (МИ = н.о.–0,204 мг/дм^3); 19 – рр. Дон, Упа, Быстрый Танып (МИ = 0,010–0,490 мг/дм^3).

чиняющимися классической гидрохимической зональности (т.е. региональные значения содержания этих веществ мало изменяются в зависимости от природно-климатических условий).

Относительно высокое, но равномерное содержание в речных водах наблюдается для фенолов – во всех природных зонах ЕТР верхняя граница МИ концентрации равна 5–8 ПДК, за исключением зоны тайги (до 10 ПДК), и для соединений железа – во всех природных зонах ЕТР верхняя граница МИ концентрации соответствует 7–10 ПДК.

Значительные различия в концентрациях отмечены по таким показателям, как нефтепродукты, соединения меди и марганца. Во всех природных зонах содержание в речной воде нефтепродуктов в пределах модальных интервалов превышало ПДК от 2 до 10 раз, по соединениям меди – от 2 до 12 и марганца – от 5 до 16.

Полученные данные согласуются с опубликованными ранее результатами исследований [Никаноров, Брызгало, 2006; Никаноров и др., 2007; Никаноров и др., 2012; Решетняк и др., 2013; Reshetnayk, 2010], в которых показано, что речные экосистемы на протяжении последних лет функционируют в условиях повышенного "антропогенно измененного" фона и находятся в "кризисном" состоянии. Кроме этого, выделяется ряд рек или их участков, с ещё более высокими содержаниями химических веществ (см. примечание к таблице). Это чаще всего реки высоко урбанизированных центральных районов ЕТР, испытывающие высокую антропогенную нагрузку и характеризующиеся наихудшим качеством воды.

Рассматривая зональное изменение концентрации компонентов химического состава рек ЕТР можно выделить следующие закономерности. При переходе от зон тундры и лесотундры к зоне степей происходит незначительное увеличение концентраций азота нитритного и легкоокисляемых органических веществ. По таким показателям как фенолы, нефтепродукты, соединения изученных тяжёлых металлов отмечается повышение их содержания в водной среде речных экосистем таёжной и лесной зон с последующим снижением при переходе к лесостепной и степной зонам.

Концентрации в воде рассмотренных соединений значительно варьируют в зависимости от природно-климатических условий. Однако можно выделить природные зоны, где региональное (природное) содержание химических веществ более высокое (максимальное) по сравнению с другими зонами – это зоны тайги и смешанных и широколиственных лесов. Для речных экосистем данных территорий характерны максимальные величины в 8–10 ПДК по фенолам, 11–14 – по нефтепродук-

там, 12 – по соединениям меди и 16–20 – по соединениям марганца.

Таким образом, химический состав водной среды речных экосистем ЕТР, функционирующих в различных природно-климатических условиях, во многом зависит от региональных (фоновых) геохимических, климатических и других характеристик. Поэтому возросла необходимость учета их природного регионального гидрохимического фона и выделения региональных особенностей функционирования речных экосистем.

Полученные результаты могут быть использованы для решения в дальнейшем таких практических задач, как оценка качества воды и состояния водных экосистем, особенно для водных объектов, подверженных длительному хроническому загрязнению, разработка региональных нормативов и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Никаноров А.М., Брызгало В.А. Пресноводные экосистемы в импактных районах России. Ростов-на-Дону: "НОК", 2006. – 275 с.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Черногаева Г.М. Антропогенно изменённый природный фон и его формирование в пресноводных экосистемах России // Метеорология и гидрология, 2007. – №11. – С. 62–79.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Решетняк О.С. Реки России в условиях чрезвычайных экологических ситуаций: монография. Ростов-на-Дону: НОК, 2012. – 310 с.

Решетняк О.С., Никаноров А.М., Брызгало В.А., Косменко Л.С. Антропогенная трансформация водной экосистемы Нижней Волги // Водные ресурсы, 2013. – Том 40, №6. – С. 623–632.

Reshetnyak O.S. The Anthropogenic Transformation of the Water Bodies of the European North of Russia // Russian Journal of General Chemistry, 2010. – Т. 80. №13. – С. 2738–2753.

Электронный ресурс. Геопортал МГУ http://www.geogr.msu.ru:802/FGR/

REGIONAL FEATURES OF CHEMICAL COMPOSITION OF RIVER ECOSYSTEM WATER ON THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Reshetnyak O.S.[1,2]

[1] *Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia*

[2] *Institute of Earth Sciences, Southern Federal University,Rostov-on-Don, Russia, olgare1@mail.ru*

ABSTRACT

The regional features of chemical composition of river ecosystem water on the European territory of Russia was review on the basis of the spatial variability of the modal intervals of the chemicals compound concentrations. It was found that the concentrations of the various compounds are vary considerably in natural areas. The highest regional content of the chemicals compounds was noted for river ecosystems of taiga and zones of mixed and deciduous forests compared with other natural areas.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЭКИБАСТУЗСКОЙ ГРЭС-1 В ПЕРИОД ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Романова С.М.[1], Искаков С.Д. [2], Амиргалиев Н.А.[3]

[1] Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы,Казахстан

[2] ТОО "Geoinformation monitoring", Алматы,Казахстан

[3] Институт географии МОН РК, Алматы,Казахстан

Sofya.romanova@kaznu.kz

Приведены результаты многолетних систематических, комплексных, экспериментальных исследований водохранилища-охладителя Экибастузкой ГРЭС-1 в соответствии с утвержденными и действующими наставлениями и инструкциями. Для определения компонентов химического состава воды применены общепринятые в гидрохимической практике методы. Произведена оценка качества воды водоема и канала его подпитки по методу КазНИИМОСК, рассчитан комплексный индекс загрязненности вод по перечню загрязняющих веществ, установленным РГП Казгидромет МООС РК согласно международным правилам мониторинга окружающей среды.

Установлено, что для водохранилища-охладителя Экибастузской ГРЭС-1 за 16-летний период эксплуатации (1979–2004 гг.) среднесезонные значения индекса загрязнения постепенно увеличивались от 0,2 до 6,3, что свидетельствует о несомненной возрастающей роли антропогенного влияния. Вода водоема в летние месяцы и октябре 2013 г. имела нормативно чистую воду. В это время значения средневзвешенного КИЗВ меньше единицы (0,50–0,65). В ноябре качество воды ухудшается, вода относится к умеренному уровню загрязнения, значение КИЗВ становится больше единицы (1,45). Основной вклад в увеличение значения КИЗВ принадлежит железу, здесь $ИЗВ_{ТМ}$ составляет 4,23.

Уникальным водоемом в Казахстане является водохранилище-охладитель Экибастузской ГРЭС-1 (ВО ЭГРЭС-1), расположенное на территории Павлодарской области в 17 км к северо-востоку от г. Экибастуз. Оно основано в промытой котловине бывшего горько-соленого озера Женгельды путем заполнения пресной водой из канала Иртыш-Караганда (ныне канал им. К. Сатпаева). Площадь водохранилища при нормальном подпорном уровне 158,50 м равна 19,5 кв. км, средняя глубина 4,6 м, максимальная у водозабора 8,5 м. Полная проектная мощность станции 4 млн кВт. Циркулярный расход воды на охлаждение конденсаторов турбин при 8 энергоблоках, мощностью каждый 500 тыс. кВт, составляет 120 $м^3/с$. В настоящее время вода водоема используется для технического водоснабжения ГРЭС, а в перспективе планируется использовать для рыборазведения и в ирригационных целях. В связи с этим актуальным является вопрос оценки качества воды.

Мелководность аридного водоема-охладителя Экибастузской ГРЭС-1, интенсивное ветровое перемешивание водных масс, воздействие солнечной радиации и дополнительный нагрев сбросных циркуляционных вод с ГРЭС способствуют отсутствию в большинстве случаев вертикальной стратификации почти всех компонентов химического состава, что отличает его от водоемов гумидных областей.

Как показали многолетние исследования авторов, изменение климатических условий в течение года, режим попусков, режим работы ГРЭС-1 оказывают влияние на протекание гидрохимических процессов, в результате которых происходит выделение карбонатов кальция из водных масс и осаждение их на дно водоема. В результате интенсивного ветрового и турбулентного перемешивания под воздействием сброса подогретых вод, насыщения воды кислородом и углекислым газом может протекать и обратный процесс: растворение хемогенных твердых частиц карбонатов кальция с образованием растворимых гидрокарбонатов кальция. Эти процессы протекают в водоеме постоянно, и в зависимости от внешних и внутренних условий, происходит смещение равновесия в ту или иную сторону, т.е. в сторону выпадения или растворения карбонатных солей.

Расчеты по определению коэффициента загрязнения (КЗ) велись на основе результатов собственных полевых и лабораторных исследований по всем показателям, превышающим предельно-допустимые концентрации: фосфор, железо, перманганатная окисляемость, нитриты, аммоний ион, фтор, бор, медь, цинк, алюминий, хром, кадмий). Число определяемых компонентов химического состава составляет 20–24.

Индексы качества воды ВО ЭГРЭС-1 с момента эксплуатации (декабрь 1979 г.) по 1993 г. при-

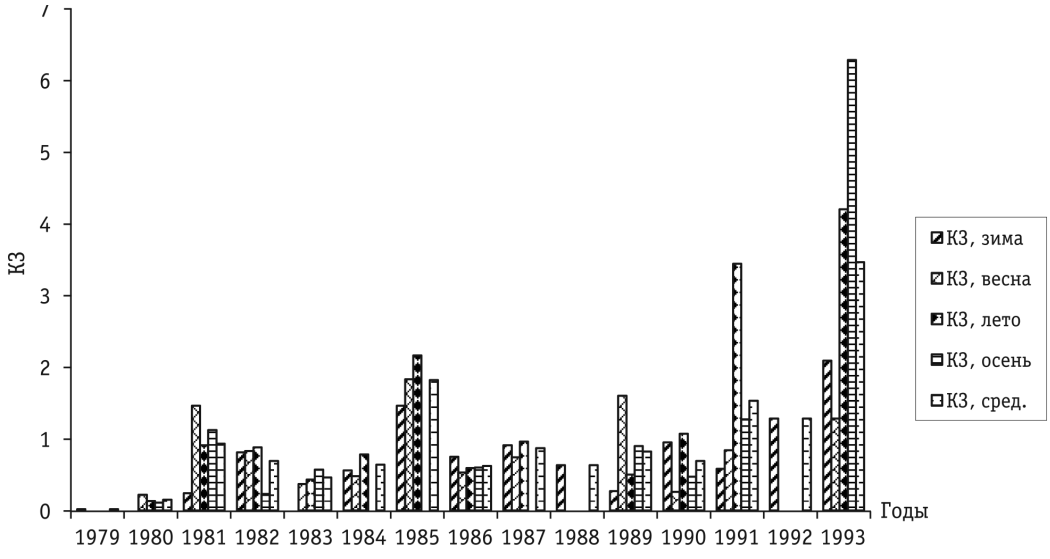


Рис. 1. Гистограмма изменения коэффициента загрязненности воды ВО ЭГРЭС-1 в многолетнем цикле

ведены на рисунке 1, а за летне-осенний период 2013 г. – в таблице 1, которые дают возможность практически оценить степень антропогенного воздействия на воду в различные сезоны года.

Для воды водохранилища основным загрязняющим ингредиентом является медь. Пределы среднесезонных значений $КЗ_{си}$ (0,04–89,75) указывают на то, что качество воды по меди за многолетний период в среднем в 11 раз хуже нормативного или на 100% превышает ПДК ($ПДК_{си}$ = 1 мкг/л). В летнее время 1985 г., 1991 г., 1993 г. и зимой 1993 г. отмечен наибольший характер воздействия меди на качество воды водохранилища: $КЗ_{Cu}$ равен, соответственно, 25,64; 36,59; 60,15 и 23,75. А максимальное значение $КЗ_{Cu}$ зафиксировано осенью 1994 г. (89,7). В это же время вода характеризуется и повышенными значениями среднего по всем показателям КЗ (2,16; 3,44; 4,20; 6,28), т.е. нормативные параметры водоема на 216–628% превышали ПДК. С 1988 г. в воде водоема были определены и другие металлы (Al, Pb, Cr, Ba, Sr), кроме Cu, Zn и Mn. Поэтому с этого времени эти металлы были включены в расчет индивидуальных, среднесезонных, среднегодовых и среднемноголетних КЗ для получения более точной характеристики качества воды.

Анализируя среднемноголетние значения КЗ других показателей качества, можно заключить, что влияние температуры ($КЗ^{t^0}$ = 0,72), значений pH (0,002), и участие хрома ($КЗ_{Cr}$ = 2,44), железа ($КЗ_{Fe}$ = 2,00), цинка ($КЗ_{Zn}$ = 1,64), алюминия ($КЗ_{Al}$ = 0,72), сульфатов ($КЗ^{SO_4^{2-}}$ = 0,59), ПО ($КЗ_{ПО}$ = 0,21), кадмия ($КЗ_{Cd}$ = 0,16), ионов аммония ($КЗ^{NH_4^+}$ = 0,09), марганца ($КЗ_{Mn}$ = 0,06), фосфора ($КЗ_{P}$ = 0,05), магния ($КЗ^{Mg^{2+}}$ = 0,03), суммы натрия и калия ($КЗ^{Na^+ + K^+}$ = 0,02) в формировании качества воды водохранилища оценивается меньшими значениями.

Поскольку вода водохранилища используется для охлаждения конденсаторов турбин ГРЭС, подогретая вода сбрасывается опять в водоем. Температура воды заметно (5–20˚С) различается на водозаборном и сбросном участках. Расчет среднемноголетнего $КЗ^{t^0}$ показал его уменьшение на 0,08 ед. летом (0,68) по сравнению с зимним периодом (0,76). Это означает, что нормативные параметры качества воды водохранилища по показателю температура в среднем, соответственно, на 68–76% превышают свои ПДК. Расчет среднегодовых значений КЗ позволил выделить 2 цикла по 7 лет: с 1979 по 1985 гг. – увеличение КЗ от 0,02 до 1,82 (на 1,80 ед.) и с 1986 по 1993 гг. – увеличение КЗ от 0,62 до 3,46 (на 2,84 ед.). Прослеживается заметная тенденция увеличения среднесезонных КЗ за 15 лет эксплуатации водоема (от зимы 1979 г. до осени 1993 г.) в 314 раз (от 0,02 до 6,28), что свидетельствует о несомненной возрастающей роли антропогенного влияния на качество воды водохранилища-охладителя.

Среднемноголетнее значение КЗ составляет 1,06, т.е. нормативные параметры качества воды этого водоема в среднем на 106% превышают свои ПДК или в 2,1 раза хуже нормативного.

Основными загрязняющими веществами для воды канала подпитки являются медь и железо. За многолетний период (14 лет) качество воды канала по меди и железу в среднем, соответственно, в 7,2 и 5,8 раза хуже нормативного. В целом сред-

Таблица 1. Значения КИЗВ для воды ВО ЭГРЭС-1

ДАТА ОТБОРА ПРОБ	$ИЗВ_{ГИ}$	$ИЗВ_{БЭ}$	$ИЗВ_{ТМ}$	$ИЗВ_{ЯВ}$	КИЗВ СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫЙ
02.08.13	0,688	0,264	0,754	0,31	0,504
16.08.13	0,636	0,235	1,440	0,28	0,648
10.10.13	0,716	0,180	0,916	0,190	0,501
15.11.13	0,613	0,741	4,233	0,21	1,449

немноголетний КЗ канала, составляющий 0,61, говорит о том, что нормативные параметры качества воды в среднем на 61% превышают свои ПДК или качество воды в 1,6 раз хуже нормативного.

В 2013 г. общая минерализация и содержание главных солеобразующих ионов распределены по акватории водоема неравномерно. Заметного различия в содержании веществ в поверхностных и глубинных водах обнаружено не было. Подсчет средних значений минерализации на водозаборе и сбросе показал как увеличение минерализации (в среднем на 11,2 мг/л) в сбрасываемой воде, так и ее уменьшение (в среднем на 6,1 мг/л). Вода при прохождении через систему охлаждения может как обогащаться минеральными солями, так и обедняться ими в силу сложившихся на данный момент физико-химических условий (температура воды, скорость течения, давление, содержание органических веществ, фитопланктона и пр.).

Не нашел подтверждения установленный факт, что температура водозабора практически постоянно меньше, чем температура водосброса.

Вода водоема в летние месяцы и октябре 2013 г. имела нормативно чистую воду (таблица 1). В это время значения средневзвешенного КИЗВ меньше единицы (0,501–0,648). В ноябре 2013 г. качество воды ухудшается, вода относится к умеренному уровню загрязнения (КИЗВ = 1,449). Основной вклад в увеличение значения КИЗВ принадлежит железу, здесь $ИЗВ_{ТМ}$ составляет 4,233.

Таким образом, выявлено влияние антропогенного фактора на протекание гидрохимических процессов и качественное состояние воды водохранилища ЭГРЭС-1.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS

Romanova S.M.[1], Iskakov S.D.[2], Amirgaliev N.A.[3]

[1] Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

[2] ALL "Geoinformation monitoring", Almaty, Kazakhstan

[3] Institute of geography of Department education and science RK, Almaty, Kazakhstan

Sofya.romanova@kaznu.kz

ABSTRACT

The results of many years systematic, comprehensive, experimental studies of the authors of the reservoir-cooler of Ekibastuz Power Plant-1 in accordance with the approved and applicable instructions and regulations. To determine the components of the chemical composition of water methods, generally accepted in hydro chemical practice, were used. An assessment of the water quality of the reservoir and channel of its feeding was done by method of Kazakh Research Institute of Monitoring Environment and Climate, the complex index of water pollution was calculated by the list of pollutants established by RSE Kazhydromet according to the international rules for environmental monitoring.

It was found that cooling reservoir of the Ekibastuz Power Plant-1 during 16 years period of operation (1979–2004) the season averaged values of pollution index gradually increased from 0.2 to 6.3, which indicates the increasing role of undoubted human influence. The renewed research of hydrochemistry of reservoir in 2013 revealed the following. The water of reservoir in the summer months and in October, 2013 was normatively clean. At this time, the values of the average Complex index contamination of water (CIOW) were less than one (0.50–0.65). In November, the water quality worsens, water is a moderate level of pollution, CIOW value becomes greater than one (1.45). The main contribution to increasing of CIOW value belongs to iron, here IOWHM is 4.23.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Семенова И.В., Булгаков В.Г., Крутских О.И., Ковалева А.А.

Научно-производственное объединение "Тайфун", Обнинск

semenova@rpatyphoon.ru

Дается анализ первых результатов эксплуатации автоматических станций контроля качества воды, установленных на разных водных объектах России.

В настоящее время в рамках проведения режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета наиболее оперативную информацию о качестве воды дают ежедневные визуальные наблюдения и определение ограниченного числа гидрохимических показателей, которые проводят только в пунктах 1 и 2 категории [РД 52.24.309, 2011]. На большинстве пунктов наблюдения контроль за качеством воды проводится периодически, с периодом между отбором проб от 7 дней до 3 месяцев. Малая периодичность пробоотбора и "запаздывание" анализа понижают достоверность измерительной информации, особенно в случае аварийных сбросов загрязняющих веществ в поверхностные воды. Таким образом, для эффективного решения природоохранных задач необходима оперативная информация о состоянии и загрязнении окружающей среды, получаемая в режиме реального времени. Такая информация для водных объектов может быть получена с использованием современных автоматических станций контроля вод (АСК-В) [Запевалов и др., 2013].

Анализ результатов мирового опыта развития систем автоматизированного мониторинга качества поверхностных вод показал, что преимущественно мониторинг ведется по 4–10 показателям, обязательными из которых являются: температура, удельная электропроводность, растворенный кислород и водородный показатель. Дополнительно в автоматическом режиме могут быть установлены датчики для измерения мутности, содержания орга-

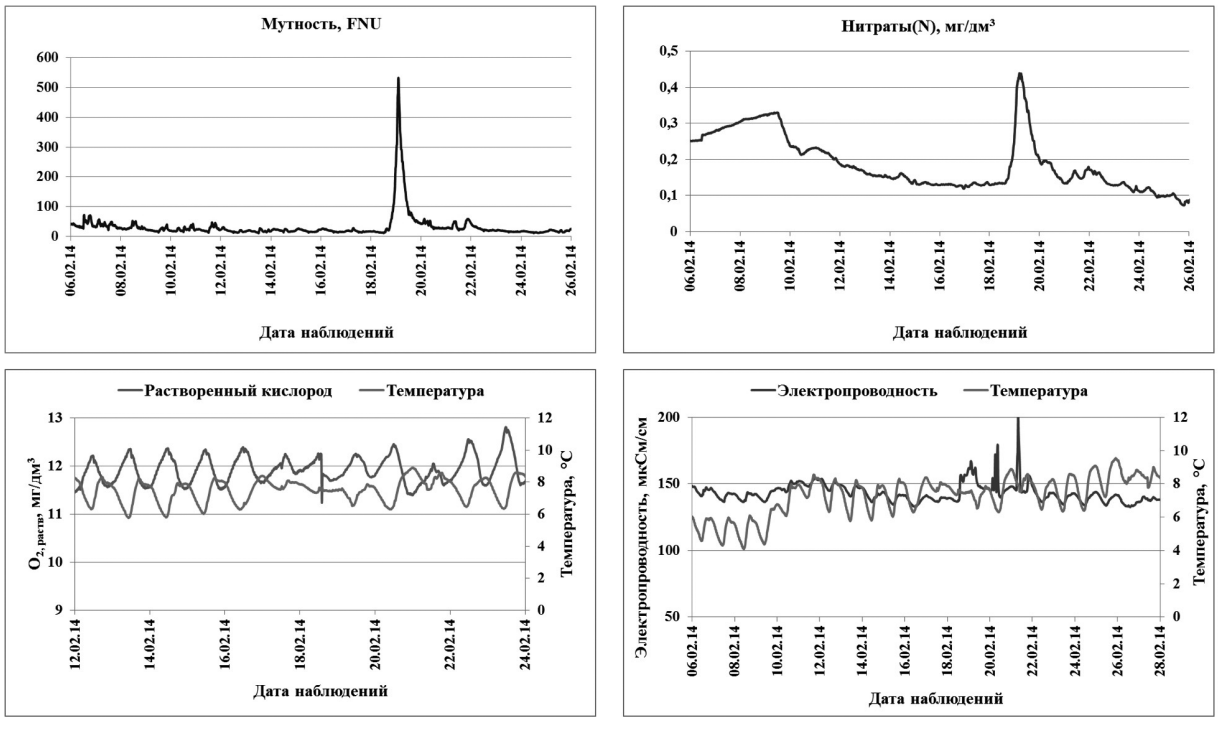


Рис. 1. Результаты мониторинга воды р. Мзымта в районе гидропоста Казачий брод (АСК-В №1) в период проведения XXII Олимпийских игр 2014 года

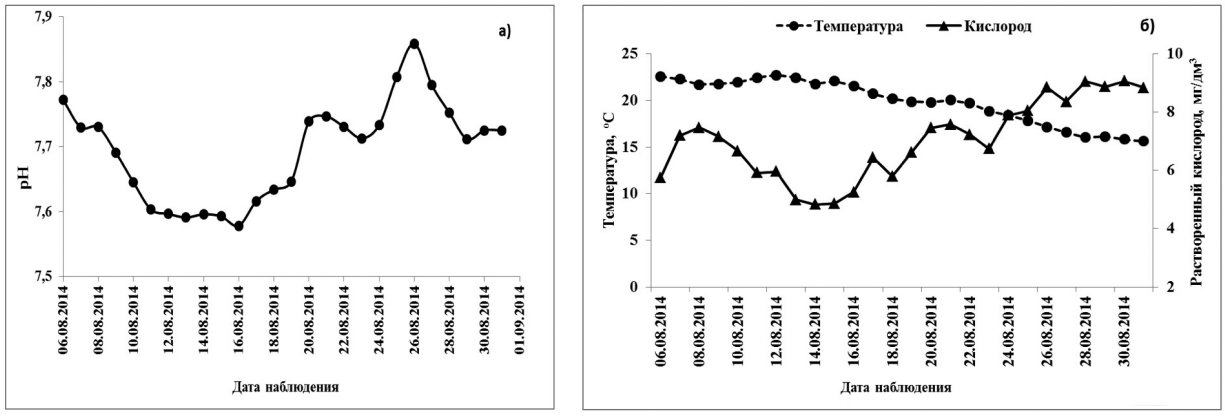


Рис. 2. Динамика изменения pH (а), температуры и концентрации растворенного кислорода (б) на р. Протве, с. Спас-Загорье, в августе 2014 г. по данным с АСК-В

нических веществ, нефтепродуктов, азота аммонийного и нитратного, фосфатов, а также еще не более двух-трех показателей [Запевалов и др., 2013]. Данные о качестве воды доступны в Интернете в режиме реального времени. Измерения качества воды регистрируются в интервалах времени от 5 минут до 1 часа и часто упоминаются как непрерывные [U.S. Geological Survey, 2015].

Таким образом, АСК-В предназначены для оперативного измерения, сбора, обработки и передачи информации о состоянии воды контролируемого пункта водного объекта по заданным параметрам; выявления резких кратковременных изменений в составе воды и уровня ее загрязнения, обусловленных антропогенными воздействиями или естественными причинами; установления суточных, сезонных и долговременных трендов качества воды.

Анализ результатов работы АСК-В, установленных на р. Мзымта в рамках системы комплексного экологического мониторинга в районе проведения Олимпийских игр СОЧИ-2014, показал, что датчики (мутности, электропроводности и нитратов) хорошо реагировали на кратковременные изменения в составе воды, связанные в основном с увеличением мутности воды, которое наблюдалось только после выпадения атмосферных осадков, преимущественно в виде дождя (рис. 1). Для таких показателей как величина электропроводности воды и содержание растворенного кислорода четко прослеживается суточный и временной ход, коррелирующий с изменением температуры воды.

В 2013–2014 гг. в рамках осуществления Федеральных целевых программ "Развитие водохозяйственного комплекса Российской федерации в 2012–2020 годах" и "Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы" было установлено три автоматических станции контроля качества вод: на р. Протва в районе существующего гидрологического поста у с. Спас-Загорье, в истоке р. Ангары и на озере Байкал в районе г. Байкальск. АСК-В позволяют в непрерывном режиме вести мониторинг до 13 физико-химических показателей качества воды: температура, водородный показатель (pH), мутность, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), цветность, содержание растворенного кислорода, нефтепродуктов, биогенных элементов (NH_4^+, PO_4^{3-}, NO_3^-, NO_2^-), а также показатели, характеризующие содержание растворенного органического вещества (ХПК, $БПК_5$).

Все АСК-В в настоящее время работают в режиме опытной эксплуатации, основные задачи которой:

- получение статистически обеспеченных данных, характеризующих работу всех систем и датчиков АСК-В в реальных условиях. Эти данные должны характеризовать работу как приборного оборудования, так и системы сбора и обработки информации;
- проведение технического обслуживания АСК-В персоналом в условиях работы, не отличающейся по выполняемым функциям от штатной;
- выявление недостатков в техническом, программном, информационном обеспечении АСК-В, а также в ее функционировании, с целью их устранения или непосредственно в процессе опытной эксплуатации, или по ее результатам – до начала постоянной эксплуатации.

Для оценки места АСК-В в системе мониторинга качества поверхностных вод суши был проведен сравнительный анализ данных, полученных Калужским ЦГМС в период с июня по декабрь 2014 г. в двух створах наблюдения на р. Протве, и данных полученных в эти же периоды наблюдений с помощью АСК-В. Анализ данных АСК-В о состоянии и качестве воды р. Протвы проводился по автоматически

сформированным отчетам, в которых данные отображались как среднесуточные, средние за 1 час или 20-минутные средние.

Анализ результатов работы АСК-В на р. Протве в 2014 г. показывает, что датчики станции оперативно реагируют на изменение качества воды. Результаты сравнительного анализа данных мониторинга показали их хорошую сходимость, временные изменения контролируемых показателей носят хорошо выраженный сезонный ход во всех пунктах наблюдения и в основном совпадают. Для таких показателей как величина электропроводности воды, pH и содержание растворенного кислорода по данным АСК-В четко прослеживается суточный и сезонный ход (рис. 2).

Результаты контроля сопоставимости данных, получаемых на АСК-В, показали, что надежно реализованы измерения физических показателей качества воды – температура, pH, мутность, электропроводность, ОВП, растворенный кислород. Датчики и анализаторы, контролирующие содержание в воде биогенных элементов и растворенного органического вещества требуют более частого обслуживания и регулярной калибровки. Наиболее перспективными для мониторинга загрязнения поверхностных вод представляются станции, работающие в автоматическом режиме, при периодическом обслуживании оператором (не чаще 1 раза в месяц), определяющие минимально необходимый перечень основных физических и химических показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Запевалов М.А., Мезенцев Б.М., Семенова И.В., Шаталов Э.В. Автоматические системы гидромониторинга // Методы оценки соответствия, 2013. – №7. – С. 28–34.

РД 52.24.309-2011. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону, 2011. – 109 с.

U.S. Geological Survey. National Water Information System: Web Interface , 2015. – Режим доступа: http://waterdata.usgs.gov/nwis

AUTOMATIC WATER QUALITY CONTROL STATIONS: THE FIRST RESULTS OF TASTE EXPLOITATION

Semenova I.V., Bulgakov V.G., Krutskikh O.I., Kovalyova A.A.

Research and Production Association "Typhoon", Obninsk, Russia, semenova@rpatyphoon.ru

ABSTRACT

The first results of taste exploitation of automatic water quality control stations are analyzed.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ЛОКАЛЬНОГО ВЛАГООБОРОТА: НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Шамов В.В.[1], Болдескул А.Г.[1], Кожевникова Н.К.[2], Луценко Т.Н.[1], Лупаков С.Ю.[1]

[1] *Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, vlshamov@yandex.ru*

[2] *Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток, nkozhevnikova@ibss.dvo.ru*

Обсуждаются результаты интенсивных натурных гидролого-гидрохимических исследований элементов приповерхностного влагооборота, выполненных в 2011–2014 гг. на репрезентативном речном бассейне на основе современных технических и методических средств наблюдений.

Территория южной части Дальнего Востока России (ДВР) находится в фокусе ресурсного и инфраструктурного освоения. Актуальность изучения механизмов формирования речного стока обусловлена сильной неустойчивостью гидрометеорологических процессов в регионе: мощными циклонами, которые порождают дождевые и снегодождевые паводки, приносящие значительный ущерб производственным объектам и населенным пунктам, а также осложняющие проектирование инженерных сооружений.

Предметом исследований является химический состав атмосферных, склоновых и речных вод в связи с различными гидрологическими условиями. Цель исследования – выявить индикаторы (трассеры) для определения источников питания речного стока на основе современных методов и средств гидрометеорологического и гидрохимического мониторинга, который включает измерение количества атмосферных осадков; уровня, температуры, электропроводности, pH и расхода воды в ручье; регулярный отбор проб атмосферных, подкроновых, склоновых (почвенно-грунтовых) и русловых (речных) вод; анализ их химического состава [Шамов и др., 2013].

Объектом исследований является водосбор ручья Елового (II порядок по классификации Хортона-Штралера), площадью 3,53 км^2, расположенный в пределах Верхнеуссурийского биоценотического стационара БПИ ДВО РАН. Водосбор находится в бассейне р. Прав. Соколовки, которая входит в систему р. Уссури и является ее притоком IV порядка (Приморский край). Данный район типичен для среднегорного пояса Сихотэ-Алиня и служит эталоном южной тайги, где преобладают широколиственно-кедровые и пихтово-еловые леса. Горные породы здесь представлены эффузивами кислого и среднего состава (липаритовые порфиры, порфириты, дациты, сиениты и их туфы), из осадочных пород встречаются алевролиты и песчаники [Челноков, Харитонова, 2008]. Климат района влажный умеренно-холодный, среднегодовой слой осадков 780 мм, температура воздуха – 2,5°С, влажность воздуха – 74,8%, скорость ветра – 1,3 м/сек [Кожевникова, 2009]. Долины рек глубоко врезаны, склоны часто крутые выпуклые, местами прорезаны ложбинами – долинами временных водотоков. На днищах долин водоупор отмечен на глубине около 3 м. Ширина водотоков колеблется от 1 до 5 м, глубина – от 0,1 до 0,5 м. Дно рек песчано-галечное, местами каменистое.

Подробное описание объекта и методов измерений, отбора и анализа проб приведено в статьях авторов [Болдескул и др., 2014; Губарева и др., 2015; Шамов и др., 2013]. В теплые периоды 2011–2014 гг. отобрано около 850 проб воды, из них 100 – русловых.

В 2011 году отрабатывалась методика мониторинга. Сезон 2012 года отличался сильно неравномерным увлажнением: длительный засушливый период в июле сменился периодом интенсивных дождей и сильным августовским паводком с максимальным модулем стока, близким к 100 л/с·км^2. Данная величина для большей части малых рек юга ДВР характеризует переход от паводков внутриобъемного генезиса к паводкам поверхностного генезиса, когда ёмкость речного бассейна близка к пределу своего насыщения [Гарцман, 2008]. По условиям увлажнения теплый сезон 2013 года характеризовался сравнительно однородным увлажнением и небольшими – не выше 50 л/с·км^2 – дождевыми паводками в июле и августе. 2014 год отмечается как наиболее засушливый из трех лет наблюдений. Он отличался редкими невысокими дождевыми паводками, наибольший из которых характеризовался максимальным модулем около 20 л/с·км^2.

Анализ полученных данных показывает преимущественно размытую нелинейную связь содержания основных компонентов и водности потока, что обусловлено преобладанием в процессах выщелачивания значения фазы стокоформирования, нежели объема стекающей воды (явление гистерезиса). Особенно это проявляется на примере растворенно-

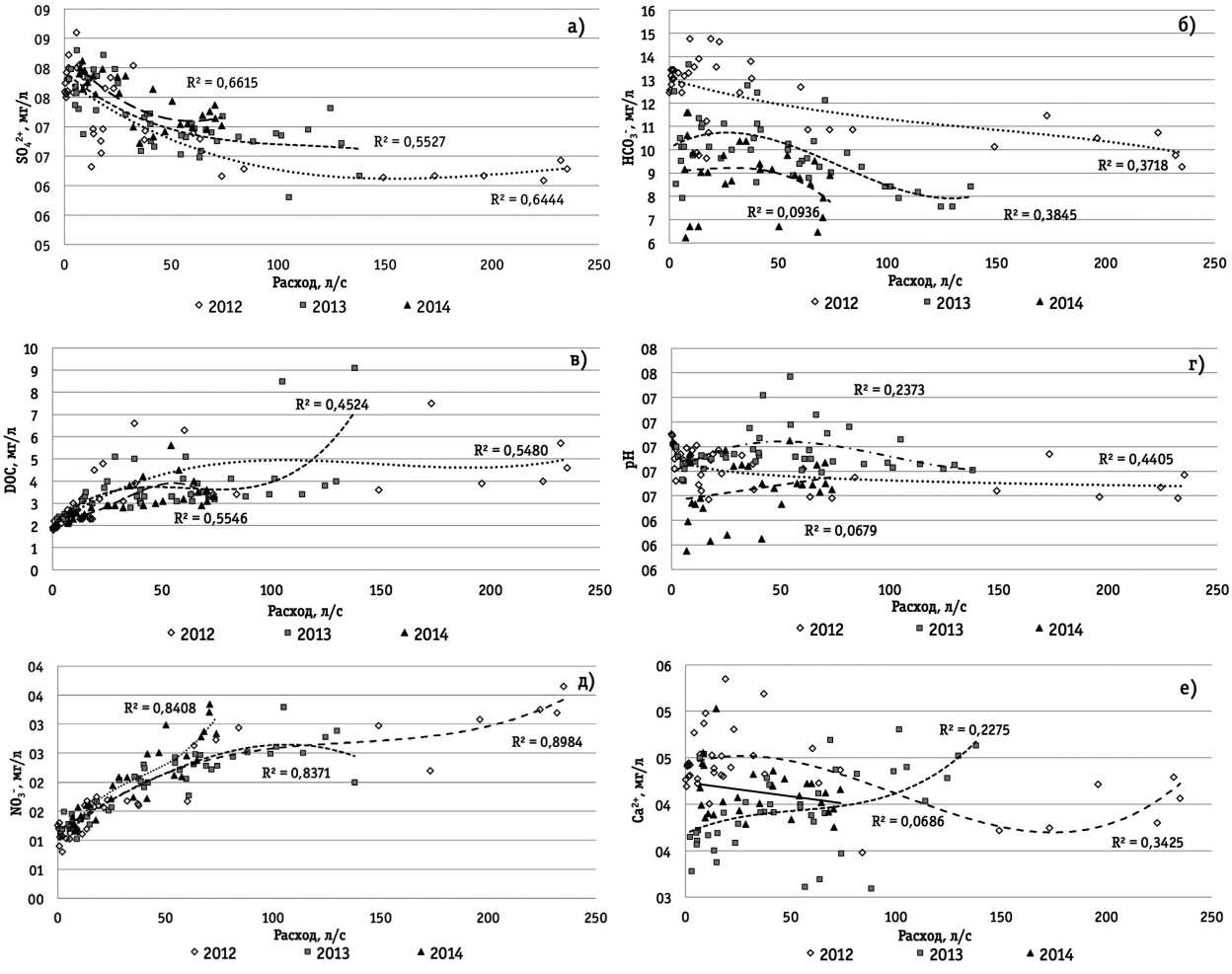


Рис. 1. Соотношение расхода воды в руч. Еловом в устье и содержания компонентов по данным 2012–2014 гг.:
а) сульфаты, б) гидрокарбонаты, в) DOC, г) кислотность, д) нитраты, е) кальций

го органического углерода (DOC) и кальция: на подъеме высокого паводка наблюдается их вымывание из почвы, вблизи пика в 1,5–2 раза за счет притока ультрапресных дождевых вод (рис. 1в, е).

Отмечен рост DOC и нитратов при увеличении стока, особенно вблизи значений 28–30 л/с·км^2. Примечательна нелинейная реакция углерода на рост водности: при расходах от 2 до 100 л/с концентрация данного элемента находилась в пределах от 2 до 4 мг/л, при небольшом росте расхода выше 100 л/с содержание углерода возросло в 2 раза (рис. 1в). В условиях высокого паводка 2012 года концентрация кальция в начале в целом снижалась на фоне роста удельного увлажнения до уровня 60 л/с·км^2, затем, при дальнейшем росте удельного расхода до 80 л/с·км^2 и выше проявилась тенденция выщелачивания этого элемента из почвенно-грунтовой толщи склонов (рис. 1е).

Примечательно отличие среднего уровня содержания гидрокарбонатов в зависимости от увлажненности сезона: снижение фона увлажнения (как в 2014 году) приводит к снижению скорости выщелачивания гидрокарбонатов и уровня его содержания в речной воде, при этом он практически перестает коррелировать с расходом воды.

Согласно полученным данным отмечается снижение сульфатов и гидрокарбонатов при увеличении модуля стока выше некоторого порогового значения 10–12 л/с·км^2 (35–40 л/с) (рис. 1б, е). Однако, разбавление гидрокарбонатов и кальция проявляется лишь как тенденция в связи с различием форм их миграции в разных фазах паводка.

Не выявлено существенной связи между водностью потока и pH, при этом отмечено понижение среднего фона pH в низководный сезон 2014 года после экстремального увлажнения 2012–2013 гг., что может быть обусловлено ростом доли склонового питания в верхней части бассейна, где распространены более кислые горно-таежные почвы (рис. 1г). Наиболее тесной выглядит связь нитратов и расходов воды (рис. 1д), при этом рост их с ростом расхода обусловлен вымыванием их из подстил-

ки и гумусового слоя почвы, особенно в диапазоне удельной водности от 0 до 20 л/с·км^2. При дальнейшем росте водности такая тенденция ослабевает за счет разбавления дождевыми водами.

В целом в 2014 году наблюдалось изменение химического фона, что, вероятно, связано с особенностями режима рек в предшествующий период. Осенью 2012 года наблюдалась экстремально высокая водность рек, что является аномальным для данного сезона [Гарцман и др., 2014] и определило высокий фон увлажнения в 2013–2014 гг. с соответствующими химическими откликами в водотоках Приморья.

Анализ полученных данных позволил выделить компоненты состава, содержание которых в среднем снижается с ростом водности потока в силу их разбавления – это сульфаты и гидрокарбонаты, выщелачиваемые из подстилающих пород. Для компонентов, связанных с почвенным покровом и биотой, отмечен рост содержания с увеличением расхода: DOC, нитраты, кальций, алюминий и др. Также выделяются показатели речных вод (например, pH, ряд микроэлементов), не связанные с расходом воды. Ряд компонентов химического состава вод могут служить надежными трассерами источников формирования стока. Для оценки генетической структуры последнего эффективным является применение комплексных трассеров в рамках процедуры анализа смешения источников (конечных элементов) EMMA [Губарева и др., 2015].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№11-05-00526, 14-05-00150, 14-05-10021) и Дальневосточного отделения РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болдескул А.Г., Шамов В.В., Гарцман Б.И., Кожевникова Н.К. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине // Тихоокеанская геология, 2014. – Т. 33. – №2. – С. 90–101.

Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов и прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. – 223 с.

Гарцман Б.И., Мезенцева Л.И., Меновщикова Т.С., Попова Н.Ю., Соколов О.В. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 г. // Метеорология и гидрология, 2014. – №6. – С.77–92.

Губарева Т.С., Гарцман Б.И., Шамов В.В., Болдескул А.Г., Кожевникова Н.К. Разделение гидрографа стока по генетическим составляющим // Метеорология и гидрология, 2015. – №3. – С. 97–108.

Кожевникова Н.К. Динамика погодно-климатических характеристик и экологические функции малого лесного бассейна // Сибирский экологический журнал, 2009. – №5. – С. 693–703.

Челноков Г.А., Харитонов а Н.А. Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2008. – 165 с.

Шамов В.В., Гарцман Б.И., Губарева Т.С., Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г. Экспериментальные исследования генетической структуры стока с помощью химических трассеров: постановка задачи // Инженерные изыскания, 2013. – №1. – С. 60–69.

HYDROCHEMICAL INDICATION OF THE LOCAL WATER CYCLE: FIELD STUDIES IN THE SOUTH OF PACIFIC RUSSIA

Shamov V.V.[1], Boldeskul A.G.[1], Kozhevnikova N.K.[2], Lutsenko T.N.[1], Lupakov S.Yu.[1]

[1] Pacific geographical institute FEB RAS, Vladivostok, Russia, vlshamov@yandex.ru

[2] Institute of biology and soil sciences FEB RAS, Vladivostok, Russia, nkozhevnikova@ibss.dvo.ru

ABSTRACT

The results of intensive comprehensive field investigation of the near-surface water cycle substitutes obtained during 2011–2014 on a typical small river watershed on the base of modern hydrological and hydrochemical observation tools are considered in this report.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ ВОЛГЕ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Шапоренко С.И.

Институт географии РАН, Москва, ser-shaporenko@yandex.ru

За последние четверть века водность Нижней и Верхней Волги (по створам Верхнее Лебяжье и Дубна, соответственно) изменялась не синхронно. Для лет повышенной водности, наиболее характерных в этот период на Нижней Волге, тенденции с высокой степенью достоверности не выявляются. Для лет пониженной и средней водности после улучшения качества воды в середине периода к его концу отмечается ухудшение.

В современных справочных изданиях по качеству природных вод с использованием гидрохимических показателей тренды многолетней изменчивости представляются, как правило, без учета водности лет [Обзор…, 2012]. Влияние водности на экологическое состояние р. Волги, особенно в зимний период, существенно проявлялось до ее зарегулирования каскадом водохранилищ, в том числе в развитии периодических заморных явлений при низких уровнях и расходах воды [Скопинцев, 1953]. Между тем имеются указания о влиянии водности на качество вод и при современном водном режиме [Григорьева, 2012], что сохраняет актуальность учета водности реки при рассмотрении тенденций многолетних изменений содержания отдельных компонентов.

В работе показаны наиболее существенные тенденции изменения содержания отдельных химических ингредиентов в р. Волге в створах В. Лебяжье и Дубна отдельно по годам повышенной, средней и пониженной водности. Для их расчета использованы ряды среднегодовых и максимальных значений, взятых из ежегодников ГГИ за период с 1985 по 2011 гг. (например, [Водный…, 2012]). Следует заметить, что наблюдения прерывались, и по отдельным годам данные отсутствуют или неполные: Волга – В. Лебяжье – за 1991–1993 гг.; Волга – Дубна – за 1988, 1996–1999 и 2002 гг. По объемам водного стока годы

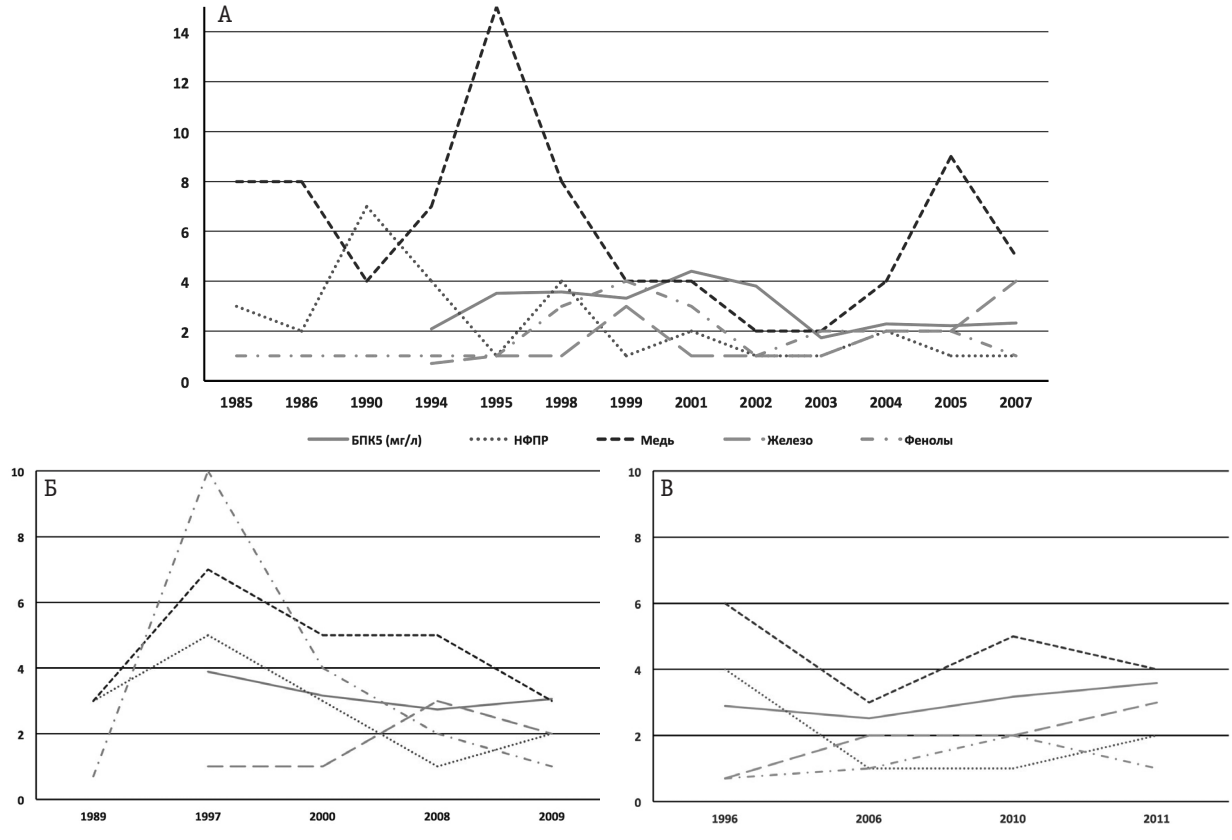


Рисунок. Многолетняя изменчивость среднегодовых концентраций некоторых гидрохимических параметров в р. Волге по годам повышенной (А), средней (Б) и пониженной (В) водности в створе Верхнее Лебяжье

были разбиты по принятым в ГГИ градациям, которые в ежегодниках указываются с 2004 г.: аномально низкий (АН), низкий (Н), умеренно низкий (УН), средний (С), умеренно высокий (УВ), высокий (В) и аномально высокий (АВ). Обеспеченность считалась по ряду объемов стока в створах с 1930 по 1980 гг.

Ранжирование показало значительно неравномерное распределение лет различной водности, в котором выделяется преобладание лет высокой (Волга – В. Лебяжье) и средней (Волга – Дубна). Для более корректных статистических расчетов и учитывая сравнительно небольшое влияние водности, близкие по объему годового стока группы лет были объединены в три группы: повышенной, средней и пониженной водности. Следует заметить, что преобладание лет повышенной водности в устье за период с 1985 по 2011 гг. наблюдалось на фоне устойчивого тренда снижения годового стока Волги, рассчитанного за период с 1980 по 2012 гг. При этом прямая линия тренда пересекла горизонталь среднемноголетнего стока (227 км^3/г) в 2011 г. [Тенденции..., 2013].

Примеры многолетней изменчивости некоторых среднегодовых величин гидрохимических параметров для створа В. Лебяжье по годам с учетом градации водности приведены на рисунке 1, а уравнения, их аппроксимирующие, в таблице.

Для створа г. Дубна в ежегодниках ГГИ с 2008 г. источниками загрязнения указываются ЖКХ и МУП "Производственно-технический отдел городского хозяйства" г. Дубны. Между тем уровень загрязненности в данном створе в большой степени характеризует качество вод всего Иваньковского водохранилища, в береговой зоне которого расположен 21 выпуск сточных вод, а также крупнейший город на водосборе Тверь. В годы с пониженным стоком основным загрязнителем является медь со среднегодовыми концентрациями в 5–6 ПДК (в 2001 г. увеличивалась до 14 ПДК) и максимальными на уровне 16 и 20 ПДК. До 10–14 и 13 ПДК поднимались концентрации НФПР и фенолов соответственно. В последнее десятилетие отмечается уменьшение концентраций НФПР и железа до 1 ПДК по среднегодовым показателям, их падение по максимальным значе-

Таблица. Уравнения трендов изменчивости (за 1985-2012 гг.) среднегодовых и максимальных значений некоторых гидрохимических параметров в створах р. Волги по годам разной водности: В – повышенной; С – средней; Н – пониженной. R^2 – достоверность аппроксимации, x – порядковый номер года (ряды лет см. на рисунке).

ИНГРЕДИЕНТЫ	СРЕДНЕГОДОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ		МАКСИМАЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ	
	УРАВНЕНИЯ ТРЕНДОВ	R^2	УРАВНЕНИЯ ТРЕНДОВ	R^2
Верхнее Лебяжье				
$БПК_5$	В: $y = -0{,}0294x^2 + 0{,}8932x - 3{,}3037$	0,3721	В: $y = -0{,}0385x^2 + 1{,}2735x - 3{,}3987$	0,229
	С: $y = 0{,}0206x^2 - 0{,}6964x + 8{,}507$	0,9766	С: $y = -0{,}0655x^2 + 1{,}8288x - 4{,}0335$	0,959
	Н: $y = 0{,}0164x^2 - 0{,}2361x + 3{,}112$	0,9807	Н: $y = -0{,}0617x^2 + 0{,}9344x + 6{,}1785$	0,761
НФПР	В: $y = -0{,}0097x^2 + 0{,}0946x + 3{,}2823$	0,34	В: $y = 28{,}505e^{-0{,}089x}$	0,483
	С: $y = -0{,}0168x^2 + 0{,}2746x + 2{,}9253$	0,7039	С: $y = 92{,}037e^{-0{,}156x}$	0,6379
	Н: $y = 0{,}0316x^2 - 0{,}6921x + 4{,}6713$	0,9547	Н: $y = 0{,}0881x^2 - 2{,}1465x + 15{,}05$	0,9977
Медь	С: $y = -0{,}0278x^2 + 0{,}6352x + 2{,}5254$	0,687	С: $y = -0{,}197x^2 + 4{,}8329x + 0{,}9538$	0,4337
	Н: $y = 0{,}0367x^2 - 0{,}7159x + 6{,}6574$	0,7828	Н: $y = 0{,}3291x^2 - 7{,}9802x + 55{,}678$	0,9985
Фенолы	С: $y = -0{,}0616x^2 + 1{,}3298x - 0{,}0669$	0,6768	С: $y = -0{,}1306x^2 + 2{,}7315x + 5{,}6772$	0,8612
	Н: $y = 0{,}666e^{0{,}0456x}$	0,506	Н: $y = 0{,}0882x^2 - 1{,}8959x + 13{,}841$	0,9413
Железо	С: $y = 0{,}0648x^{1{,}1882}$	0,8036	С: $y = -0{,}0906x^2 + 2{,}8629x - 15{,}684$	0,8936
	Н: $y = 0{,}6939x^{0{,}4556}$	0,9378	Н: $y = 0{,}7258x^{0{,}6654}$	0,8971
Дубна				
НФПР	В: $y = 4{,}8862e^{-0{,}074x}$	0,6961	В: $y = 19{,}512e^{-0{,}118x}$	0,8461
	С: $y = -0{,}0198x^2 + 0{,}2831x + 3{,}7392$	0,8977	С: $y = -0{,}1244x^2 + 2{,}2425x + 9{,}9987$	0,8221
	Н: $y = -0{,}0739x^2 + 1{,}0639x + 2{,}628$	0,9742	Н: $y = -0{,}0847x^2 + 0{,}8571x + 9{,}9292$	0,8583
Медь	С: $y = -0{,}0099x^2 + 0{,}3156x + 2{,}8354$	0,9494	С: $y = -0{,}0249x^2 + 0{,}5713x + 5{,}3998$	0,6679
	Н: $y = -0{,}1599x^2 + 2{,}7615x + 1{,}9104$	0,9005		
Фенолы	С: $y = 0{,}0289x^2 - 0{,}4545x + 1{,}8957$	0,8359	С: $y = 0{,}0514x^2 - 1{,}2259x + 9{,}1889$	0,4506
	Н: $y = 0{,}0222x^2 - 0{,}2398x + 1{,}1601$	0,9975	Н: $y = 2{,}2143x^2 - 11{,}986x + 17{,}4$	0,9421
Железо	В: $y = -0{,}2167x + 6{,}1487$	0,6226	В: $y = -0{,}0416x^2 + 1{,}5795x - 10{,}859$	0,2916
Нитр. азот			В: $y = 0{,}2297x - 1{,}9875$	0,8039
Ам. азот	С: $y = 0{,}1205x - 0{,}4821$	0,3623	В: $y = -0{,}1339x^2 + 5{,}3514x - 47{,}724$	0,7697

ниям. Вместе с этим наблюдается увеличение содержания фенолов с 1 до 3 ПДК по среднегодовым значениям в сочетании с ростом по максимальным показателям (вместе с соединениями азота).

В годы с водным стоком, близким по величине к среднему многолетнему, основными загрязнителями были медь (4–5 ПДК по среднегодовым показателям в течение всего периода, до 8 ПДК – по максимальным значениям) и НФПР (4–5 ПДК в начале периода с уменьшением до 1 ПДК в середине 2000-х гг. по среднегодовым значениям и до 21 ПДК по максимальным значениям в первую половину периода). К 2006 г. увеличились среднегодовые концентрации фенолов (до 7 ПДК), железа (до 4 ПДК), аммонийного азота (до 3 ПДК), отмечался рост содержания перечисленных ингредиентов по максимальным показателям.

В годы повышенной водности колебания концентраций гидрохимических показателей в целом близки к таковым для лет со средним стоком. Наиболее благоприятная по качеству вод ситуация складывалась в 2000 и 2008–2010 гг. При этом в 2010 и 2011 гг. намечается тенденция в росте концентраций НФПР, фенолов и нитритов по максимальным значениям концентраций. Одновременно у НФПР и железа для 2000-х гг. выявляются тенденции уменьшения среднегодовых концентраций.

Для створа В. Лебяжье с 2007 г. отмечается влияние транзита сточных вод промышленных предприятий г. Волгограда и других источников загрязнения. В этом створе медь остается основным загрязняющим гидрохимическим показателем во все периоды с различной водностью (до 5–7 ПДК по среднегодовым значениям и до 46–50 ПДК по годам с пониженной и средней водностью, а для лет повышенной водности соответственно до 7–9 и до 47–48 ПДК). По годам пониженной водности тренды показателей НФПР, $БПК_5$, нитритного азота, в динамике которых по среднегодовым и максимальным значениям в середине периода наблюдаются минимумы, хорошо аппроксимируются полиномами второй степени. Для лет средней водности отмеченные закономерности относятся и к фенолам. В этот период зафиксированы экстремальные максимумы содержания НФПР в 160 ПДК (1988 г.) и 70 ПДК (2000 г.).

В годы повышенной водности содержание меди в среднем возрастает и имеет сложный многолетний ход. У основных загрязнителей как по среднегодовым, так и по максимальным значениям многолетние тренды с высокими значениями достоверности не выявлены.

В многолетних изменениях химических характеристик слабо прослеживаются следующие особенности: с увеличением водного стока убывают средние концентрации $БПК_5$, меди и железа в створе Дубны и железа в створе В. Лебяжье. Концентрации меди и железа в створе В. Лебяжье в периоды повышенного стока возрастают.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №13-05-41437 РГО-а) и ОНЗ РАН (проект 10).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Водный кадастр Российской федерации. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. 2011 год. – СПб.: ART-Xpress, 2012. – 148 с.

Григорьева И.Л. Многолетние тенденции изменения качества воды верхневолжских водохранилищ // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Материалы докладов Всероссийской конференции. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22–26 октября 2012 г. – Ижевск: Издатель Пермяков С.А., 2012. – С. 48–51.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 год. – М.: Росгидромет, 2013. – 178 с.

Скопинцев Б.А. Еще раз о подледном гидрохимическом режиме Волги зимой 1939 г. // Гидрохимические материалы, 1953. – Т. 20. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – С. 22–28.

Тенденции и динамика загрязнения природной среды Российской Федерации в начале XXI века. Вып. 2. – М., 2013. – 43 с.

CURRENT TRENDS IN WATER QUALITI IN RIVER VOLGA BY HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS

Shaporenko S.I.

Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia, ser-shaporenko@yandex.ru

ABSTRACT

The annual water flow of Lower and Upper Volga (on ranges Verhney Lebyazhe and Dubna, respectively) is not changed simultaneously over the last 20-25 year period.

Over the last 20-25 year period conductivity of Lower and Upper Volga (on top Lebyazhe alignments and Dubna, respectively) are not changed simultaneously. For years with high water content, the most characteristic in this period at Lower Volga, the trends with a high degree of reliability could not be detected. For years with low and average water content, it notes the improvement of water quality in middle of periods and the deterioration to the end of them.

СТОК РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ РЕКИ АМУР В ПЕРИОД ИСТОРИЧЕСКОГО ПАВОДКА 2013 ГОДА

Шестеркин В.П.

ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

shesterkin@ivep.as.khb.ru

Дана оценка ионного стока, стока биогенных веществ и микроэлементов на пике и за весь период исторического наводнения 2013 года.

Спецификой природных условий Приамурья являются наводнения, охватывающие значительные пространства и имеющие частую повторяемость: раз в 5 лет на Верхнем Амуре, раз в 3 года – на Среднем и каждые 1,5 года – на Нижнем [Бойкова, 1963]. Появление паводков вызвано выходом южных циклонов, несущих много влаги, наличием густой речной сети, мерзлых пород на севере и суглинистых грунтов на юге и др.

Гидрохимическая изученность Амура сегодня может быть охарактеризована как низкая. Мониторинг за содержанием главных ионов и органических веществ проводился Росгидрометом на середине Амура на одной вертикали, в основном, на пике паводка, редко – спаде. Более подробно рассмотрен сток главных ионов, биогенных и органических веществ, микроэлементов во время исторического наводнения 2013 года. Наблюдения проводили 2-3 раза в месяц в августе-октябре на р. Амур у Хабаровска на 6 равномерно распределенных по ширине реки пунктах. Анализ проб воды осуществляли в Межрегиональном центре экологического мониторинга гидроузлов при ИВЭП ДВО РАН.

Анализ материалов Росгидромета за 1951–1984 гг. позволил рассмотреть сток растворенных веществ в воде Амура у Хабаровска для различных районов формирования паводка. Максимальное значение ионного стока наблюдалось на гребне паводков, сформированных в бассейне р. Сунгари (> 200 тыс. т/сут), минимальное – в бассейнах рр. Зея и Бурея (< 120 тыс. т/сут). Среднее значение стока растворенных веществ отмечалось в паводки, сформировавшиеся в пределах Верхнего Амура [Шестеркин, Шестеркина, 2002; Шестеркин, 2010].

Исторический паводок в бассейне Амура в 2013 г. сформировался в результате насыщения влагой почв поздней весной и интенсивных ливневых дождей на Верхнем и Среднем Амуре. Особенностью его было последовательное наложение паводков рр. Зеи, Сунгари и Уссури на смещающийся вниз по течению амурский паводок. Глубина затопления поймы достигала 390–612 см, ширина разлива – 30–50 км. Максимальный измеренный расход составил 46100 $м^3/с$, повторяемость которого оценивается 1 раз в 200–250 лет. Паводок проходил в течение 115 дней, в формировании его объема (256 $км^3$) наибольший вклад внесли Зея (> 25%), Сунгари (~22%), Верхний Амур (~20%) и Уссури (> 10%) [Фролов, Георгиевский, 2014].

В начале августа преобладание вод Верхнего Амура (30%) и р. Сунгари (25%) в стоке Среднего Амура обусловило повышенный вынос главных ионов и нитратного азота в правобережной части Амура у Хабаровска. Подобные концентрации этих веществ отмечались в паводки 1998, 2002 и 2009 гг., которые формировались в бассейне р. Сунгари [Шестеркин, Шестеркина 2009; Шестеркин, 2010]. Высокая доля стока р. Зея (30%), в свою очередь, обусловила значительное поступление органического вещества и растворенного железа в левобережную часть Амура.

В течение августа в химическом составе вод Амура произошли большие изменения, обусловленные увеличением доли стока вод Верхнего Амура и снижением притока, сформировавшегося в бассейне р. Зеи. Возросло содержание хлоридного иона и иона натрия, уменьшилось – органического вещества, сульфатного иона, нитратного азота и минерального фосфора. Отмечалось снижение концентраций железа, цинка, свинца, никеля и алюминия, в то время как содержание меди и марганца оставалось без изменений.

В августе наблюдался максимальный сток иона калия, аммонийного азота, фосфора, органического вещества, меди, марганца и никеля (табл. 1).

На пике паводка концентрации основных ионов и нитратного азота в воде в правобережной части и середине Амура возросли, в то время как в левобережной части оставались без изменений, что в целом вызвало повышение величины минерализации. Снизилось содержание органического вещества.

Отмечались максимальные концентрации алюминия, цинка и меди (до 73,1, 93,6 и 8,8 мкг/л соответственно), повышенной являлась концентрация железа (до 0,36 мг/л).

Ионный сток на пике наводнения являлся максимальным (269,7 тыс. т/сут) за весь период наблюдений Росгидромета. Меньше (953 т/сут), по сравнению с паводками 1998 и 2009 гг., был вынос нитратного азота (9500 и 1473 т/сут, соответственно) [Шестеркин, Шестеркина, 2014]. Вероятно, это было связано с выносом нитратного азота в период половодья (в мае в правобережной части Амура ниже устья р. Сунгари содержание достигало 1,59 мг N/л). Сток аммонийного азота был значительно ниже, в сутки составлял 318 т. Вынос органических веществ достигал 125,5 тыс. т/сут и был также максимальным за весь период наблюдений Росгидромета. Сток растворенного железа в сутки составлял 1112,8 т, алюминия – 167 т, цинка – 155 т.

На спаде паводка сток основных ионов и нитратного азота, а соответственно и ионный сток, резко возросли (табл. 1), достигли максимальных за период наводнения значений. Повысился сток железа, алюминия и цинка. Снизился сток аммонийного азота и минерального фосфора. Такие особенности химического состава вод Амура в этот период времени могли быть обусловлены поступлением растворенных веществ с затопленных сельхозугодий и урбанизированных территорий Китая и России. Только на территории Китая от наводнения пострадали 5 млн. человек, более 60 тыс. домов было разрушено, 840 тыс. человек эвакуировано из зоны затопления [Фролов, Георгиевский, 2014]. В 1998 г. на спаде паводка, сформированного в бассейне этой реки, также отмечалось повышение минерализации вод Амура у Хабаровска с 80,7 до 149,0 мг/л [Шестеркин, Шестеркина, 2012].

В октябре сток основных ионов, несмотря на некоторое увеличение концентраций, вследствие снижения водного стока в 2 раза, также уменьшился (табл. 1) Существенно снизился сток органических и биогенных веществ, микроэлементов.

Продолжительное затопление поймы Амура с июля по октябрь предполагает поступление значительного количества растворенных веществ в Охотское море. Ионный сток ориентировочно достигал 19,6 млн. т. Значительным был сток остальных растворенных веществ (табл. 1), причем вынос нитратного азота максимальным за весь период наблюдений.

Таким образом, ионный сток и сток органического вещества на пике наводнения 2013 г. являлись максимальными за весь период мониторинга. Большая длительность паводка обусловила значительный вынос растворенных веществ, в первую очередь органических и биогенных, в Охотское море.

Таблица 1. Сток растворенных веществ в воде р. Амур у Хабаровска в августе-октябре 2013 г., тыс. т

ЭЛЕМЕНТ	АВГУСТ	СЕНТЯБРЬ	ОКТЯБРЬ	ИТОГО
Na^+	403,77	471,93	274,80	1150,50
K^+	143,57	138,80	62,67	354,04
Ca^{2+}	834,52	952,51	544,78	2331,81
Mg^{2+}	233,31	268,35	173,56	675,22
HCO_3^-	3356,03	4201,10	2376,78	9933,91
Cl^-	197,41	222,08	120,53	540,00
SO_4^{2-}	690,95	712,52	385,68	1789,15
Сумма ионов	5895,59	6967,91	3938,80	16802,30
Органическое вещество	2741,08	2687,60	1187,59	6614,27
$N\text{-}NO_3^-$	21,54	25,28	12,63	59,45
$N\text{-}NH_4^+$	5,38	5,04	1,50	11,92
$P\text{-}HPO_4^{2-}$	1,35	1,11	0,58	2,68
Fe	26,02	28,69	17,84	72,55
Al	2,05	3,95	2,35	8,35
Cu	0,40	0,36	0,14	1,65
Zn	2,02	2,70	0,89	5,61
Mn	0,94	0,61	0,44	1,99
Ni	0,16	0,10	0,05	0,31

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бойкова К.Г. Наводнения на реках Амурского бассейна // Вопросы географии Дальнего Востока. Сборник пятый. Хабаровск: Кн. Изд-во, 1963. – С. 192–259.

Фролов А.В., Георгиевский В.Ю. Экстремальный паводок 2013 г. в бассейне р. Амур // Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации (сборник докладов). – М.: Росгидромет, 2014. – С. 5–39

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Максимальный ионный сток Среднего Амура // Биогеохимические и геоэкологические исследования наземных и пресноводных экосистем. Вып. 12. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – С. 105–115.

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды р. Сунгари // Геоэкология, 2009. – №1. – С. 50–53.

Шестеркин В.П. Особенности химического состава воды р. Амур в дождевые паводки // Современные проблемы гидрохимии и формирования качества вод: материалы научной конференции. Г. Азов, 27–28 мая 2010 г. – Ростов-на-Дону: ГХИ, 2010. – С. 176–179.

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Пространственная и сезонная изменчивость химического состава воды Среднего Амура // Водное хозяйство России, 2012. – №5. – С. 18–28.

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Многолетняя изменчивость стока нитратного и нитритного азота в р. Амур у Хабаровска // Водные ресурсы, 2014. – Т. 41. – №4. – С. 412–418.

RUNOFF OF SOLUTES IN THE AMUR RIVER WATER DURING THE HISTORICAL FLOODS IN 2013

Shesterkin V.P.

Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia, shesterkin@ivep.as.khb.ru

ABSTRACT

The estimation of the runoff of ion, nutrients and trace elements during peak and entire period of the historic floods of 2013 is discussed.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ЗИМНИЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ АМУР

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.

ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

shesterkin@ivep.as.khb.ru

Рассмотрено влияние гидроэнергетического строительства на зимний гидрохимический режим Амура. Показано улучшение кислородного режима, снижение концентраций главных ионов и повышение содержания органических веществ в воде среднего Амура в конце ледостава.

Гидроэнергетическое строительство оказывает большое влияние на гидрохимический режим рек. Отмечается трансформация химического стока, сглаживание различий в уровнях минерализации воды и концентраций главных ионов, улучшение кислородного режима, снижение в результате процессов самоочищения содержания биогенных и органических веществ [Авакян и др., 1994; Эдельштейн, Гречушникова, 2006].

В бассейне р. Амур за последние 50 лет активно развивается гидроэнергетическое строительство. Наибольшее количество ГЭС (Хадашань, Дадинзишань и др.) создано в китайской части бассейна. Очень крупные Зейская и Бурейская ГЭС появились в России. Близится к завершению сооружение Нижне-Бурейской ГЭС, после исторического наводнения 2013 г. стало реальным появление Нижне-Зейской, Гилюйской, Селемджинской и Усть-Ниманской ГЭС.

Такие значительные хозяйственные преобразования в бассейне Амура не могли не оказать влияние на зимний гидрохимический режим и привести к изменению качества воды р. Амур. В связи с этим возникает необходимость ведения мониторинга поверхностных водных объектов в зоне влияния гидроузлов.

Наблюдения на р. Амур у Хабаровска в зимнюю межень 2003–2015 гг., а также анализ материалов Росгидромета (1952–1988), Центра гидрометеорологических наблюдений провинции Хэйлунцзян (1899–1988) и АБВУ (2003–2015) дали возможность более подробно рассмотреть воздействие гидроэнергетического строительства на качество вод Амура.

Исследования проводились на р. Амур у Хабаровска на 5–6 равномерно распределенных по ширине русла реки станциях. Аналитические работы осуществлялись в Межрегиональном центре экологического мониторинга гидроузлов при ИВЭП ДВО РАН.

Сооружение ГЭС Фынмань в бассейне р. Сунгари в 1937 г. обусловило повышение водного зимнего стока Амура в 1945–1975 гг. по сравнению с 1890–1944 гг. в 1,3 раза [Шестеркин, 2007]. Вода р. Амур у Хабаровска в марте 1952–1958 гг. характеризовалась невысокими значениями минерализации (рис. 1), низким содержанием орга-

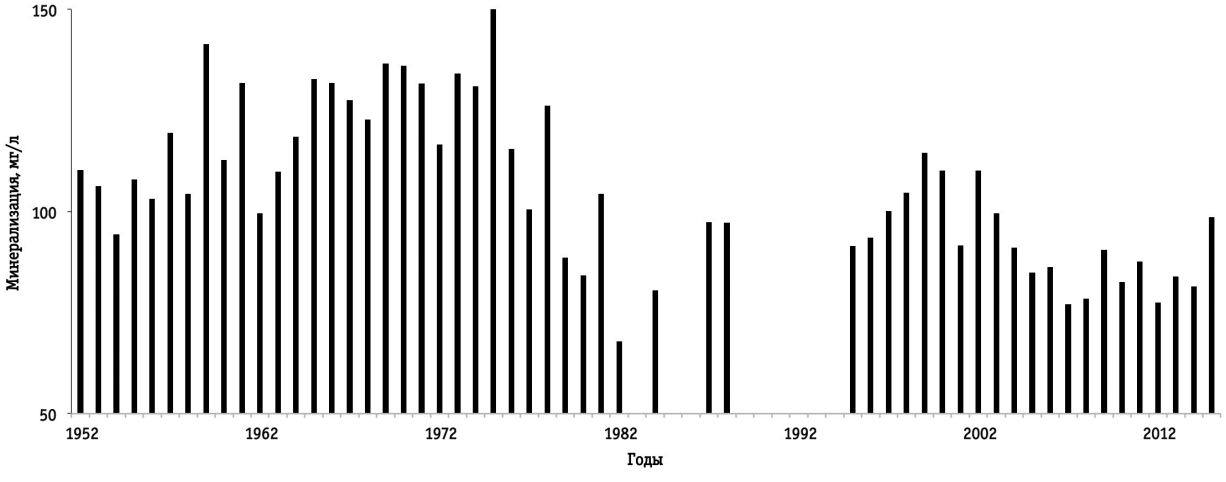


Рис. 1. Минерализация вод р. Амур у Хабаровска в марте 1952–2015 гг.

Таблица 1. Сбросы Зейской и Бурейской ГЭС в 2011–2014 гг.

ГЭС	ДЕКАБРЬ	ЯНВАРЬ	ФЕВРАЛЬ	МАРТ
2011–2012				
Зейская	712	726	675	699
Бурейская	703	718	703	684
2012–2013				
Зейская	1305	1397	1335	1148
Бурейская	859	589	666	612
2013–2014				
Зейская	1344	1472	1509	1292
Бурейская	780	786	830	630

нического вещества (5,1–7,9 мг О/л) по величине перманганатной окисляемости, цветность воды не превышала 20°, содержание растворенного кислорода было выше 5,5 мг/л.

После зарегулирования р. Зея в 1975 г. гидрологический и гидрохимический режим Амура существенно изменился. Средние за декабрь-март расходы воды у Хабаровска возросли от 842 $м^3/с$ (1978–1979 гг.) до 1940 $м^3/с$ (1987–1988 гг.). Улучшился кислородный режим [Шестеркин, Шестеркина, 2005]. В районе с. Нагибово в зимнюю межень 2000–2002 гг. содержание кислорода было выше 9,8 мг/л, по ширине реки от российского берега до фарватера распределялось относительно равномерно [Шестеркин, 2004]. Поступление ультрапресных вод р. Зея с минерализацией 19,2–33,3 мг/л обусловило снижение минерализации воды р. Амур у Хабаровска в среднем до 85,8 мг/л (рис.) [Шестеркин, 2010], повышение содержания органического вещества. В 1979-1987 гг. цветность воды в среднем составляла 40^0, повышаясь иногда до 90°. Более высокие значения цветности воды и перманганатной окисляемости (ПО) стали наблюдаться в последние годы. В маловодную зимнюю межень 2002–2003 гг. цветность воды в среднем составляла 74°, значение ПО – 10,2 мг О/л. Максимальное содержание органического вещества стало отмечаться в конце ледостава [Шестеркин, 2012].

Дальнейшие изменения химического состава воды р. Амур произошли с появлением Бурейского водохранилища в 2003 году. Зимние расходы воды р. Бурея после зарегулирования существенно возросли, максимальных значений достигали после исторического наводнения в 2013 г. (табл. 1). Минерализация воды р. Бурея ниже плотины ГЭС незначительно снизилась с 39,0 мг/л в 2004 г. до 31,8 мг/л в 2008 г., улучшился кислородный режим (в марте 2008 г. концентрация кислорода составляла 11,3 мг/л). Цветность воды в марте 2004 г. была ниже 42°, возросла до 60° в 2008 г. Концентрации железа и аммонийного азота в среднем составляли 0,30 и 0,59 мг/л соответственно.

Зарегулирование р. Бурея способствовало снижению в воде р. Амур содержания минеральных (рис. 1) и повышению органических веществ. В зимнюю межень 2003–2004 гг. по сравнению с зимней меженью предыдущих двух лет отмечалось снижение величины минерализации воды в 1,2 раза, концентраций ионов натрия в 1,4, сульфатных ионов в 1,2, аммонийного азота в 1,6 раза. О повышении содержания органического вещества свидетельствует увеличение цветности воды в 1,3 раза.

Наиболее заметно влияние российских водохранилищ проявляется в маловодные годы. В зимнюю межень 2007–2008 гг. минерализация воды р. Амур в среднем составила 84,3 мг/л, максимальные значения ПО и цветности достигали 13 мг О/л и 75°.

В зимнюю межень 2012–2013, 2013–2014 и 2014–2015 гг. в условиях повышенной водности за счет увеличения сбросов Зейской и Бурейской ГЭС и после исторического паводка летом 2013 г. минерализация воды повысилась в среднем до 90, 101 и 98 мг/л соответственно. Максимальные значения в эти годы отмечались в пробах, отобранных на фарватере до 134, 145 и 126 мг/л также соответственно. Цветность воды снизилась в 1,5 раза.

Повышение содержания минеральных веществ было обусловлено поступлением с затопленной водосборной площади после наводнения, определенное влияние могло оказать появление низконапорной ГЭС Дадинзишань ниже г. Харбин.

По длине Амура наибольшее влияние зарегулированных рек Зея и Бурея проявляется на участке между г. Благовещенск и с. Амурзет [Шестеркин, Шестеркина, 2012]. Если выше Благовещенска минерализация воды изменяется в пределах

150–300 мг/л, то ниже не превышает 40 мг/л. Вода характеризуется повышенной цветностью (до 68°).

Зарегулирование рек Зея и Бурея существенно снизило негативное влияние на качество вод Среднего Амура техногенной аварии на химическом комбинате г. Цзилинь (КНР) в декабре 2005 г. [Шестеркин, 2010].

Таким образом, гидроэнергетическое строительство в бассейне р. Амур оказало значительное влияние на содержание растворенных веществ и пространственную изменчивость химического состава воды в зимнюю межень.

Зарегулирование рек Зея и Бурея обусловило понижение величины минерализации и соответственно концентраций главных ионов в воде р. Амур, повышение цветности воды и содержания органических веществ, улучшение кислородного режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авакян А.Б., А.Г. Кочарян, Майрановский Ф.Г. Влияние водохранилищ на трансформацию химического стока рек // Водные ресурсы, 1994. – Т.21. – №2. – С. 144–153.

Шестеркин В.П. Зимний кислородный режим вод Амура // География и природные ресурсы. 2004. – №1.– С. 148–151.

Шестеркин В.П. Зимний гидрохимический режим Амура //Вестник ДВО, 2007. – №4. – С. 35–43.

Шестеркин В.П. Изменение химического состава речных вод в Хабаровском водном узле за столетие // Тихоокеанская геология, 2010. – Т. 29. – №2. – С. 112–118.

Шестеркин В.П. Изменение содержания органического вещества в воде Амура у Хабаровска в зимнюю межень // География и природные ресурсы, 2012. – №3. – С. 100–104.

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние Зейского и Бурейского водохранилищ на зимний гидрохимический режим Среднего Амура // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ (Дружининские чтения. Вып.2): материалы всерос. науч.-практ. конф. Хабаровск ИВЭП ДВО РАН, 2005. – С. 63–65.

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Пространственная и сезонная изменчивость химического состава воды Среднего Амура // Водное хозяйство России, 2012. – №5. – С. 18–28.

Эдельштейн К.К., Гречушникова М.Г. Воздействие гидротехнического строительства на сток Амура // Метеорология и гидрология, 2006. – №5. – С. 86–95.

IMPACTS OF HYDROPOWER CONSTRUCTIONS ON THE AMUR HYDROCHEMICAL REGIME IN WINTER

Shesterkin V.P., Shesterkina N.M.

Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia

shesterkin@ivep.as.khb.ru

ABSTRACT

The paper discusses impacts of hydropower constructions on the Amur hydrochemical regime in winter. Recent studies revealed oxygen regime improvements, the reduced concentrations of major ions and the increased content of organic substances in waters of the Middle Amur at the end of the freeze-up. The lowest mineralization values (<40 mg/L) were observed in the river passage between Blagoveshchensk and Amurzet.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ САМООЧИЩЕНИЯ РЕКИ МОСКВЫ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 15 ЛЕТ

Щеголькова Н.М., Вениционов Е.В., Рыбка К.Ю., Скрипчинский А.К., Звезденкова Г.А.

Институт водных проблем РАН, Москва

nshegolkova@mail.ru

Сделана оценка экологического состояния реки Москвы по скоростям самоочищения. Показано, что скорости самоочищения реки Москвы значительно снизились в последнее время, а по отдельным компонентам наблюдается загрязнение воды от донных отложений. Рассматриваются причины снижения скоростей самоочищения.

Расположение крупного мегаполиса на средних или малых реках всегда предполагает чрезвычайно высокую нагрузку на эти водотоки. Река Москва относится к подобной реке: мегаполис расположен на средней по водности реке, она зарегулирована в среднем и нижнем течении системой плотин, которые увеличили глубину и ширину реки. Формирование донных отложений – один из важных факторов, формирующих качество речной воды в зарегулированной реке, где скорости течения значительно меньше естественных. Объемы накапливаемых донных отложений являются результатом взаимовлияния двух основных процессов: 1) поступление в реку аллохтонного органического вещества (ОВ) с точечными и диффузными стоками; 2) разложение ОВ биоценозом реки. Основным регулирующим мероприятием по очистке дна от накопившихся донных отложений являлась до недавнего времени регулируемая промывка русла (посредством спуска части накопленной весной воды из москворецких водохранилищ). В 1998 году была проведена последняя такая промывка. За годы после этого мероприятия в водной системе города произошли некоторые изменения: 1) введена в строй система снегосплавных пунктов, которая позволяет очищать диффузные загрязнения и таким образом снижает поступление аллохтонной органики; 2) проведена модернизация двух основных очистных сооружений Москвы (Курьяновских и Люберецких – КОС и ЛОС) – очистка стоков стала производиться не только от органических веществ, но и от биогенных элементов, вся очищенная вода стала обеззараживаться с помощью ультрафиолетового облучения.

Ранее было показано, что интегральной характеристикой экологического состояния реки и способом оценки функционирования системы “река-очистные сооружения”, является скорость самоочищения на участке реки ниже города (который испытывает наибольшее влияние от сточных вод) [Щеголькова, Вениционов, 2011]. Целью данной статьи является исследование скоростей самоочищения реки в последние 15 лет для оценки экологического состояния реки Москвы и определения трендов в качестве речной воды.

За основу расчетов брались данные ежемесячных обследований реки Москвы в постоянных створах экологического контроля МГУП “Мосводоканал”: “Выше КОС”, “Выпуск КОС”, “Заозерье”. Расстояние между выпуском КОС и створом Заозерье составляет 34 км (рис. 1). Данные по расходам реки получены в управлении Канала им. Москвы, данные по расходу выпуска КОС – в АО “Мосводоканал”.

Были рассчитаны скорости самоочищения для показателей: содержание азота (общего, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$), содержание органического вещества (по ХПК и $БПК_5$), фосфатов.

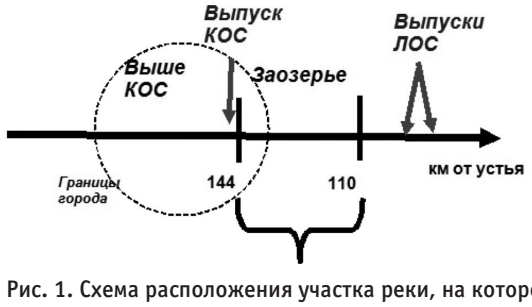


Рис. 1. Схема расположения участка реки, на котором рассчитывались скорости самоочищения

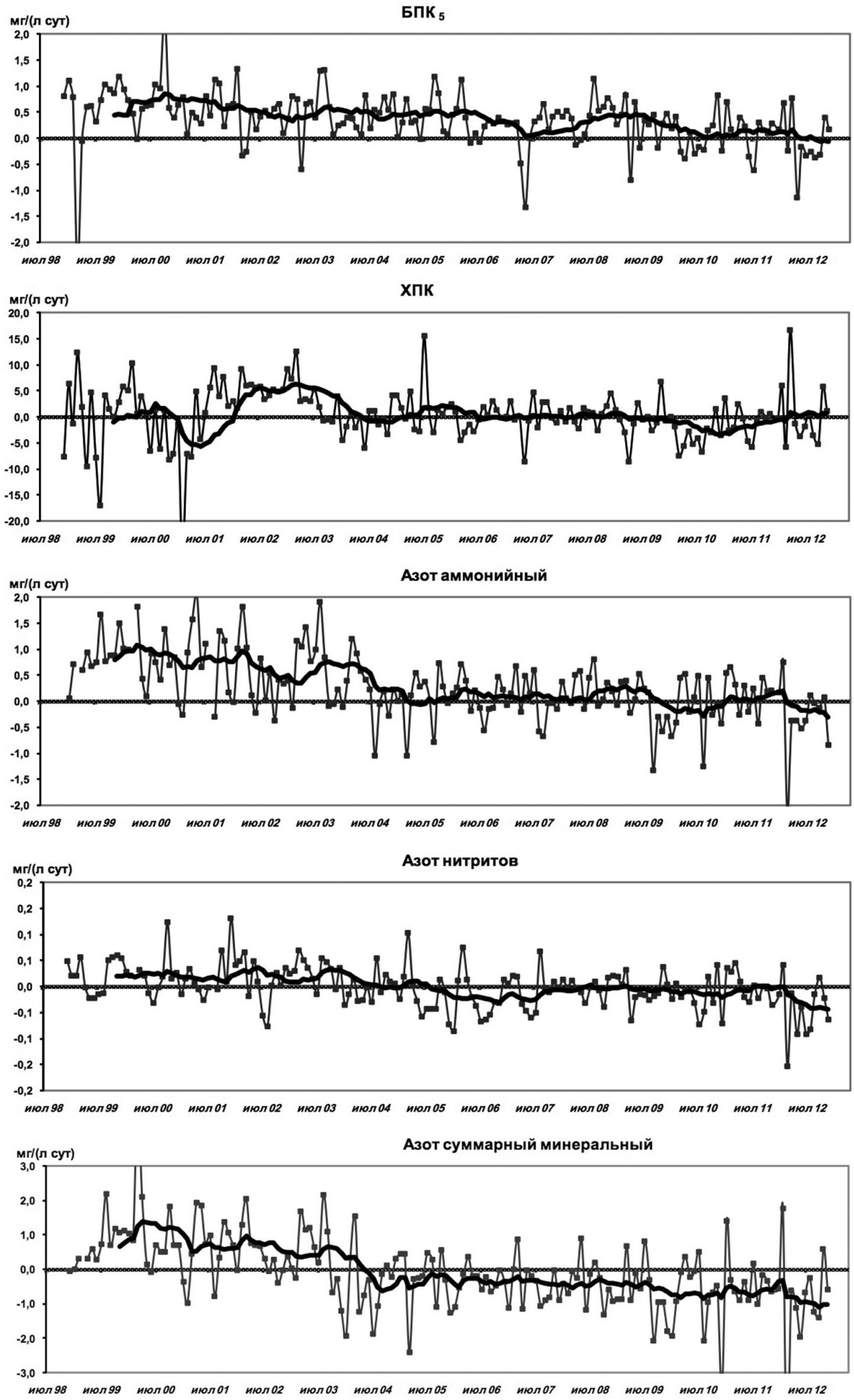


Рис. 2. Скорости самоочищения на участке от выпуска КОС до створа Заозерье

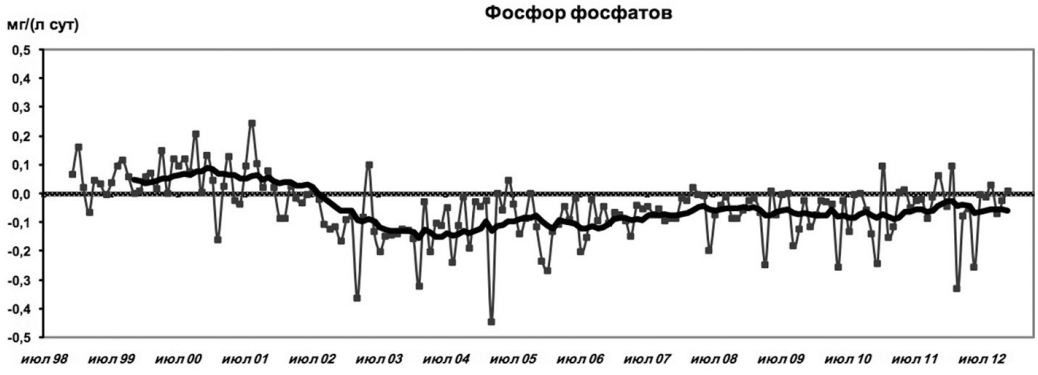


Рис. 2 (окончание). Скорости самоочищения на участке от выпуска КОС до створа Заозерье

Для створа "Ниже КОС" качество воды рассчитывалось по формуле:

$$C_{n\ \text{Ниже КОС}} = (C_{\text{река}} \times Q_{\text{река}} + C_{\text{КОС}} \times Q_{\text{КОС}})/(Q_{\text{река}} + Q_{\text{КОС}}), \quad (1)$$

где $C_{n\ \text{Ниже КОС}}$ – концентрация вещества n в реке ниже выпуска;

$C_{\text{река}}$ – концентрация вещества n в реке выше выпуска;

$Q_{\text{река}}$ – расход воды реки;

$C_{\text{КОС}}$ – концентрация вещества n в выпуске;

$Q_{\text{КОС}}$ – расход воды выпуска.

Скорости самоочищения для участка реки "Ниже КОС – Заозерье" рассчитывались следующим образом:

$$AP_{v,n} = (C_{n,1} - C_{n,2})/\tau_{1\text{-}2}, \quad (2)$$

где AP_{vn}, мг/(л сут) – скорость самоочищения по веществу nN; $C_{n,1}$ – концентрация вещества n в створе Ниже КОС; $C_{n,2}$ – концентрация вещества n в створе Заозерье;

$\tau_{1\text{-}2}$ – время движения воды между створами.

Расчет времени движения воды между створами Ниже КОС и Заозерье рассчитывался по формуле:

$$\tau_{1\text{-}2} = \sum_{i=1}^{i=N} \frac{S_i L}{Q_t}, \quad (3)$$

где Q_t – расход реки (м^3/с) на i-ом участке в период времени t (гидрологические данные получались ежедекадно), S_i – площадь поперечного сечения реки (м^2) для i-го участка русла длиной от 100 до 500 м, участки были выделены последовательно от створа "Ниже КОС" до створа "Заозерье" по однородности площади сечения: створ №1 – первый после выпуска КОС, N – створ последний перед створом Заозерье, L – длина i-го участка русла (м).

Боковой приточностью, которая составляет не более 15% от расхода реки, пренебрегали, так как эффект от разбавления в этом случае не превышает ошибки определения качества воды по химическим показателям.

Кроме того были рассчитаны скорости течения реки на разных участках реки:

$$V_i = Q_t / S_i, \quad (4)$$

где Q_t – расход реки на i-ом участке участке в период времени t (гидрологические данные получались ежедекадно), S_i – площадь поперечного сечения реки для этого участка русла.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Скорости самоочищения по таким показателям, как ХПК, $БПК_5$, содержание минеральных форм азота и фосфора были максимальными в период 1999–2006 гг. и снизились по всем показателям за 15-летний период. Так скорость самоочищения по $N–NH_4$ снизилась с 1999 по 2005 гг. с 1,5 до 0 мг/(л сут) и стала иметь отрицательные значения после 2010 года. Скорость самоочищения по биоокисляемому органическому веществу сохранялась достаточно стабильной в течение последних лет после промывки 1998 г. – около 0,5 мг/(л сут), что свидетельствует о стабильном функционировании бактериопланктона на данном участке реки в этот период. Однако после 2010 года скорость по трудноокисляемому веществу снизилась до 0 и стала также иметь отрицательные значения. Аналогичные тренды наблюдались по остальным показателям. Таким образом, с 2006–2010 гг. река утратила способность к самоочищению по всем веществам. Более того, в реке стали преобладать процессы загрязнения от донных отложений. Это означает, что возможность седиментации взвешенных частиц в реке в местах расширения русла и возможность переработки органики бентосным сообществом были исчерпаны за этот период. Чтобы улучшить экологическое состояние реки необходимо либо провести регули-

руемую промывку дна аналогично последней промывке 1998 года, либо стимулировать разложение донных илов биологическими методами (например, заселением дна реки двустворчатыми моллюсками). За этот период произошло еще одно важное регулирующее мероприятие: введение в строй системы снегосплавных пунктов, которое значительно снизило поступление ОВ в реку. Однако к моменту запуска этой системы очистки (2006 г.) донные илы уже накопились на дне реки.

Еще одним важным фактором, влияющим на процессы самоочищения, может быть снижение скорости течения реки за счет уменьшения обводнения реки волжской водой по каналу и за счет снижения городского водопотребления (отразившегося в снижении расхода КОС). Так в районе расширения русла Братеево-Беседы скорости течения снизились значительно ниже критической скорости размывания глинистых частиц (0,08 м/с) и составляют ныне 0,06 м/с в среднем с 2006 года. А это значит, что "мощность" взмученного слоя, который играет важную роль в самоочищении реки от азота [Щеголькова, Веницианов, 2011], заметно снизилась. Это также может быть причиной снижения скоростей самоочищения от общего азота (рис. 2).

Учитывая все вышеназванные причины снижения скоростей самоочищения, авторы отмечают, что промывка дна должна улучшить экологическое состояние реки и повысить ее самоочищающую способность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Щеголькова Н.М, Веницианов Е.В. Охрана загрязненной реки: интенсификация самоочищения и оптимизация водоотведения. – М.: РАСХН. 2011. – 388 с.

PROCESS CHANGE OF SELF-PURIFICATION OF THE MOSCOW RIVER DEPENDING ON THE DEVELOPMENT SYSTEM DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT

Shchegolkova N.M., Venitsianov E.V., Rybka K.J., Skripchinsky A.K., Zvezdenkova G.A.

Institute of Water Problems, RAS, Moscow, Russia, nshegolkova@mail.ru

ABSTRACT

Estimation of ecological status of Moskva River made through the calculation of self-purification rates. It is shown that the self-purification rate decreased significantly in recent years, and it was observed water pollution from sediments on individual components. We considered reasons of decrease rates of self-purification.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Янин Е.П.[1], Кузьмич В.Н.[2], Иваницкий О.М.[1]

[1] Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва

[2] АНО "НИИ Промышленной экологии", Москва

yanin@geokhi.ru

Обосновываются методические подходы к определению допустимого содержания химических веществ, природная концентрация которых в воде водного объекта отличается от установленных для них ПДК.

В России качество поверхностных вод оценивается на основе гигиенических нормативов ПДК и ОДУ химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и "рыбохозяйственных" нормативов качества воды (ПДКрх вредных веществ воды водных объектов рыбохозяйственного значения). Для оценки состояния водного объекта и расчета комплексных показателей загрязненности воды обычно используют наиболее "жесткие" (минимальные) значения из действующих нормативов ПДК. Для большинства показателей таковыми являются единые для всех водных объектов страны ПДКрх, которые разработаны без учета природных особенностей водного объекта и его водосборной территории и закономерно существующей региональной неоднородности химического состава поверхностных вод. На практике ПДКрх целого ряда веществ оказываются либо чрезвычайно "жесткими", либо, наоборот, слишком "мягкими". В то же время в литературе описаны и изучены водные объекты различных регионов страны, когда при содержании в речных водах химических элементов, превышающих нормативы ПДКрх, не наблюдалось видимых нарушений в развитии гидробионтов и их сообществ, и водные экосистемы функционировали без каких-либо негативных нарушений. На основании оценки загрязненности поверхностных вод по индексу УКИЗВ Росгидромета с установлением соответствующего класса качества воды, которая обычно приводится в официальных источниках, получается, что значительная часть речной сети России существенно загрязнена. Это объясняется тем, что при расчете УКИЗВ используются естественные концентрации химических веществ, которые, в силу природного их содержания, превышают установленные нормативы ПДКрх воды водного объекта.

Существование природной пространственной неоднородности химического состава природных вод является следствием важнейшей особенности строения биосферы – ее геохимической гетерогенности. Практически все факторы, определяющие формирование состава природных вод, характеризуются пространственным разнообразием интенсивности своего проявления и степени участия в данном процессе. Для многих факторов типична широтная зональность и (или) высотная поясность их проявления. Из природных факторов, влияющих на формирование состава вод, особое значение имеют климатические особенности территории, во многом определяющие источники питания и режим водного стока, засоленность почв, состав почвообразующих минералов, криогенные явления, распространение болот и процессы заболачивания, карст, другие экзогенные процессы. Природная геохимическая неоднородность строения территории России хорошо проявляется в глобальном масштабе: в пределах страны выделяются фрагменты 7 геохимических мегапровинций, 18 геохимических провинций и 78 геохимических зон, весьма неоднородных в геохимическом отношении. Характерной особенностью геохимических провинций и зон является повышенная концентрация в различных компонентах окружающей среды различных химических элементов. Геохимические провинции в мегапровинциях отвечают плитам, щитам и покровно-складчатым областям и характеризуются отчетливо выраженными чертами геохимической индивидуальности. Даже аномальные поля провинций с аналогичной геотектонической позицией (кристаллические щиты, платформенные плиты, складчатые области), как правило, геохимически различаются. Все это предопределяет пространственную пестроту литогеохимической основы ландшафтов нашей страны и формирование в ее пределах разнообразных ландшафтно-

геохимических провинций и геохимических ландшафтов, что априори предопределяет различие физико-географических условий водосборов и, соответственно, условия формирования химического состава поверхностных вод. Скорость, интенсивность и формы проявления ландшафно-геохимических процессов во многом зависят от климатических и геоморфологических условий. Большинство ландшафтно-геохимических процессов, охватывает не одну, а несколько ландшафтных зон, но в отдельных зонах изменяются их соотношения и формы проявления. Существование широтной зональности, во многом определяющей особенности проявления физико-географических и ландшафтно-геохимических процессов, обусловливает и зональное распределение такого важнейшего компонента природных вод, как органическое вещество. Пространственные неоднородности геологического строения, геохимической специализации горных пород, ландшафтно-геохимическая, почвенно-геохимическая и климатическая дифференциация территории страны обусловливают формирование в ее пределах биогеохимических и гидрогеохимических провинций. В частности, биогеохимические провинции существенно отличаются от соседних областей уровнями содержания химических элементов (их дефицитом или избытком) в горных породах, почвах, природных водах. Гидрогеохимические провинции обычно характеризуются повышенными и высокими природными концентрациями в водах целого ряда нормируемых химических элементов и веществ. Особую роль в формировании состава поверхностных вод, особенно в регионально-локальном плане, играют выходы минеральных вод и месторождения различных полезных ископаемых, особенно рудные месторождения и россыпи. В России известно более 20 тыс. месторождений различных полезных ископаемых (нефти, природного газа, каменного угля, руд черных, цветных, редких и благородных металлов, редкоземельных элементов, горнохимического нерудного технического сырья, драгоценных и поделочных камней и минеральных материалов и др.), плотность размещения которых достаточно велика. К этому следует добавить большое количество различных рудопроявлений и зон минерализации, расположенных в металлогенических зонах, плотность размещения которых также достаточно велика. Рудные месторождения характеризуются присущими им гидрогеохимическими полями, отличающимися повышенными и высокими концентрациями многих химических элементов и их соединений.

Выше сказанное определило необходимость систематизации, анализа и обобщения информации по региональной естественной неоднородности состава и свойств поверхностных вод в пределах нашей страны, которые были выполнены для каждого из установленных Водным кодексом РФ бассейновых округов, которые являются основной единицей управления в области использования и охраны водных объектов. При сборе и систематизации информации, характеризующей естественную (природную) региональную неоднородность качества поверхностных вод, особое внимание уделялось ретроспективным материалам, в той или иной мере отражающим так называемый “дохозяйственный период”, а также данным, полученным при изучении фоновых участков гидрографической сети (участков, не испытывающих прямое хозяйственное воздействие). Для территории каждого бассейнового округа проведена систематизация, анализ и обобщение сведений по общим условиям и основным факторам формирования химического состава поверхностных вод, важнейшим химическим веществам и их своеобразию в зависимости от природных условий, выявлены характерные “загрязняющие” вещества поверхностных вод и определены химические элементы, химические соединения и показатели, характеризующие состав и свойства воды, свойственные поверхностных водам того или иного региона и требующие корректировки действующих нормативов ПДКрх. Анализ информации по особенностям формирования химического состава поверхностных вод и данных по количественным параметрам распределения химических элементов и их соединений в поверхностных водах в пределах бассейновых округов показал, что состав воды в пределах конкретного бассейнового округа в природных условиях характеризуется специфическими особенностями, которые обусловлены естественными условиями и факторами его формирования и которые должны учитываться при ревизии нормативов ПДКрх и установлении рыбохозяйственной категории водных объектов. Результаты обобщения данных свидетельствуют о том, что распределение многих химических элементов и их соединений, которые используются для оценки качества поверхностных вод и степени их загрязнения, определяется природными факторами и условиями. Без учета природных особенностей водного объекта и территории его бассейна, имеющиеся оценки качества поверхностных вод не отражают их реального состояния на территории нашей страны.

В результате работы выделены бассейновые округа, в пределах которых имеется необходимость пересмотра действующих нормативов ПДКрх, определены химические вещества, для

которых требуется установление региональных нормативов качества воды, и вещества, для которых требуются дополнительные исследования. Показаны возможности использования ГИС-технологий для выделения территорий, в границах которых качество поверхностных вод определяется природными факторами. Даны рекомендации для проведения специальных гидрохимических исследований (совместно с гидробиологическими) на участках рек, расположенных вне зон прямого техногенного воздействия. Применение предложенного подхода позволит увеличить информативность системы государственного мониторинга водных объектов, государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов.

DETERMINATION OF THE NATURAL REGIONAL HETEROGENEITY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE WATER DURING THE ESTABLISHMENT OF THE NORMALIZED INDICES OF QUALITY OF THE WATER

Yanin E.P.[1], Kuzmich V.N.[2], Ivanizkii O.M.[1]

[1] Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, yanin@geokhi.ru

[2] ANO "Scientific research institute of industrial ecology", Moscow, Russia, kvnpriroda@mail.ru

ABSTRACT

Systematic approaches to the determination of the permissible content of the chemical substances, whose natural concentration in the water of aqueous object is differed from established for them PDK, are based in this paper.

ПОДСЕКЦИЯ 1.4

ЭКОЛОГИЯ

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ИРТЫШ

Баженова О.П., Гульченко Я.И.

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск

olga52@bk.ru, gulchenkoyi@gmail.com

Выполнена оценка качества воды Иртыша в районе г. Омска (среднее течение реки) по показателям обилия и структуры фитопланктона за период открытой воды 2014 г. Установлены статистически значимые изменения в обилии и структуре фитопланктона реки по сравнению с периодом предыдущих исследований (1998–2001 гг.).

Трансграничная река Иртыш имеет исключительное значение для водоснабжения города Омска и региона в целом, что вызывает необходимость постоянного контроля качества воды и состояния экосистемы реки. С каждым годом возрастает интенсивность использования реки не только на территории России, но и в Китае и Казахстане. Резкое увеличение водозабора Китаем привело к угрозе истощения вод Иртыша и ещё более обострило обстановку в бассейне реки [Баженова, Вахрушев, 2011]. В целях обеспечения экологической безопасности Омской области и контроля соблюдения международных договоров необходимо проведение оценки современного состояния экосистемы реки Иртыш, качества её вод и направленности происходящих изменений.

Экологическая оценка состояния верхнего и среднего Иртыша по показателям развития фитопланктона выполнялась в 1998–2003 гг. [Баженова, 2005]. На основе качественных характеристик фитопланктона состояние экосистемы среднего течения реки Иртыш было определено как антропогенное экологическое напряжение.

Целью данной работы являлось выполнение оценки современного состояния фитопланктона и качества воды реки Иртыш в районе города Омска.

Работа основана на материалах обработки проб фитопланктона реки Иртыш в районе Омска в период открытой воды (23 апреля–6 ноября) 2014 г. Отбор проб проводили с частотой 2–3 раза в месяц на двух гидробиологических створах выше и ниже Омска из поверхностного слоя воды в трёх точках поперечного сечения реки – у берегов и на середине. Пробы фиксировали формалином, концентрировали осадочным способом, обрабатывали общепринятыми методами [Фёдоров, 1979]. Всего отобрано и обработано 82 количественные пробы фитопланктона.

За исследуемый период в фитопланктоне реки Иртыш найдено 219 видовых и внутривидовых таксонов (ВВТ), относящихся к 9 отделам: Cyanoprokaryota (32 ВВТ), Chrysophyta (9 ВВТ), Xanthophyta (1 ВВТ), Bacillariophyta (36 ВВТ), Dinophyta (2 ВВТ), Cryptophyta (2 ВВТ), Euglenophyta (10 ВВТ), Chlorophyta (115 ВВТ), Streptophyta (8 ВВТ). В доминирующий комплекс вошли 31 ВВТ. Высокую частоту доминирования имели представители Cyanoprokaryota (4 ВВТ), Chlorophyta (2 ВВТ), Bacillariophyta (6 ВВТ) и Euglenophyta (1 ВВТ).

Общая численность фитопланктона изменялась в пределах 0,08–223,29 млн кл./л, биомассы – от 0,02 до 9,42 г/м^3, составляя в среднем 14,51 ± 3,93 млн кл./л и 1,89 ± 0,16 г/м^3, соответственно. По показателю биомассы фитопланктона [Шитиков и др., 2003] вода Иртыша относится к 3 классу качества (удовлетворительной чистоты), разряду 3б (слабо загрязнённая).

Весной общая численность фитопланктона составляла 4,29 ± 0,90 млн кл./л, биомасса – 2,29 ± 0,50 г/м^3. В начале весны наиболее активно вегетируют диатомовые и эвгленовые водоросли. Постепенно возрастает обилие диатомовых, зелёных водорослей и цианобактерий, а эвгленовых водорослей снижается. Вклад диатомовых по численности весной в среднем составлял 68,4%, зелёных – 19,5%, цианобактерий – 9,9% и эвгленовых водорослей – 1,5%. Основную долю биомассы фитопланктона весной формировали диатомовые (89,3%) и зелёные (7,2%) водоросли.

Летом общая численность фитопланктона изменялась в широких пределах: от 1,14 до 233,29 млн

кл./л, с абсолютным максимумом в начале сентября (конец биологического лета), обусловленным развитием цианобактерии *Aphanocapsa holsatica* (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek. Общая биомасса колебалась от 0,19 до 9,42 г/м^3 и имела 3 пика: в конце июня, середине июля и начале сентября.

С началом лета обилие диатомовых водорослей снижается, а цианобактерий – возрастает. Доля цианобактерий летом в среднем составляла 83,7% общей численности, достигая своего максимума (97,5%) в начале сентября. Заметный вклад в формирование общей численности летнего фитопланктона вносили диатомовые (7,5%) и зелёные (8,8%) водоросли, образующие основную часть общей биомассы летнего фитопланктона – 65,4% и 19,1% соответственно.

Осенью общая численность фитопланктона изменялась в пределах 0,08–55,18 млн кл./л, биомасса – 0,02–3,30 г/м^3. Максимум численности, обусловленный развитием цианобактерий (*Aphanocapsa holsatica*), приходился на конец сентября, после чего она плавно снижалась. Основную долю общей численности фитопланктона осенью, как и летом, формировали цианобактерии (74,2%), меньший вклад вносили зелёные (14,2%) и диатомовые водоросли (11,2%). Общая биомасса осенью имела два максимума – в конце сентября и в конце октября. В формировании общей биомассы фитопланктона осенью основную роль играли диатомовые водоросли (62,6%), Значительный вклад вносили зелёные водоросли (24,1%) и цианобактерии (11,8%).

При сравнении полученных данных с результатами предыдущих исследований (1998–2001 гг.) была выдвинута нулевая гипотеза о принадлежности выборок, соответствующих двум периодам исследований, к одной генеральной совокупности. Поскольку распределение величины общей численности фитопланктона не подчиняется нормальному закону, что подтверждается значениями коэффициентов асимметрии и эксцесса, проверку гипотезы осуществляли при помощи рангового непараметрического критерия Манна-Уитни (U-критерия), позволяющего сравнивать разномощные выборки, не налагая требования на нормальность распределения входящих в них случайных величин [Кобзарь, 2006]. Сравнение данных проводили по обилию и структуре фитопланктона. Под показателями обилия понимаются общая численность и общая биомасса фитопланктона, в качестве показателей структуры использовали относительные численность и биомассу отделов. Выборки по численности и биомассе сравнивали независимо друг от друга, однако для обеих характеристик результат полностью согласуется, – в случае значимости отличий выборок по численности фитопланктона выявляется значимость отличий выборок по биомассе. Достоверность отличий рассматривали на 5% и 1% уровнях значимости.

Весной 2014 г. обилие фитопланктона Иртыша в районе г. Омска осталось на прежнем уровне, статистически значимые различия отсутствуют. Статистически значимые отличия показателей обилия фитопланктона в сравнении с показателями предыдущего периода установлены для летнего и осеннего сезонов 2014 г. Полученное эмпирическое значение критерия для выборки по общей численности летом равно $U_{эмп}$ = 197 при $U_{кр05}$ = 254 и является значимым даже на 1% уровне ($U_{кр01}$ = 214). Для осеннего сезона $U_{эмп}$ = 46 при $U_{кр05}$=47, что подтверждает значимость различий выборок на 5% уровне. Изменения общей биомассы летом и осенью значимы на 1% уровне, $U_{эмп}$ = 196 при $U_{кр01}$ = 214 летом и $U_{эмп}$ = 30 при $U_{кр01}$ = 32 осенью. Средние значения общей численности фитопланктона летом возросли на 2,35 млн кл./л, а осенью снизились на 5,88 млн кл./л. Одновременно с тем, общая биомасса летом и осенью снизилась в среднем на 0,91 г/м^3 и 1,64 г/м^3 соответственно.

В структуре фитопланктона Иртыша отмечены существенные изменения, выражающиеся в статистически значимом снижении доли зелёных водорослей в общей численности и биомассе фитопланктона реки в весенний и летний сезоны 2014 г. Так, полученное эмпирическое значение критерия для выборки по относительной численности зелёных водорослей весной равно $U_{эмп}$ = 27 при $U_{кр01}$ = 42, являясь значимым на 1% уровне. Для летнего сезона получено значение $U_{эмп}$ = 240 при $U_{кр05}$ = 254, подтверждающее значимость отличий на 5% уровне. Вклад отдела Chlorophyta в среднем снизился на 18,2% весной и 16,2% летом. Изменение доли цианобактерий, диатомовых и эвгленовых водорослей статистически незначимо.

Класс и разряд качества воды реки Иртыш в 2014 г. не изменился по сравнению с прошлым периодом исследований. Однако, в связи с тем, что структура фитопланктонных сообществ является первостепенной характеристикой, используемой при биоиндикации водного объекта [Абакумов, 1991], установленная статистически достоверная перестройка структуры фитопланктона реки Иртыш указывает на объективные изменения экологического состояния реки, произошедшие за последние 11 лет. Об этом же свиде-

тельствуют статистически значимые отличия среднесезонных показателей обилия в исследуемых периодах. Поскольку развитие фитопланктонных сообществ зависит от ряда экологических факторов, в том числе климатических, необходимо продолжение исследований для установления направленности изменений, происходящих в экосистеме реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов В.А. Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: труды междунар. симпозиума. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – С. 18–40.

Баженова О.П. Фитопланктон Верхнего и Среднего Иртыша в условиях зарегулированного стока. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2005. – 248 с.

Баженова О.П., Вахрушев А.А. Фитопланктон реки Иртыш в районе проектируемого гидротехнического узла (г. Омск) // Водные экосистемы Сибири и перспективы их использования: материалы Всеросс. конф. с междунар. участием. – Томск: Изд-во ТГУ, 2011. – С. 31–33.

Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006. — 816 с.

Фёдоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 168 с.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

LONG-TERM CHANGES OF THE PHYTOPLANKTON DEVELOPMENT INDICES OF THE MIDDLE IRTYSH RIVER

Bazhenova O.P., Gulchenko Y.I.

Omsk State Agrarian University of P.A. Stolypin, Omsk, Russia, olga52@bk.ru, gulchenkoyi@gmail.com

ABSTRACT

Water quality rating of the Irtysh river in the Omsk city region (middle course) is executed in terms of phytoplankton abundance and structure over a period of navigation season in 2014. Statistically significant changes are set in the abundance and composition of the river phytoplankton in comparison with the period of previous studies (1998–2001).

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ СООБЩЕСТВ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ РЕКИ БАРНАУЛКИ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Безматерных Д.М.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

bezmater@iwep.ru

Показана зависимость структурных характеристик сообществ донных макробеспозвоночных и рассчитанных на их основе биоиндикационных индексов от гидрофизических и гидрохимических показателей воды и донных отложений.

Река Барнаулка впадает в Обь слева у г. Барнаула, ее длина составляет 207 км, площадь бассейна – 5720 км^2, средний многолетний расход воды – 3,70 м^3/сек, общее падение реки 88 м. Уровень антропогенного воздействия на р. Барнаулку значительно увеличивается от верхнего к нижнему течению. В черте г. Барнаула вода реки сильно загрязнена, концентрация некоторых загрязнителей может превышать рыбохозяйственные нормативы ПДК (ПДК$_{рх}$) в 20 раз [Река Барнаулка…, 2000].

Структура сообществ донных беспозвоночных бассейна р. Барнаулки изучена нами в 1996–2001 гг. и 2003 гг. [Безматерных, 2008]. В зообентосе реки, ее притоков и связанных с ней озер обнаружено 115 видов гидробионтов из 11 классов. По результатам изучения зообентоса были рассчитаны биоиндикационные индексы и оценено экологическое состояние водотока. По данным биологического анализа вода р. Барнаулки в верхнем и среднем течении характеризуется как “умеренно загрязненная” (III класс качества вод по шкале Росгидромета), в нижнем течении – “грязная” (V класс). В данной работе приводится анализ влияния антропогенного загрязнения воды и донных отложений на структуру макрозообентоса р. Барнаулки.

С 11 апреля по 5 октября 2000 г. во время шести ежемесячных экспедиционных выездов на семи мониторинговых станциях на р. Барнаулке отобрано 42 пробы макрозообентоса. Параллельно с ними отбирали пробы воды и донных отложений для химического анализа. Для выявления влияния природных и антропогенных факторов на структуру макрозообентоса использовали широко распространенный в практике естественнонаучных исследований коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r).

Проанализирована связь 11 основных показателей структуры зообентоса (общее число видов, численность и биомасса в целом, а также основных групп: олигохет, моллюсков, хирономид и всех прочих таксонов) с 45 гидрофизическими и гидрохимическими показателями (температура, скорость течения, гранулометрический состав грунта, pH, Eh, электропроводность, NH_4^+, Cl^-, NO_2^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, O_2, Hg, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, органический углерод, перманганатная окисляемость, химическое потребление кислорода, БПК$_5$, фенолы, нефтепродукты) воды и двух фракций грунта – 1–0,25 мм и менее 0,25 мм.

На первом этапе работы проведены расчеты по всему имеющемуся массиву данных (N = 42) по каждой точке отбора и за все периоды исследований. Результаты расчетов выявили наличие ряда достоверных (уровень значимости $p < 0,05$) корреляционных связей слабой и средней силы (r = 0,35–0,53) между проанализированными показателями, причем количество выявленных достоверных корреляций с показателями качества воды и донных отложений примерно одинаково, что свидетельствует об относительно равной важности для донных беспозвоночных как качества воды, так и донных отложений. Следует отметить, что, вероятно, среди выявленных достоверных значений есть как истинные зависимости, например, с содержанием некоторых токсичных тяжелых металлов, так и опосредованные – с показателями содержания органических веществ.

Организмы макрозообентоса отличаются от других гидробионтов продолжительностью жизни от нескольких месяцев до нескольких лет и за этот период могут происходить значительные колебания показателей загрязнения (особенно в воде), поэтому структура донных сообществ является индикатором “хронического” загрязнения. Как известно, показатели развития зообентоса (в том числе притоков Верхней Оби) характеризуются значительной временной неоднородностью (сезонной динамикой), в основном обусловленной особенностями

жизненных циклов входящих в его состав беспозвоночных [Безматерных, 2007]. Учитывая это, на следующем этапе был проведен корреляционный анализ средних арифметических значений, полученных гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей, за весь период исследования. Результаты этого анализа выявили еще большее количество достоверных связей ($p < 0,05$) между показателями качества окружающей среды и показателями макрозообентоса (особенно по воде). При этом значения коэффициентов корреляции значительно возросли, достигнув высокой силы связи ($r = 0,77–0,96$).

Обычно для биоиндикации экологического состояния водных объектов используют не отдельные показатели сообществ донных беспозвоночных, а индексы, которые рассчитываются по ряду таких показателей. К настоящему времени в мире применяются десятки таких биоиндикационных индексов и сотни отдельных метрик [Безматерных, 2007]. В России для оценки качества поверхностных вод суши по составу и структуре сообществ макробеспозвоночных на государственном уровне утверждены следующие индексы [ГОСТ 17.1.3.07-82]: сапробности (по Пантле и Букку в модификации Сладичека), олигохетный (Гуднайта и Уитлея) и биотический Вудивисса (TBI – реки Трент). Эти индексы являются классическими, они разработаны в европейских странах, но на их основе в разных странах мира и отдельных регионах сделаны модификации и новые индексы, учитывающие специфику местных условий. Также в практике экологического мониторинга широко распространено применение индексов, оценивающих биологическое разнообразие (обычно видовое), среди которых часто используется индекс видового богатства Маргалефа [Безматерных, 2007]. В условиях Западной Сибири опыт использования этих индексов государственными природоохранными службами практически отсутствует. Нет специально разработанных для бассейна р.Барнаулки индексов или их модификаций. Поэтому целесообразно начать анализ информативности использования биоиндикационных индексов с их исходных вариантов.

Для оценки эффективности применения этих индексов на р. Барнаулке был проведен корреляционный анализ рассчитанных биоиндикационных индексов со средними за период открытой воды значениями гидрофизических и гидрохимических показателей качества воды. Результаты анализа показали наличие сильной достоверной связи (r = 0,76–0,96) использованных индексов с показателями органического загрязнения воды (все четыре индекса) и содержанием двух тяжелых металлов (Zn и Cd) в грунте (все, кроме олигохетного).

Для рассчитанных биоиндикационных индексов выявлены достоверные зависимости (коэффициент детерминации $R^2 > 0,6$) с некоторыми показателями загрязнения воды и донных и отложений (средними за период изучения). Полученные зависимости отражают повышение индексов сапробности и олигохетного и понижение Вудивисса и Маргалефа при увеличении уровня загрязнения воды и донных отложений. Ранее было показано, что эти биоиндикационные индексы и гидрохимические данные дают в общем сходные оценки вод р. Барнаулки по классам качества [Безматерных, 2008]. Это свидетельствует об адекватности результатов расчета данных индексов для оценки качества вод реки.

Полученные закономерности соответствуют наблюдавшимся градиентам (изменение концентрации в несколько раз) проанализированных показателей качества воды и грунта, а также превышению уровня $ПДК_{рх}$ (от существенно более низкого уровня до превышения $ПДК_{рх}$ в четыре раза), что было характерно для NH_4^+, NO_2^- и $БПК_5$, а также O_2 (значительно ниже минимального уровня). Аналогичные градиенты также выявлены для тяжелых металлов в донных отложениях, но относительно $ПДК_{почв}$ для Cd, Cu, Mn и Zn (превышение $ПДК_{почв}$ до шести раз). При этом ранее было выявлено, что на некоторых отбора проб в черте г. Барнаул содержание Pb в тканях брюхоногих моллюсков рода Lymnaea превышает фоновые для сем. Lymnaeidae концентрации в три раза [Безматерных, 2008]. Все это подтверждает экологическую значимость проанализированных показателей качества водной среды для донных беспозвоночных р. Барнаулки.

Таким образом, проведенные исследования показали, что под влиянием наблюдавшихся изменений факторов окружающей среды происходят закономерные изменения в структуре макрозообентоса р. Барнаулки. Так, при антропогенном загрязнении тяжелыми металлами наблюдалось уменьшение видового богатства, а также численности и биомассы отдельных чувствительных таксонов (в основном личинок хирономид и прочих насекомых). В местах естественного и антропогенного поступления или накопления органических веществ выявлена неоднозначная реакция донных сообществ: с одной стороны, повышение поступления органики вызывает повышение разнообразия и обилия некоторых групп зообентоса, а с другой стороны, продукты распада органиче-

ских веществ в больших концентрациях угнетают донные сообщества. Поскольку в природе водные сообщества одновременно находятся под действием большого количества различных факторов, то именно на основе выявления таких общих закономерностей создаются современные системы биологической оценки экологического состояния водотоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Безматерных Д.М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: аналит. обзор. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2007. – 87 с.

Безматерных Д.М. Зообентос равнинных притоков Верхней Оби. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2008. – 186 с.

ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.

Река Барнаулка: экология, флора и фауна бассейна / Т.В. Бабич, Д.М. Безматерных, Л.Н. Бельдеева и др. – Барнаул: АлтГУ, 2000. – 224 с.

THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON STRUCTURE OF BENTHIC INVERTEBRATES COMMUNITIES FROM BARNAULKA RIVER (ALTAI REGION)

Bezmaternykh D.M.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, bezmater@iwep.ru

ABSTRACT

The dependence of the structural characteristics of communities of benthic macroinvertebrates and related bioindication indices on the hydrophysical and hydrochemical parameters of water and bottom sediments was analyzed.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

О.В. Гагаринова

Институт географии СО РАН, Иркутск

whydro@irigs.irk.ru

Гидрологические исследования, проводимые в течение длительного периода в бассейне оз. Байкал, охватывают различные стороны формирования и трансформации поверхностного стока с водосбора. Изучение качественных и количественных гидрологических характеристик, анализ антропогенных нагрузок и устойчивости водных объектов и природных комплексов водосборов к внешним воздействиям и внутренним изменениям являются основными составляющими комплекса водно-экологических исследований, направленных на решение задач охраны водных ресурсов и экологически ориентированного развития Байкальской природной территории.

Основой гидрологических исследований в бассейне оз. Байкал является ландшафтно-гидрологический подход, подразумевающий комплексный анализ формирования и трансформации гидрологических характеристик территории в условиях внутренних и внешних изменений во взаимосвязи с индивидуальными особенностями природных комплексов водосбора.

Водно-экологическая ситуация в бассейне определяется совокупностью физико-географических условий водосбора, характером и структурой водопользования, наличием антропогенных воздействий и правовыми нормами. Целесообразность исследований антропогенных нагрузок на водную среду и устойчивости территории к отрицательным воздействиям на водные объекты и их водосборы, обусловлены уникальностью экосистемы оз. Байкал, ее природоохранной значимостью.

Для характеристики водно-экологической ситуации в бассейне оз. Байкал – территории региональной размерности и недостаточной изученности, проведен фоновый анализ территории, включающий определение гидрологических (стокорегулирующие, водоохранные, средозащитные) функций ландшафтов, которые можно интерпретировать как водно-экологические свойства природных комплексов водосбора, и осуществлена оценка качества воды и условий самоочищения водных объектов.

Индивидуальные свойства ландшафтов посредством трансформации атмосферных осадков в сток в результате реализации процессов склонового стекания, фильтрации, аккумуляции и др. определяют условия стокоформирования территории и режим водных объектов. Подстилающая поверхность водосборной территории бассейна обусловливает вариации количественного и качественного состава вод, поступающих с водосбора в дренирующий водный объект, обеспечивает перераспределение склонового стока, уменьшение пиков половодий и паводков, увеличение питания водоемов в меженные периоды, компенсацию внешних нагрузок и внутренних изменений по отношению к водной составляющей природных комплексов и, в значительной мере, определяет качество воды. Обобщающим показателем функции стокорегулирования ландшафта и, соответственно, его водно-экологических свойств, можно считать коэффициент стока, который тесно связан с уклоном и типом подстилающей поверхности.

Для основных ландшафтов бассейна оз. Байкал величины коэффициента стока и его вариации в зависимости от крутизны склонов и преобладающего типа растительности определены В.Н. Федоровым [Антипов, Федоров, 2000]. Использование данных характеристик в сочетании с анализом почвенных особенностей позволили определить водно-экологические свойства ландшафтов и пространственно разделить территорию на зоны с различным водно-экологическим потенциалом.

Районы горных хребтов Хамар-Дабана, Восточного Саяна, Джидинского нагорья и отдельные степные участки водосбора обладают низким водно-экологическим потенциалом и характеризуются незначительными фильтрационными и емкостными показателями, интенсивным стоком с крутых склонов в условиях маломощного почвенного покрова. Для них характерны интенсивные эрозионные процессы, формирование экстремальных гидрологических явлений, большая вероятность возникновения процессов техногенного характера (быстрое поступление загрязнений в водоем при аварийных ситуациях).

Основная часть водосбора – Селенгинское среднегорье, отдельные участки в бассейнах притоков р. Селенги (рр. Хилок, Чикой, Уда), – характеризуется средним уровнем водно-экологических свойств, что обусловливается наличием водообмена с под-

земными горизонтами, замедленной водоотдачей и тем самым обеспечивает достаточную устойчивость территории в отношении водного компонента природного комплекса.

Территории, характеризующиеся значительным уровнем водно-экологических свойств, включают участки подгорных равнин и низменностей южного побережья Байкала, участки долин рек В. Ангары, Баргузина, Темника, Чикоя, бассейны небольших водотоков горного обрамления озера. Высокая влагоемкость ландшафтов (малые уклоны, моховая подстилка, почвенное водопоглощение), интенсивный водообмен с подземными горизонтами обусловливают значительные самоочищающие и самовосстанавливающие способности и свидетельствуют о существенной устойчивости территории к внутренним изменениям и внешним воздействиям на водную составляющую ландшафтов.

Природный водно-экологический потенциал территории формируется как на водосборе, так и в водных объектах. Устойчивость поверхностных вод бассейна к внешним воздействиям можно характеризовать как свойства, способствующие трансформации и нейтрализации загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные воды, т.е. как условия самоочищения водных объектов водосбора.

Способность водных объектов к самоочищению формируется комплексом разнообразных процессов – химических, физических и биологических, вклад которых в трансформацию загрязняющих веществ варьируется в зависимости от индивидуальных физико-географических и химико-биологических особенностей рек и водоемов.

Анализ процессов трансформации загрязнений, поступающих в водные объекты, свидетельствует, что основными процессами, обусловливающими самоочищение водных объектов, являются биохимическое окисление и условия разбавления и перемешивания вод. Именно эти параметры использованы в качестве критериев оценки самоочищающей способности водных объектов бассейна оз. Байкал.

Наибольшее значение в задаче нейтрализации загрязняющих веществ (ЗВ) имеет окисление. Интенсивность окислительно-восстановительных процессов зависит от температуры водных масс и, при отсутствии прямых измерений величин БПК и ХПК, может достаточно объективно индицироваться средней температурой воды за теплый период. Разбавление поступающих загрязнителей способствует снижению концентрации ЗВ, а перемешивание обеспечивает ре-аэрацию водных масс, что, в свою очередь, активизирует восстановительно-окислительные реакции. Показателем разбавляющей способности принят средний годовой расход воды, а характеристикой условий перемешивания – уклон водотока. Для водоемов использовано соотношение глубины и площади водной поверхности.

В методическом плане разработаны оценочные шкалы и матрицы, обоснованием которых являются физико-географические особенности территории, сезонная цикличность, размерность водных объектов и др. В результате водные объекты водосбора оз. Байкал ранжированы в соответствии с различными условиями самоочищения.

Наиболее благоприятные условия самоочищения формируются при сочетании значительных объемов воды, интенсивного перемешивания и повышенной температуры воды и отмечаются на отдельных участках крупных притоков Байкала – реках Селенга, Баргузин и В. Ангара. Среди водоемов территории хорошие условия самоочищения сложились на оз. Хубсугул (непосредственно по оз. Байкал оценка не проводилась).

Картографирование и анализ условий самоочищения водных объектов и водно-экологических свойств ландшафтов территории позволяют охарактеризовать устойчивость территории водосбора к спонтанным изменениям и внешним воздействиям в отношении природных вод (рис. 1). Наименее устойчивыми, в отношении воздействий на водную среду, являются степные участки бассейна р. Селенги в среднем течении и частично бассейн р. Уды (приток р. Селенги). Центральные районы водосбора Селенги характеризуются сочетанием средних (и низких) показателей водно-экологического потенциала ландшафтов и высоких самоочищающих способностей главного водотока, что создает общую достаточно благоприятную картину устойчи-

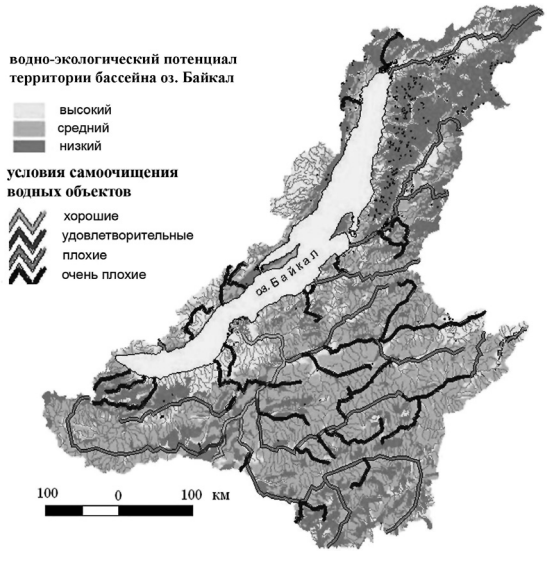


Рис. 1. Устойчивость поверхностных вод бассейна оз. Байкал к антропогенным воздействиям (в границах РФ)

вости этой территории к внешним воздействиям. Высокой устойчивостью, в градациях нашей территориальной оценки, обладают отдельные участки предгорий южного и северо-западного побережий.

Одним из элементов экологического блока гидрологических исследований БПТ является оценка современного состояния качества поверхностных вод бассейна оз. Байкал (материалы 2010–2012 гг.). На основе анализа материалов статистической экологической отчетности, объемов и структуры водоотведения произведена оценка качества поверхностных вод. Для основных водных объектов бассейна оз. Байкал определены превалирующие загрязняющие вещества и классы качества воды (УКИЗВ). В пространственном отношении водосбор озера характеризуется неравномерностью антропогенных нагрузок на водную среду. Крупные индустриальные центры, расположенные, главным образом, в бассейне р. Селенги, обусловливают наличие очагов интенсивного антропогенного воздействия на поверхностные воды, как в монгольской, так и в российской частях водосбора озера. При этом значительная часть водных объектов, находящихся в малонаселенных районах водосбора, практически не подвергается антропогенному влиянию и характеризуется хорошим качеством воды.

Самые грязные воды (4–5 кл. по УКИЗВ) в реках р. Туул (г. Улан-Батор) и р. Хиагт (граница Монголии и РФ), р. Модонкуль и Кяхтинка (приграничные районы РФ), на отдельных участках рек Куйтунка, Чикой, Хилок и Уда (РФ). Характерными загрязняющими веществами природных вод являются фенолы и нефтепродукты в сочетании с органическими веществами, нитратами, марганцем, цинком и медью.

В настоящее время качество поверхностных вод в бассейне оз. Байкал (особенно на монгольской территории) существенно улучшилось, благодаря модернизации производства на монгольской территории бассейна, масштабным проектам, осуществляемым в рамках Российско-Монгольского сотрудничества в области охраны и использования трансграничных вод, а также реализации Федеральной целевой программы “Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы”.

Оценочное картографирование и функциональное зонирование территории по водному фактору имеет практическое значение для оптимизации природопользования и решения задач экологической направленности. Управление водными ресурсами в Байкальском регионе, который обладает большим запасом пресной воды и в потенциале может служить импортером данного ресурса, должно строиться с учетом природных экологических процессов на водосборе

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антипов А.Н., Федоров В.Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. – Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. РАН, 2000. – 250 с.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF HYDROLOGICAL RESEARCH WITHIN THE LAKE BAIKAL BASIN

Gagarinova O.V.

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, whydro@irigs.irk.ru

ABSTRACT

Hydrological research, conducted over a long period within the basin of Lake Baikal, covers various aspects of formation and transformation of surface runoff catchment area. Study of qualitative and quantitative hydrological characteristics, analysis of anthropogenic impact and sustainability of natural water bodies and catchment systems to external influences and internal changes are the main components of the complex of water environmental research, which addresses the issues of water resources preservation and environmentally oriented development of the Baikal natural territory.

ДЕГРАДАЦИЯ СТОЙКОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ГРИБОВ

Губернаторова Т.Н.

Институт водных проблем Российской академии наук, Москва

tatiana.ivp.ran@gmail.com

Процессы биоразложения гумусовых веществ под действием грибов – повсеместны и занимают весьма важное место в окружающей среде, но их изучение, к сожалению, находится все еще на начальной стадии. В связи с этим, экспериментальные исследования процессов биодеструкции гумусовых веществ под действием ферментного окислительного комплекса грибов имеют важное значение. Для исследований были выбраны марганецпероксидаза *Phanerochaete chrysosporium* и пероксидаза *Bjerkandera adusta*, в качестве типичных окислительных ферментов лигнолитического комплекса грибов-деструкторов. В ходе эксперимента исследовалось непосредственное влияние ферментов на гумусовые соединения при прямом внесении. Полученные пробы исследовали спектрометрически на изменение оптической плотности, изменения ИК-спектра, а также фиксировали изменения средневесовой молекулярной массы гумусовых кислот и величины ХПК, с последующим анализом данных и сравнением полученных результатов.

Деструкция органического вещества в водной среде – важная составляющая процессов самоочищения водных экосистем. Особую роль в процессах биоразложения играет стойкая фракция – водный и почвенный гумус, органическое вещество сточных вод, растительных остатков. Скорость окисления такого рода соединений и механизмы их деградации малоизученны. В современном мире особый интерес вызывают исследования посвященные процессам биоразложения гумусовых веществ (ГВ) под действием микроорганизмов водной среды. Подобного рода исследования актуальны в целях выявления кинетических закономерностей и биохимических механизмов распада стойких природных биополимеров, определяющие потенциал темпов самоочищения природных водных объектов, антропогенную нагрузку на водные объекты по органическому веществу, круговорот углерода на глобальном уровне. Основной составной компонент водного и почвенного гумуса – это гумусовые кислоты, которые относятся к стойким органическим соединениям, трудно поддаются деструкции, склонны к процессам полимеризации. Распад гумусовых соединений в водной среде протекает под действием ферментного окислительного комплекса грибов – это естественный биохимический процесс, который влияет на формирование качества вод и биологическую продуктивность водоемов, является важным структурным и функциональным звеном водных экосистем.

Структурная сложность ГВ делает аналитическое определение происходящих изменений весьма сложным. Процессы трансформации и биодеструкции ГВ под действием грибов являются повсеместными и занимают весьма важное место в окружающей среде, но их изучение, к сожалению, находится все еще на начальной стадии. Поэтому, большое значение при изучении механизмов и кинетики биодеструкции ГВ имеют экспериментальные исследования, позволяющие наблюдать изучаемый процесс в контролируемых лабораторных условиях.

Для решения главной задачи – изучить механизмы деструкции ГВ под действием ферментов грибов, были проведены исследования по деструкции гумусовых кислот (ГК) под действием ферментного окислительного комплекса. В качестве основных ферментов данного комплекса были выбраны марганецпероксидаза (MnP) из *Phanerochaete chrysosporium* и пероксидаза (VP) из *Bjerkandera adusta*. В ходе эксперимента исследовалось непосредственное влияние ферментов на ГК при прямом внесении.

В результате эксперимента удалось подобрать оптимальное сочетание концентрация ГК / активность фермента (зависящая от концентрации) и проследить происходящие изменения – изменение цветности, ХПК и средневесовой молекулярной массы, характеризующие темпы химической деструкции ГВ. Проведенные исследования позволили подобрать условия для дальнейших экспериментов по биодеструкции ГВ под действием живой грибной культуры методом погруженного культивирования.

Подготовка проб ГК осуществлялась в соответствии с методикой, описанной в [Дину, 2012]. Образец почвы с маркировкой “чернозем” был выбран как оптимальный. Отбор осуществлялся по результатам физико-химического анализа и всесторон-

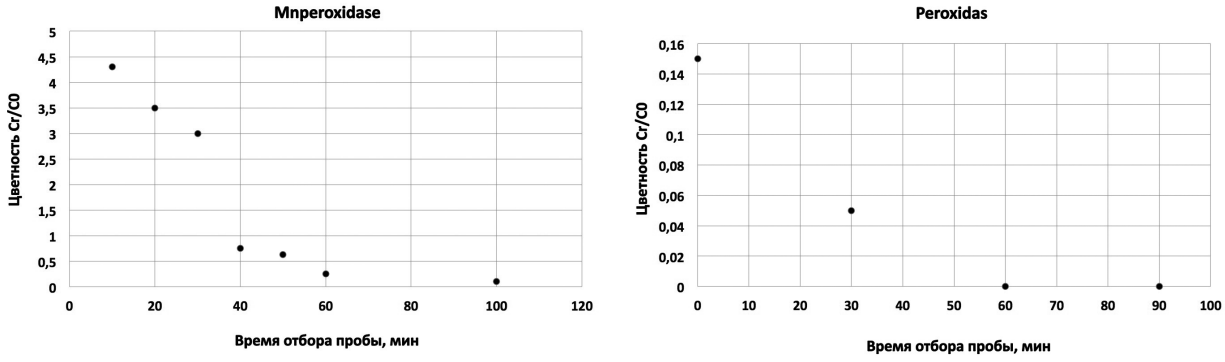


Рис. 1. Изменение величины цветности (Cr/Co) с течением времени (n = 10, P = 0,95)

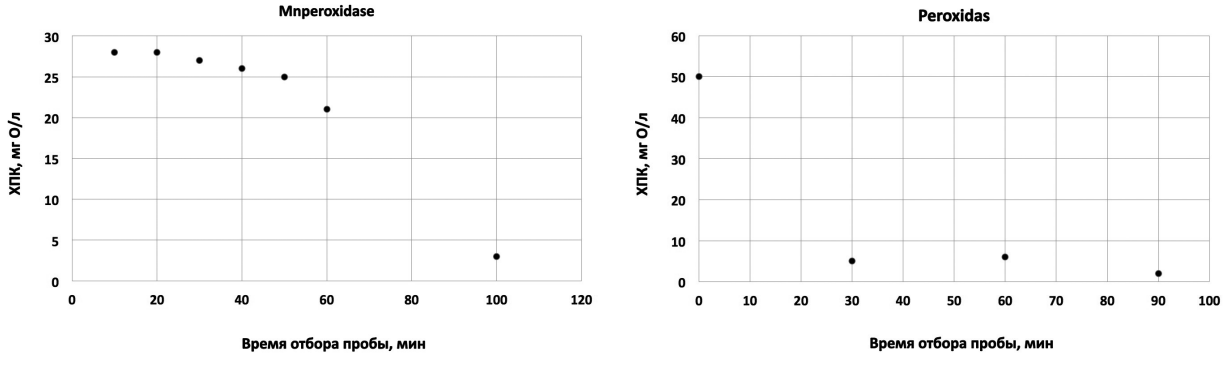


Рис. 2. Изменения величины ХПК, мгО/л (n=10, P=0,97)

них исследований ГК, выделенных из образцов: “глееподзолистые почвы”, “дерновоподзолистые почвы”, “чернозем”. Выбор основывался с учетом проведенных исследований по определению молекулярных масс, качественного и количественного состава, молекулярно-массового распределения. Подготовка ферментативного препарата MnP и VP, пробоподготовка и пробоотбор описывается в [Губернаторова, Дину, 2014].

Согласно полученным результатам спектрометрического анализа выявлено значительное снижение величины цветности с течением времени, как в случае с MnP, так и с VP (рис. 1).

Наиболее резкое изменение показателя цветности проявляется на 30–40 минутах процесса, что связано с отщеплением кислородсодержащих фрагментов. Так результаты ИК-спектрометрического анализа выявили в образцах с цветностью 3°Col существенные различия в количествах следующих кислородсодержащих фрагментов: карбоксильные, карбонильные и спиртовые связи. В том числе в образце с цветностью 3°Col проявляются отдельные фрагменты фенольные, низкомолекулярных спиртовых спектров. Наименьшее отличие в цветности наблюдается в начале эксперимента. При практически полном обесцвечивании раствора (120 мин и 60 мин, соответственно) ИК-спектры зафиксировали увеличение свободных аминосодержащих низкомолекулярных веществ, что указывает на последовательность деструкции ГК: на первой стадии прослеживается отщепление преимущественно кислородсодержащих фрагментов с более низкой энергией связи, а на второй стадии – отщепление азотсодержащих фрагментов (более глубокая деструкция).

На изменение состава ОВ косвенно указывают и результаты анализа ХПК (рис. 2).

Наибольшие значения этого показателя приходятся на первые минуты эксперимента, когда деструкция ГК сопровождается наибольшим выделение кислорода. В заключительной стадии эксперимента значительная доля ОВ уже расщепилась до низкомолекулярных осколков (рис. 3).

Изменение молекулярной массы с течением времени исследовали методом ультрацентрифугирования по методике [Дину, 2012]. Данный метод позволил выявить изменения в молекулярно-массовом распределении фрагментов в гумусовых веществах. Достаточно плавное снижение величин молекулярных масс отражает изменения в составе гуминовых кислот вне зависимости от типа выделяющихся фрагментов – кислородсодержащие, азотсодержащие и т.д.

По результатам экспериментов с добавлением VP процесс деструкции ГК происходит немного более быстрыми темпами по сравнению с экспериментами с добавкой MnP, что объясняется

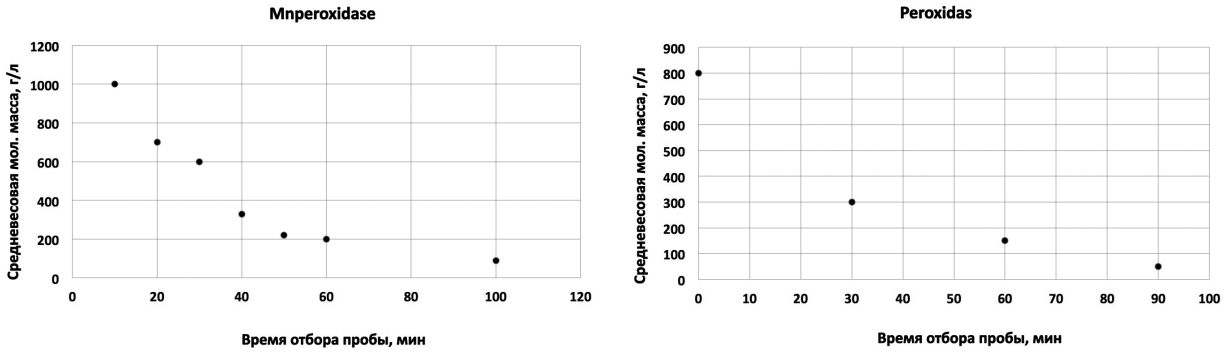


Рис. 3. Распределение средневесовых молекулярных масс гуминовых кислот (n = 15, P = 0,97)

различиями в механизмах действия ферментов на ГК. В процессе деструкции под действием VP, выделяются перикисные соединения, которые являются необходимыми интермедиатами каталитического цикла VP и увеличение концентрации пероксо-соединений стимулирует "работу" фермента. Данные эксперименты послужили рекогносцировочными для дальнейших исследований по биодеструкции ГК под действием живой грибной культуры в условиях погруженного культивирования и дали возможность произвести оценку происходящих изменений в структуре ГК под действием ферментов окислительного комплекса при непосредственном влиянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Губернаторова Т.Н., Дину М.И. Экспериментальные исследования биодеструкции гумусовых соединений под действием ферментативного окислительного комплекса грибов //Вестник Тюменского государственного университета, 2012. – №12. – С 72–78.

Дину М.И. Влияние функциональных особенностей гумусовых веществ на формы нахождения металлов в природных водах. – Тюмень: ТГУ, 2014. – 168 с.

ORGANIC PERSISTENT SUBSTANCES DEGRADATION UNDER THE ACTION OF FUNGAL ENZYMATIC OXIDIZING COMPLEX IN AQUATIC ECOSYSTEMS

Gubernatorova T.N.

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, tatiana.ivp.ran@gmail.com

ABSTRACT

Biodegradation processes of humic substances under the fungal action is the widespread and occupy a very important place in the environment, but their study, unfortunately, it is still in its infancy. Therefore, humic substances biodegradation experimental investigations under the action of fungal enzymatic oxidizing complex are important. In the present work we studied the biodegradation processes of humic substances under the action of fungal enzymatic oxidizing complex. Manganese peroxidase from *Phanerochaete chrysosporium* and peroxidase from *Bjerkandera adusta* was chosen as typical oxidizing enzyme of ligninolytic complex of fungi-decomposers. During our experiment we studied an impact of the enzymes on humic substances by direct application. Absorbance variations and infrared spectrum changes were estimated in prepared samples by spectrometric analysis techniques. We also measured changes of weight-average molecular weight humic acid and values COD followed by data analysis and comparison of obtained results.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ ПРИТОКОВ КРУПНОГО РАВНИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Котовщиков А.В., Яныгина Л.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

hope@iwep.nsc.ru

В Бердском заливе Новосибирского водохранилища в зоне смешения речных и водохранилищных вод, а также на участке р. Бердь выше водохранилища изучено видовое разнообразие и количественные характеристики фито- и зоопланктона, бентоса и макрофитов. Показаны черты сходства и различия сообществ гидробионтов в реке, водохранилище и зоне контакта их вод. Максимальное развитие продуцентов (фитопланктона и макрофитов) отмечено в зоне выклинивания подпора и в средней части залива, а редуцентов (зоопланктона и зообентоса) – в средней части залива, особенно на мелководных зарастающих макрофитами участках. По ряду признаков (видовое разнообразие, численность и биомасса) зона выклинивания подпора определена как экотон.

Водохранилища относятся к категории особых природных систем, сочетающих в себе черты искусственных и естественных водоемов. Значительно меньше исследовано влияние водохранилищ на биологический режим водоемов и водотоков их бассейнов. В устьях рек, впадающих в водохранилище, образуются участки с различной степенью подпора воды, а, следовательно, различными скоростями течения, прозрачностью, температурами, глубинами, гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками. Область смешения вод притока и водохранилища — это пример пограничного (переходного) участка между двумя экосистемами, имеющего высокий биологический потенциал и играющего большую роль в жизни водоема-приемника [Гидроэкология устьевых…, 2015]. В связи со слабой изученностью этого вопроса в задачу данной работы входило проведение комплексных исследований Бердского залива Новосибирского водохранилища на протяжении зоны смешения речных и водохранилищных вод, а также участок р. Бердь выше водохранилища. Исследования проводили в июле-августе 2011–2013 гг. Изучали видовой состав, численность и биомассу зоопланктона, зообентоса и макрофитов, а также концентрацию фотосинтетических пигментов фитопланктона.

Новосибирское водохранилище, расположенное на р. Обь, – крупнейшее в Западной Сибири, площадь его акватории при НПУ – 1070 км^2. В него впадает 39 притоков, из которых самым крупным является р. Бердь. Основное питание водохранилища происходит через входной створ р. Оби (среднегодовой расход 1720,4 м^3/с, что составляет более 95%). На боковую приточность приходится менее 5% годовой величины притока. Река Бердь – правобережный приток, находится в нижней части водохранилища и образует обширный залив. Общая площадь водосбора водохранилища составляет 19 тыс. км^2, площадь водосбора р. Бердь – 7,7 тыс. км^2, среднегодовой расход воды р. Бердь составляет 36,5 м^3/сек. Основное русло р. Бердь и основной

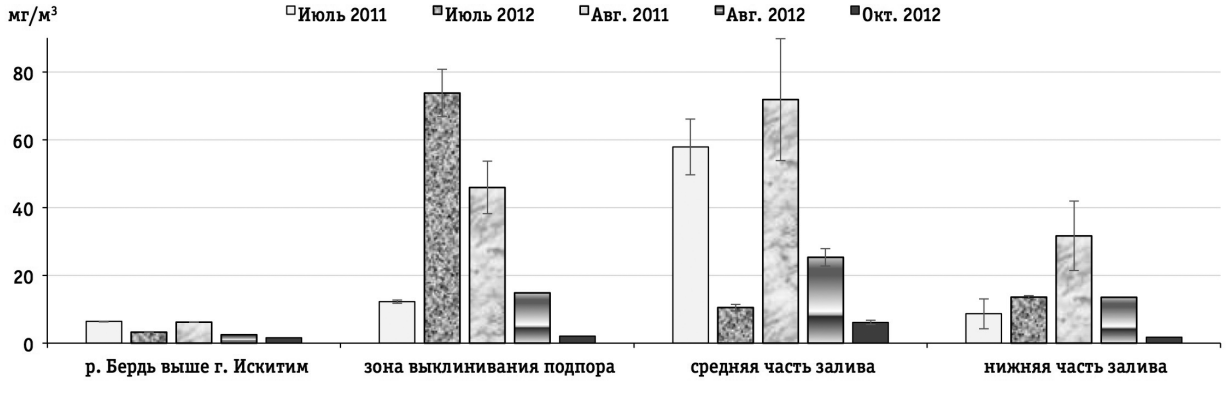


Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* фитопланктона в р. Бердь и Бердском заливе Новосибирского водохранилища

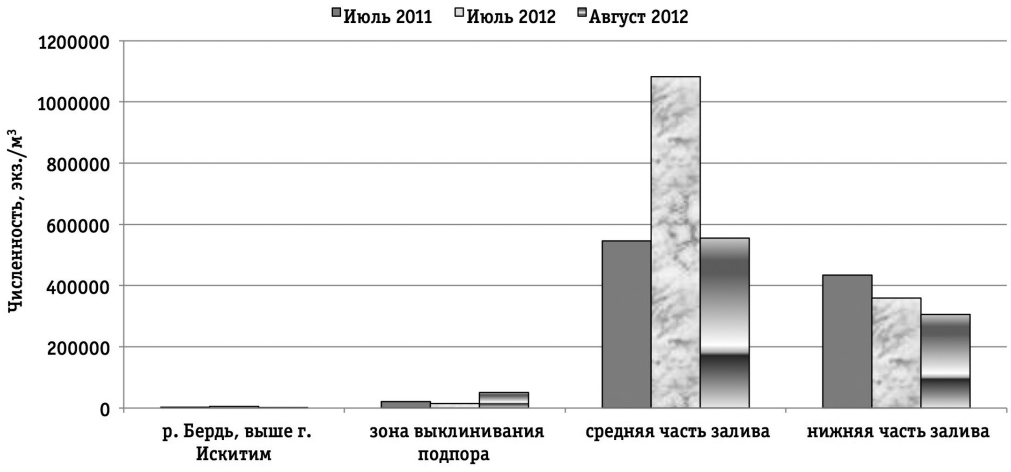


Рис. 2. Численность зоопланктона в р. Бердь и Бердского залива Новосибирского водохранилища

транзитный поток воды проходят вдоль правого берега залива, создавая подпор реки своеобразной "водяной плотиной". Как следствие, Бердский залив представляет собой достаточно изолированный водоем [Савкин и др., 2014].

Содержание хлорофилла *a* фитопланктона в реке Бердь выше зоны подпора водо-хранилища (при скорости течения 0,2–0,5 м/с) было не высоким и составляло 1,6–6,5 мг/м^3. В створе выклинивания подпора, ниже г. Искитим, уровень развития фитопланктона значительно возрастает и может достигать летом 80 мг хлорофилла *a* /м^3. В средней части залива обилие фитопланктона остается на очень высоком уровне, а максимальные концентрации хлорофилла *a* достигают 105 мг/м^3. В нижней части залива, испытывающем постоянное влияние водохранилища, содержание хлорофилла *a* понижается и максимальные значения уже не превышают 44 мг/м^3 (рис. 1).

Для зоопланктона отмечается увеличение общей численности и биомассы вдоль медиальной оси залива по направлению от верховьев к устью. В р. Бердь численность зоопланктона находилась в пределах 1,4–5,4 тыс. экз./м^3, в зоне выклинивания подпора – 14,9–50,8 тыс. экз./м^3. В средней части залива, на участке, который не подвергается постоянному воздействию вод водохранилища, численность зоопланктона была максимальной (1080,2–546,4 тыс. экз./м^3). В нижней части залива, где наблюдается постоянное влияние вод водохранилища, поступающих как в периоды подъема уровня, так и в периоды ветрового нагона, численность зоопланктона была заметно ниже (303,9–434,9 тыс. экз./м^3) (рис. 2).

Биомасса зоопланктона изменялась от 35,7 г/м^3 в средней части до 9,8 г/м^3 – в нижней части залива. Основу биомассы зоопланктона составляли ветвистоусые ракообразные (до 62% биомассы), однако по численности на всех участках преобладали веслоногие рачки, представленные, главным образом, науплиями и копеподитами, имеющими невысокую биомассу. Ядро зоопланктона составляло небольшое количество видов: *Bosmina longirostris*, *Daphnia longispina*, *Mesocyclops leuckarti*, *Megacyclops viridis*, *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Brachionus calyciflorus*, *Asplanchna priodonta*. Основная часть зоопланктона приурочена к литорали и зарослям макрофитов. Вдоль левого берега средней и нижней частей залива общая биомасса зоопланктона была в 1,2 – 1,5 раза выше, чем в правобережной части. Это, вероятно, обусловлено морфологическими особенностями залива, т.к. магистральное течение проходит вдоль правого берега, влияя на развитие зоопланктонных группировок.

Разнообразие условий подпорной зоны отражается и на структурных характеристиках зообентоса. Так, в литорали залива донные сообщества были сравнительно богаты в видовом отношении: в среднем отмечали около 12 видов в пробе. Независимо от абсолютных значений глубины (в диапазоне 0,4–2,1 м) видовое богатство зообентоса увеличивалось от прибрежных участков к открытой воде (критерий Краскела-Уоллиса: H = 6,27; p = 0,043). На наиболее удаленных от уреза воды участках (глубина 3,5–4,6 м) видовое богатство вновь снижалось до минимальных значений. Схожие тенденции отмечены и для индекса видового разнообразия Шеннона. Значения численности и биомассы зообентоса литорали изменялись в широких переделах (0,3–11,2 тыс.экз./м^2 и 0,1–52,9 г/м^2, соответственно), при этом биомасса зообентоса в открытой литорали были ниже, чем на заросших участках (критерий Краскела-Уоллиса: H = 7,707; p = 0,006).

Для макрофитов, как и для других компонентов биогидроценозов, отмечено изменение видового разнообразия и биомассы по направлению от р. Бердь к средней части залива. В р. Бердь выше г. Искитим найдено 24 вида макрофитов, биомасса (в воздушно сухом весе) погруженных видов не превышала 240 г/м^2, полупогруженных – от 636 до 1128 г/м^2. Максимальное видовое разнообразие отмечено в верхней части залива (зона выклинивания подпора) – 61 вид, биомасса погруженных видов колебалась в пределах 402–484 г/м^2, полупогруженных составляла 1208 г/м^2. В средней части залива видовое разнообразие макрофитов снизилось до 48 видов, а биомасса сократилась почти в два раза и составила для погруженных видов 88–258 г/м^2, полупогруженных – 744 г/м^2.

Таким образом, в устьевой зоне реки Бердь, максимальное развитие продуцентов (фитопланктона и макрофитов) наблюдается в зоне выклинивания подпора и в средней части залива, в то время как максимальное развитие редуцентов (зоопланктона и зообентоса) в средней части залива, особенно на мелководных зарастающих макрофитами участках. В нижней части залива, вблизи открытой озеровидной части водохранилища, содержание хлорофилла *a*, видовое разнообразие и количественные показатели зоопланктона значительно снижаются.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №13-05-093715.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища /ред. А. В. Крылов. Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина РАН. – Ярославль: Филигрань, 2015. – 466 с.

Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Ермолаева Н.И. и др. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. – Новосибирск: ИВЭП СО РАН, 2014. – 393 с.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL STATUS OF LARGE PLAIN RESERVOIR'S TRIBUTARIES ESTUARINE ON HYDROBIOLOGICAL INDICATORS

Yermolayeva N.I., Zarubina E.Yu., Kotovschikov A.V. Yanygina L.V.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, hope@iwep.nsc.ru

ABSTRACT

Species diversity and quantitative characteristics of phyto- and zooplankton, benthos and macrophytes in Berd Bay of Novosibirsk reservoir in the mixing range of river and reservoir's water as well as in the area of Berd-river above the reservoir were studied. The identity and differences of aquatic communities in the river, reservoir and the contact zone of their water were shown. Maximum growth of producers (phytoplankton and macrophytes) was noted in the area of backwater wedging-out and in the middle part of the Bay, and that for reducers (zooplankton and zoobenthos) was ascertained in the middle of the Bay, especially in shallow areas overgrown with macrophytes. For a number of characteristics (diversity, abundance and biomass) backwater wedging-out area was determined as an ecotone.

ОЦЕНКА РОЛИ ЗООПЛАНКТОНА В ПРОЦЕССЕ САМООЧИЩЕНИЯ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ермолаева Н.И., Эйрих А.Н.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

hope@iwep.nsc.ru

Зоопланктон – компонент водных экосистем, участвующий в регуляции потоков вещества. В результате метаболической активности зоопланктона взвешенные в толще воды мелкодисперсные частицы трансформируются в более крупные агрегаты – фекальные пеллеты и фекальные образования, которые не так активно подвергаются бактериальной минерализации, как обычный детрит. Проведена оценка скорости седиментационного потока на различных участках Новосибирского водохранилища. На основе полученных данных охарактеризован вклад зоопланктона в формирование донных осадков.

Водные экосистемы характеризуются специфическим характером массопереноса веществ и протекания биогеохимических циклов. Так, они обладают рядом возможностей самоочищения от автохтонных и аллохтонных взвешенных загрязняющих веществ путем разбавления более чистыми водными массами, путем выноса за пределы водного объекта, в процессе химической и биотической деструкции и при седиментации взвешенных веществ. Водные организмы (как правило, консументы I и II порядка) активно участвуют в процессах самоочищения водоема, осуществляя фильтрацию, деструкцию и седиментацию взвешенных веществ.

Зоопланктон – один из участников регуляции потоков вещества в водных экосистемах. Фильтрующие виды зоопланктона активно потребляют детрит, бактерио- и фитопланктон, которые являются основными компонентами взвешенного органического вещества. Наиболее активно процесс самоочищения осуществляется ветвистоусыми ракообразными, коловратками, веслоногими и инфузориями. Большую роль играют хищные веслоногие, которые также используют в пищу органическую взвесь, особенно в период метаморфоза на науплиальных и младших копеподитных стадиях развития [Прохода, 2003].

При расчетах фильтрационной активности зоопланктона использовалась средняя для мезотрофных водоемов скорость фильтрации ракообразных (F), равная 200 мл/(мг·сут) при 20°С [Гутельмахер, 1986]. В тех случаях, когда температура воды отличалась от 20°С, скорость фильтрации корректировалась с использованием температурного коэффициента $Q = 2{,}3^{0{,}1(t-20)}$, где t – реальная температура водоема [Винберг, 1983]. Активное участие фильтраторов и седиментаторов зоопланктона в процессах самоочищения Новосибирского водохранилища носит сезонный характер и приходится, главным образом, на лето. В этот период биомасса зоопланктона в 2001–2014 гг. колебалась от 20 дл 495 мг/м^3 в верхней части водохранилища, от 332 до 16630 мг/м^3 в нижней озеровидной зоне, с учетом изменений водности и температурных условий. Такие показатели соответствуют β-мезосапробным условиям. Весь объем водоема (8,8 км^3) профильтровывается, в среднем, за 7,3 суток. В маловодные годы – за 3,2 суток, в многоводные – за 11,4 суток. Т.е. в среднем за сутки фильтраторами зоопланктона очищается около 13–14% объема водохранилища. В зимние месяцы скорость фильтрации в нижней части водохранилища снижается до 29,4 суток, а в речной части биомасса фильтраторов настолько низкая, что они практически не участвуют в процессах самоочищения. В среднем за год зоопланктон фильтрует объём воды, находящейся в Новосибирском водохранилище, примерно 40 раз [Двуреченская, Ермолаева, 2014].

Энергетический эквивалент общего количества изъятого зоопланктоном взвешенного органического вещества определяли по физиологическому методу. Количество потребленного организмами кислорода находили по общепринятым экспериментально рассчитанным уравнениям функциональной зависимости скорости потребления кислорода от массы тела; расчет осуществлялся по каждой отдельной систематической и трофической группе; за индивидуальный вес организмов принимали средневзвешенный вес особи в каждой группе. Коэффициенты эффективности использования пищи на рост (K_2) были взяты для разных систематических групп зоопланктона от 0,5 до 0,2 [Методические рекомендации..., 1982]. Расчеты показали, что по многолетним данным за 200 дней вегетационного периода из толщи воды Новосибирского водохранилища фильтрующими организмами зоопланктона изыма-

ется ежегодно до 3630 тыс. т взвешенного органического вещества (сырой вес).

В результате метаболической активности зоопланктона взвешенные в толще воды мелкодисперсные частицы трансформируются в более крупные агрегаты – фекальные пеллеты и фекальные образования. Оболочка пеллет копепод не позволяет материалу рассеиваться в пространстве и тормозит его бактериальную переработку. При этом растворимые органические вещества переходят в нерастворимые соединения. Пеллеты кладоцер чаще всего подвергаются копрофагии и перерабатываются вторично, что ускоряет минерализацию содержащихся в них биогенов. [Дренговская, Остапеня, 2006]. В рамках настоящей работы определен уровень биологической продуктивности и вклад зоопланктонных организмов в процессы седиментации на различных участках Новосибирского водохранилища: в устьевой части крупного притока (р. Бердь) и в верхнем бьефе ГЭС. С целью определения качественного состава осаждающейся взвеси и ее количественных параметров (потоки вещества на единицу площади дна) были поставлены эксперименты с седиментационными ловушками. В качестве ловушек использовались пластиковые пробирки объемом 50 мл с диаметром входного отверстия 28 мм. Количество пеллет в единице объема осадка определялось методом прямого подсчета под микроскопом в камере Горяева.

При определении продукции зоопланктона была получена приблизительная величина биомассы, включающейся в седиментационный процесс при его отмирании. Она была подтверждена и уточнена изучением содержимого седиментационных ловушек и составила около 20% от общей продукции, что практически соответствует данным, полученным для малых водохранилищ европейской части России [Прыткова, Семенцов, 1989]. Основу отмирающего зоопланктона составляли коловратки и веслоногие рачки. Максимальная величина вклада сырой массы отмирающего зоопланктона составила в июне 2014 г. 2,1 г/м^2·сут., в августе – 4,4 г/м^2·сут. Величина пеллетного седиментационного потока (сырой вес) составила в июне 57,6–60,1 г/м^2·сут., в августе – 34,9–99,6 г/м^2·сут. Максимальные величины потока зафиксированы в устьевой части р. Бердь. Суточный вклад зоопланктона в седиментационный поток в июне 2014 года составлял 86,4–99,9%, в августе – 21,5–51,4%, поскольку в августе значительная часть осадконакопления происходила за счет активного развития и отмирания цианопрокариот. За вегетационный сезон зоопланктон вносит в донные осадки в нижней части водохранилища 7–14 кг/м^2 пеллетной массы, т.е. скорость прироста донных отложений только за счет пеллетного материала составляет до 6–12 мм ежегодно.

Полученные нами относительные величины интенсивности седиментации в Новосибирском водохранилище сопоставимы с таковыми для Нарочанских озер (Беларусь) [Дренговская, Остапеня, 2006], для оз. Котокель (восточное Прибайкалье) и малых озер юга Западной Сибири [Ермолаева, 2013; Романов, Ермолаева, 2014] и существенно больше, чем для холодных глубоководных водоемов, таких как оз. Байкал [Остроумов, Колесов, 2010]. По-видимому, в глубоких водоемах при большей глубине экспозиции на величине седиментационного потока сильнее отражаются разрушение и выедание клеток и мелких организмов, и бактериальная минерализация органических частиц [Hamilton-Taylor et al., 1984].

Таким образом, зоопланктон играет значительную роль в процессе самоочищения Новосибирского водохранилища и в процессах осаждения минерального и органического вещества.

За последние десять лет наблюдается постепенный рост численности и биомассы зоопланктона в озерной части водохранилища и на приплотинном участке [Савкин, Двуреченская и др., 2014], обусловленный, в том числе, и организмами-фильтраторами. Таким образом, возрастает и роль зоопланктона в процессах самоочищения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №13-05-00937.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Винберг Г.Г. Температурный коэффициент Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в биологии // Журн. общ. биол., 1983. – т. 44. – №1. – С. 31–42.

Гутельмахер Б.Л. Метаболизм планктона как единого целого: трофометаболические взаимоотношения зоо- и фитопланктона. – Л.: Наука, 1986. – 155 с.

Двуреченская С.Я., Ермолаева Н.И. Выявление взаимосвязей химического состава воды Новосибирского водохранилища и характеристик зоопланктона // Сибирский экологический журнал, 2014. – Т. 21. – №4. – С. 615–625.

Дренговская Р.А., Остапеня А.П. Зоопланктон и седиментация взвешенных веществ в озерах // Сибирский экологический журнал, 2006. – Т. 13. – №1. – С. 43–54.

Ермолаева Н.И. Роль зоопланктона в формировании сапропелей в озерах юга Западной Сибири // Мир науки, культуры, образования, 2013. – №6. – С. 545–549.

Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Ермолаева Н.И. и др. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. – Новосибирск: ИВЭП СО РАН, 2014. – 393 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. – Л.:ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР – 33 с.

Остроумов С.А., Колесов Г.М. О роли биогенного детрита в аккумуляции элементов в водных системах // Сибирский экологический журнал, 2010. – №4. – С. 525–531.

Прохода Т.А. Оценка роли зоопланктона в процессе самоочищения водоема–охладителя ТЭС // Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах: Матеріали II Міжнародної наукової конференції. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2003. – С. 75–78.

Прыткова М.Я., Семенцов И.В. Методика комплексного изучения осадконакопления в малых водохранилищах. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1989. – 85 с.

Романов Р.Е., Ермолаева Н.И. Оценка вклада планктона в формирование седиментационного потока в озере Котокель (восточное Прибайкалье) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова, 2014. – №6. – С. 574–584.

Hamilton-Taylor J., Willis M., Reynolds C.S. Depositional fluxes of metals and phytoplankton in Windermere as measured by sediment traps // Limnology and Oceanography, 1984. – V. 29. – №4. – P. 695–710.

ASSESSMENT OF THE ROLE OF ZOOPLANKTON IN SELF-CLEANING PROCESS IN THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR

Yermolaeva N.I., Eyrikh A.N.

Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia, hope@iwep.nsc.ru

ABSTRACT

Zooplankton is one of the factors regulating the flows of matter in aquatic ecosystems. As a result of the metabolic activity of the zooplankton fine particles suspended in the water column are transformed into larger aggregates - fecal pellets and fecal formations, which are not so actively exposed to bacterial mineralization as usual detritus. The estimation of the sedimentation velocity of flow in different parts of the Novosibirsk reservoir be realized. Based on the findings was described hydrobiological contribution to the formation of sediments.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕАЛИЗМ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОЁМОВ И ВОДОТОКОВ

Золотарев В.А.[1], Ким Г.В.[2]

[1] Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок

[2] Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

forest753@gmail.com

Работа посвящена проблеме экологического реализма в мониторинге водных экосистем и экотоксикологии. Модельные сообщества и микрокосмы отражают основные закономерности функционирования экосистем, имеют ряд преимуществ перед существующими аналогами. Разработаны новые интегральные показатели трофности и токсичности на уровне сообществ, предложен проект создания нового поколения биосенсоров (экосенсоров и экороботов) и автоматизированной сети биомонторинга водоемов.

Проблема экологического реализма неоднократно поднималась в трудах зарубежных гидробиологов и экотоксикологов, посвящённых мониторингу Великих озёр и других водоёмов. Много денежных средств и времени расходуется на разработку различных "стандартных" токсикологических методов, а главный вопрос – в какой мере лабораторные тесты на видовом уровне соответствуют процессам, происходящим в реальных экосистемах, остается неразрешенным [Cairns, 2002, 2005, и др.].

Для установления реальных рисков воздействия антропогенных факторов необходим исходный экспериментальный материал, относящийся к процессам, происходящим в экосистемах на надорганизменном уровне, т.е. на уровне взаимодействия сосуществующих природных популяций. Однако, если учитывать всю сложность иерархической организации и огромное разнообразие реальных экосистем, стоимость биотестов будет расти по экспоненте. Существует и альтернативный способ оптимизировать финансовые и временные затраты на биологический мониторинг водоёмов. Более рентабельны и информативны методы с использованием сообществ микробиальной трофической сети, поскольку они, трансформируя до 90% первичной продукции, являются неотъемлемой ступенью в потоке энергии водных экосистем и глобальных биогеохимических циклов [Бульон, 2002; Копылов, Косолапов, 2011].

Сложность экосистем и модельные сообщества. Модели часто используются в науке для упрощения сложных проблем и лучшего понимания процессов, протекающих в природе. Любая экосистема может быть представлена в виде модели биосферы, понять реальное состояние природных экосистем помогает свойство фрактальности. Биологические сообщества представляют собой открытые неравновесные системы, существование и эволюция которых определяются приходящим из окружающей среды потоком энергетических ресурсов. Возникающие при этом структуры обладают имманентной универсальностью и демонстрируют в широком диапазоне параметров пространственно-временной скейлинг – свойство самоподобия, или масштабной инвариантности – один из фундаментальных видов симметрий физического мира, играющих формообразующую роль во Вселенной [Иудин и др., 2003].

Одноклеточные организмы могут быть использованы в качестве модельных организмов для исследования фундаментальных экологических законов, с этой же целью часто используют микрокосмы [Montagnes et al., 2012]. Специфические группы гидробионтов, формирующиеся на искусственных субстратах, мы назвали модельными сообществами перифитона, в отличие от микрокосмов они непосредственно связаны с окружающей водной экосистемой, здесь присутствуют основные элементы биотических циклов: фототрофы, гетеротрофы, утилизаторы органики [Zolotarev, 2007; Золотарев, Косолапова, 2005].

Преимущества использования микроорганизмов в мониторинге. Микроорганизмы размером менее 1 мм являются космополитами, т.е. обитают везде, где существуют подходящие условия. Их называют также убиквистами (буквально: "повсеместно распространенными"), поскольку их популяции обладают огромными размерами, и, следовательно, низкой вероятностью полного исчезновения в данной экосистеме [Finlay, 2002]. Распределение крупных видов млекопитающих подчиняется биогеографическому закону, а микробных организмов – не подчиняется. На рис.1 показана гипотетическая модель границы между "убиквитностью" и "биогеографичностью", которая, вероятно, лежит в пределах от 1 до 10 мм. Реальная картина кривых "убиквитности" и "биогеографичности" пока не известна.

Есть несколько веских причин для использования микроорганизмов в биомониторинге: 1) космополитное распространение облегчает сравнение результатов тестирования в разных географических регионах;

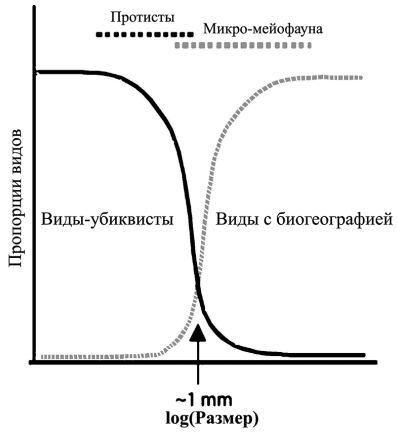


Рис. 1. Гипотетическая модель границы между "убиквитностью" и "биогеографичностью" (по [Finlay, 2002])

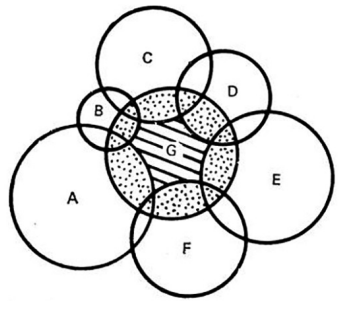


Рис. 2. Схема диффузной конкуренции (По [Giller, 1984]).

2) проблемы масштаба уменьшаются – как в пространственном, так и временном (смена поколений) аспектах; 3) число повторностей и достоверность тестов легко увеличить; 4) экологический реализм выше, чем в тестах с использованием более крупных организмов; 5) количество тестируемых видов резко возрастает при использовании микроорганизмов, отражая тем самым естественную изменчивость гораздо лучше, чем тесты с ограниченной выборкой более крупных организмов; 6) валидация лабораторных тестов в полевых микро- и мезокосмах легко выполнима и гораздо дешевле [Cairns, 2005].

Одной из характерных особенностей перифитона как экотопической группировки гидробионтов является существование первичной сукцессии (tabula rasa – "с чистого листа"), которая, в отличие от аналогичных процессов вне перифитали, скажем, колонизации стерильного грунта, характеризуется наличием на ранних стадиях сукцессии прикрепленных микроскопических пионерных организмов, таких как нанофлагелляты и другие простейшие-фильтраторы [Золотарев, 1986]. В реках с быстрым течением и на участках, находящихся в зоне влияния промышленно-бытовых сточных вод городов, биомасса гетеротрофных бактерий и простейших обычно превышает биомассу фито- и зоопланктона, и микробное сообщество функционирует по типу микробной "петли" [Ким, 2009]. Г.В. Ким [2009] выдвигает гипотезу своеобразной "перифитонной петли", в которой происходит рециклинг биогенов.

Биотестирование и биосенсоры на уровне сообществ. Недостаток "экологического реализма" биотестов на организменном уровне обусловлен несколькими причинами: (1) в естественных условиях виды не живут в изоляции; (2) предпочитаемые тест-объекты не могут быть распространены во всех экосистемах; (3) токсические вещества обычно претерпевают изменения в реальной экосистеме; (4) токсические вещества чаще встречаются в комплексе. Таким образом, реальная опасность токсических веществ может существенно отличаться от расчётной (рис. 2). Диффузная конкуренция может сократить фундаментальную нишу вида G (покрытая точками и заштрихованная область) до его реализованной ниши (только заштрихованная область).

Методы биоиндикации и биотестирования с применением микроорганизмов (простейших и водорослей перифитона) выгодно отличаются от существующих аналогов, где обычно используют многоклеточные организмы. С одной стороны, они позволяют учитывать организмы разных трофических уровней, и с разными пищевыми стратегиями, с другой – уменьшить масштаб работ как в пространственном (использование микрокосмов и микросообществ), так и временном (ускоренная смена поколений) аспектах. Индексы разнообразия отдельных функциональных групп микроорганизмов также являются хорошими количественными показателями для биомониторинга. Есть и другие веские причины для применения микроорганизмов в биомониторинге: космополитное распространение облегчает сравнение результатов тестирования в разных географических регионах, и т.д.

В модельных сообществах перифитона может быть использован еще один показатель для оценки качества воды, применяемый в мировой практике, – это процент деформированных створок диатомовых водорослей в результате индуцированного мутагенеза. Показано, что существенное повышение этого показателя в некоторых водоёмах и водотоках Сибири связано с высоким содержанием тяжёлых металлов и пестицидов [Ким, 2013].

Экспериментальные работы, произведенные нами в микро- и мезокосмах с различными концентрациями тяжелых металлов и нефтепродуктов показали высокую чувствительность флагеллят к сублетальным (прижизненным) концентрациям токсичных веществ [Жуков, Золотарев, 1992].

Подобные методы позволяют различать трофность водоемов и влияние токсичных веществ, а также наночастиц и закисления водоёмов. Нами предложены индекс перифитонных флагеллят (IPF)

как показатель органических загрязнений и трофности, а также индекс сублетальной токсичности:

$$IST = N_s/(N_a + 1), \quad (1)$$

где N_s – численность Sessilida (прикрепленных инфузорий), N_a – численность Amoebozoa (лобозных амеб), индекс принимает минимальные значения в более токсичных водах (1,0-0). Более точны интегральные статистические показатели, вычисляемые методом главных компонент [Жуков, Золотарев, 1992].

Таким образом, использование модельных сообществ перифитона и методов многомерной статистики позволяет создавать модели развития микробных сообществ в градиентах токсичности и органических веществ, производить биопаспортизацию водоёмов. Такие интегральные показатели токсичности открывают возможность создания нового поколения биосенсоров – экосенсоров, объединения данных по разным группам гидробионтов. На этой основе нами предложен проект создания экороботов для токсикологических работ и автоматизированной сети биомониторинга водоемов.

В настоящее время методы с использованием сообществ микроперифитона успешно работают в государственной системе мониторинга водных ресурсов Китая, а также используются в США, Корее и других странах (Jiang et al., 2007). Нами предложены новые показатели оценки трофности и токсичности водной среды на уровне сообществ, подтверждённые патентами. В дальнейшей разработке систем онлайн мониторинга водной среды, несомненно, будет продолжаться тенденция к миниатюризации, использованию передовых методов сбора данных, новых гаджетов и коммуникационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бульон В.В. Структура и функция микробиальной “петли” в планктоне озерных экосистем // Биология внутренних вод, 2002. – №2. – С. 5–14.

Жуков Б.Ф., Золотарев В.А. Жгутиконосцы перифитона в экспериментальных экосистемах // Биология внутренних вод, 1992. – №. 91. – С. 35–38.

Золотарев В.А. Микрозооперифитон некоторых водоемов Карелии. 1. Видовой состав // Биология внутренних вод, 1985. – №68. – С. 19–21.

Золотарев В.А., Косолапова Н.Г. Фауна и биология гетеротрофных жгутиконосцев пресноводного перифитона // Вестник Тюменского государственного университета, 2005. – №5. – С. 62–70.

Иудин Д.И., Гелашвили Д.Б., Розенберг Г.С. Мультифрактальный анализ структуры биотических сообществ // Докл. РАН, 2003. – Т. 389. – С. 279–282.

Ким Г.В. Элементы теории функционирования фитоэпилитона горного потока // X съезд Гидробиологического общества при РАН: Тезисы докладов (г. Владивосток, 28 сентября -2 октября 2009 г.). – Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 182–183.

Ким Г.В. Морфологические аномалии диатомовых водорослей фитоэпилитона как индикаторы качества воды водотоков и водоёмов Горного Алтая // Мир науки, культуры, образования, 2013. – №5 (42). – С. 444–449.

Копылов А.И., Косолапов Д.Б. Микробная “петля” в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. – Ижевск: КнигоГрад, 2011. – 332 с.

Cairns J. Ecotoxicology and sustainable use of the planet // Toxicology and Industrial Health, 2002. – Vol. 4. – P. 161–170.

Cairns J. Biomonitoring: the crucial link between natural systems and society // Mankind Quarterly, 2005. – Vol. 3. – P. 289–308.

Finlay B.J. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species // Science, 2002. – Vol. 296. – P. 1061–1063.

Giller P.S. Community Structure and the Niche. – London, Chapman and Hall, 1984. – 175 pp.

Jiang J., S. Wu, Y. Shen. Effects of seasonal succession and water pollution on the protozoan community structure in an eutrophic lake // Chemosphere, 2007. – Vol. 66(3). – P. 523–532.

Montagnes D., Roberts E., Lukes J., Lowe C. The rise of model protozoa // Trends in Microbiology, 2012. – Vol. 20. – P. 184–191.

Zolotarev V.A. Water quality monitoring in wetland ecosystems using microbial model communities // Int. J. Water, 2007. – Vol. 3. – No. 3. – P. 231–242.

ENVIRONMENTAL REALISM OF WATER QUALITY ASSESSMENT IN AQUATIC ECOSYSTEMS

Zolotarev V.A.[1], Kim G.V.[2]

[1] *I.D. Papanin Institute for biology of inland waters RAS, Borok, Russia, forest753@gmail.com*

[2] *Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch RAS, Barnaul, Russia, kimg@iwep.ru*

ABSTRACT

This study deals with the problem of environmental realism in aquatic ecosystems monitoring and ecotoxicology. Periphyton model communities and microcosms reflect the main regularities of ecosystems functioning, and they have an advantage over existing analog. A new index of periphyton flagellates (IPF) as an indicator of the trophic status of a water-body and also new index of sublethal toxicity (IST) – multispecies toxicity test based on ubiquitous microbial organisms were developed. New project for creation of new generation of biosensors (online eco-sensors and “ecorobots”) and automatic system of biomonitoring of water bodies is proposed.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА ПИТЬЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ РАЗВИТИЯ И МЕТАБОЛИЗМА ФИТОПЛАНКТОНА, СОДЕРЖАНИЮ БИОГЕННЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ (НА ПРИМЕРЕ КАРА-ЧУМЫШСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, БАССЕЙН ВЕРХНЕЙ ОБИ)

Котовщиков А.В., Долматова Л.А.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

kotovschik@iwep.ru

По результатам исследований в сентябре 2013 г. изучены пигментные характеристики и первичная продукция фитопланктона, содержание минеральных форм азота и фосфора, показатель БПК5 и перманганатная окисляемость воды. Уровень развития фитопланктона на большей части акватории соответствует диапазону эвтрофных вод: содержание хлорофилла а варьирует от 22,2–26,1 мг/м^3. Валовая первичная продукция фитопланктона в приплотинной части водоема составляет 3,0 г O_2/м^2·сут., что соответствует слабо загрязненным водам. Концентрации биогенных веществ в поверхностном слое воды были невысоки. По величинам окисляемости и $БПК_5$ качество воды Кара-Чумышского водохранилища достигает разряда сильно загрязненных вод.

Кара-Чумышский гидроузел с водохранилищем сезонного регулирования построен в 1957 году в среднем течении р. Кара-Чумыш для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения городов Прокопьевск и Киселевск Кемеровской области. Площадь зеркала водохранилища при НПУ составляет 8,8 км^2, а его емкость – 62,7 млн м^3 [Технический паспорт …, 1979]. В первые годы ввода в эксплуатацию водохранилища качество подаваемой воды было низким. Развитие водорослей планктона соответствовало уровню эвтрофных водоемов, в летний период наблюдалось “цветение” воды [Попова, 1959; Куксн, Удилова, 1964]. Под водой осталось большое количество растительности, торфяников, территория д. Малый Керлегеш и др. Вследствие этого содержание растворенного кислорода в первые зимы эксплуатации снижалось до 1–2 мг/дм^3 и наблюдалась высокая окисляемость воды (15 мг О/дм^3) [Кайдалина, 1959; Барбос, 1964]. В связи с этим, современная оценка экологического состояния водоема является весьма актуальной.

Современные исследования на акватории Кара-Чумышского водохранилища проводили в период осенней межени 10–12 сентября 2013 г. Пробы воды для определения содержания и соотношения фотосинтетических пигментов фитопланктона, концентраций минеральных форм азота и фосфора, а также показателей $БПК_5$ и перманганатной окисляемости, отбирали на 10 станциях, расположенных вдоль продольной оси водоема (рис. 1). На станциях, в более глубокой нижней части водоема, дополнительно отбирали пробы из придонного горизонта (14–15 м). На приплотинной станции

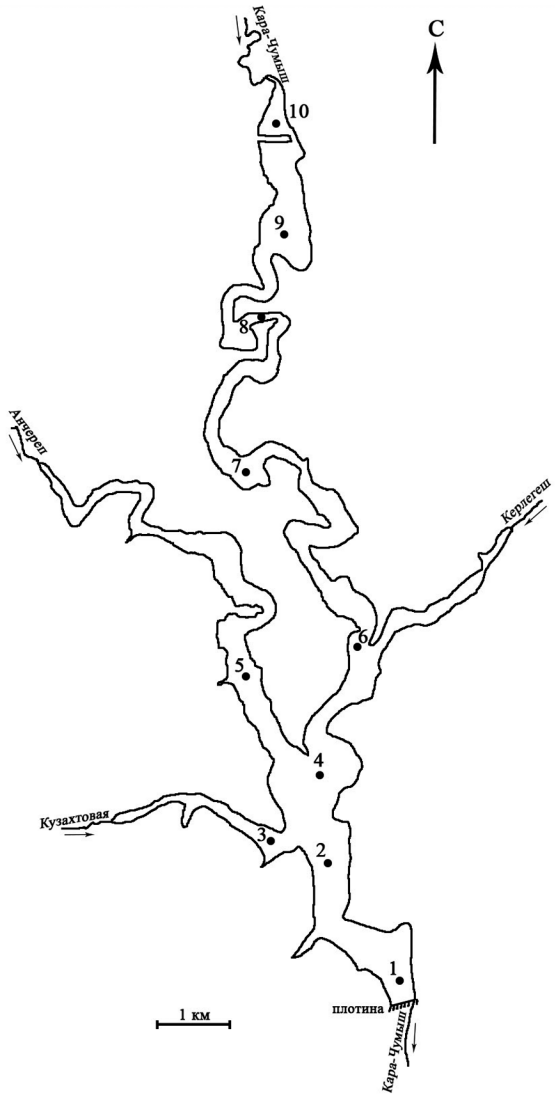


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб на Кара-Чумышском водохранилище

был поставлен эксперимент по определению первичной продукции фитопланктона и деструкции органического вещества методом склянок в кислородной модификации. Склянки подвешивали на сутки на горизонтах 0; 2,5; 5,0 м, при прозрачности по диску Секки 1,7 м. Анализ перечисленных показателей выполняли по принятым методикам [ГОСТ 17.1.4.02-90; Руководство … 1992; Руководство по химическому …, 2009]

Содержание хлорофилла *a* фитопланктона в поверхностном слое водохранилища на всех станциях варьировало от 5,0 до 56,9 мг/м^3. Наиболее часто встречающие значения (8 из 10) входили в узкий диапазон 22,2–26,1 мг/м^3. Доля хлорофилла а в сумме хлорофиллов ($a + b + c$) в поверхностном слое воды была высока и изменялась от 83 до 96% (в среднем для всех станций – 91 ± 1,0%). Относительное содержание продуктов распада хлорофилла – феопигментов в поверхностном слое водоема было низким – от 0 до 29% (в среднем для всех станций – 11,7 ± 2,6%). Соотношение концентраций общих каротиноидов и хлорофилла *a* (К/Хл) не превышало 1 и варьировало в узком диапазоне – 0,55–0,84, при среднем значении для всех станций – 0,73 ± 0,02. По пигментным характеристикам фитопланктона выделяется станция на заросшем верховье, отделенном дорожной дамбой, а также станция на узком участке в верхней части водохранилища. В верховье отмечено минимальное содержание хлорофилла а при минимальное его доле в сумме хлорофиллов ($a + b + c$), а также максимальное содержание феопигментов и соотношение К/Хл. На узком участке в верхней части водохранилища, наоборот, наблюдали максимальное содержание хлорофилла а при максимальной его доле, минимальное содержание феопигментов и соотношение К/Хл.

Значения показателя К/Хл менее 1 косвенно свидетельствуют о превышении первичной продукции над деструкцией в водоеме, т.е. о положительном продукционно-деструкционном балансе. Это подтверждается данными по первичной продукции фитопланктона. Валовая первичная продукция фитопланктона (А) в поверхностном слое составила 1,78 г O_2/м^3·сут., деструкция органического вещества (R) – 0,62 г O_2/м^3·сут., "чистая" первичная продукция (P) – 1,15 г O_2/м^3·сут. Измеренный нами фотосинтез фитопланктона водохранилища, рассчитанный под 1 м^2 (3,02 г O_2/м^3·сут.), значительно превысил таковой, полученный на той же станции в сентябре 1962 г. (1,75 г O_2/м^3·сут.) до второй очереди его заполнения [Куксн, Удилова, 1964]. Таким образом, продуктивность фитопланктона нижней части водохранилища за последние 50 лет увеличилась в 1,7 раза.

Кислородный режим водохранилища был удовлетворительным. В поверхностном слое концентрация растворенного кислорода составила от 6,72 мг/дм^3 в средней части до 9,15 мг/дм^3 у плотины, при насыщаемости 70,8–98,4%. В придонном слое нижней части водохранилища концентрация кислорода составила 1,25–2,43 мг/дм^3 с минимальной насыщаемостью 11,4%.

Органическое вещество оценивали по показателям БПК$_5$ и перманганатной окисляемости. Почти на всех станциях, кроме верховьев водоема, наблюдали повышенные значения БПК$_5$ (> 2,00 мг O_2/дм^3). Максимальное значение БПК$_5$ (4,48 мг O_2/дм^3) отмечено на узком участке в верхней части. Перманганатная окисляемость превышала ПДК для питьевых вод (5,00 мг О/дм^3), и изменялась от 5,60 мг О/дм^3 в нижней части до 8,75 мг О/дм^3 в верхней части водоема.

На фоне высокого уровня развития фитопланктона концентрации *биогенных веществ* в поверхностном слое воды были невысоки: содержание нитратного азота составило 0,05–0,12 мг N/дм^3; аммонийного – 0,13–0,27 мг N/дм^3; нитритного – менее 0,006 мг N/дм^3; фосфора фосфатов – 0,02–0,03 мг P/дм^3. В придонном слое их концентрации возрастали: нитратного азота – до 0,24 мг N/дм^3; аммонийного – до 0,49 мг N/дм^3. нитритного – до 0,018 мг N/дм^3; фосфора фосфатов – до 0,07 мг P/дм^3.

Качество воды Кара-Чумышского водохранилища может быть оценено по изученным эколого-санитарным показателям комплексной классификации [Оксиюк и др., 1993]. Уровень развития фитопланктона (по *содержанию хлорофилла а*) на большей части водоема (8 из 10 станций) соответствует разряду "слабо загрязненных" вод. Ухудшение качества воды до "умеренно загрязненной" наблюдается на узком участке в верхней части водохранилища. В верховьях, обильно заросших высшей водной растительностью, качество воды по данному показателю соответствует "очень чистым" водам. Величина *валовой первичной продукции фитопланктона* (А), рассчитанная для столба воды (3,0 г O_2/м^2·сут.), также соответствует разряду "слабо загрязненных" вод.

Степень загрязнения водохранилища *биогенными веществами* невысока. Вода по этим показателям относится к разрядам качества от "очень чистой" до "вполне чистой".

По величине БПК$_5$ вода на большей части обследованных станций относятся к разряду "умеренно загрязненная", однако, на узком участке верхней части водохранилища показатель индицирует "сильно загрязненную" воду.

По величине *перманганатной окисляемости* выделяется верхняя часть водохранилища, качество воды в которой соответствует "слабо загрязнен-

ной". В средней и нижней частях водохранилища вода соответствует разрядам "достаточно чистая" и "вполне чистая".

Содержание хлорофилла *a* в воде отражает реализованный в биомассе фитопланктона уровень трофии водоема. Согласно международной классификации водоемов по трофическому статусу [Environment …, 2004], средние (8–25 мг/м^3) и максимальные (25–75 мг/м^3) значения содержания хлорофилла *a* в воде Кара-Чумышского водохранилища соответствуют эвтрофному уровню. Трофический статус водоема за последние 50 лет не изменился, однако отмечается увеличение первичной продукции фитопланктона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Барбос А.П. Физико-химические свойства воды Кара-Чумышского водохранилища // Водоросли и грибы Западной Сибири. Ч. 1: тр. ЦСБС СО АН СССР. Вып. 8. – Новосибирск, 1964. – С. 108–114.

ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – С. 587–600.

Кайдалина А.В. Гидрохимический режим Кара-Чумышского водохранилища в первые годы его формирования // Кара-Чумышское водохранилище как источник питьевого водоснабжения. – Новосибирск, 1959. – С. 13–24.

Куксн М.С., Удилова Т.С. О "цветении" воды Кара-Чумышского водохранилища в 1962 г. // Водоросли и грибы Западной Сибири. Ч. 1: тр. ЦСБС СО АН СССР. Вып. 8. – Новосибирск, 1964. – С. 97–107.

Попова Т.Г. Фитопланктон Кара-Чумышского водохранилища // Кара-Чумышское водохранилище как источник питьевого водоснабжения. – Новосибирск, 1959. – С. 25–38.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 320 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1 / Под ред. Л.В. Боевой. – Ростов н/Д.: НОК, 2009. – 1046 с.

Технический паспорт сооружений гидроузла на р. Кара-Чумыш для водоснабжения гг. Прокопьевска и Киселевска. – Новокузнецк-Прокопьевск, 1984.

Environment Canada: national guidelines and standards office. Water policy and coordination directorate. Canadian guidance framework for the management of phosphorus in freshwater system. – 2004. Report No. 1–8.

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL STATE OF DRINKING WATER RESERVOIR USING INDICATORS OF PHYTOPLANKTON DEVELOPMENT AND METABOLISM, NUTRIENT AND ORGANIC CONTENT (KARA-CHUMYSH RESERVOIR, UPPER OB BASIN AS A CASE STUDY)

Kotovshchikov A.V., Dolmatova L.A.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, kotovschik@iwep.ru

ABSTRACT

As a result of investigations in September 2013, the pigment characteristics and primary production of phytoplankton, the content of mineral forms of nitrogen and phosphorus, the rate of BOD_5 and permanganate water oxidability were studied. The level of phytoplankton development in most parts of the water area corresponds to eutrophic waters: the content of chlorophyll a varies from 22.2 to 26.1 mg/m^3. The gross primary production of phytoplankton in the lower part of reservoir is 3.0 g O_2/m^2 per day, which corresponds to weakly polluted waters. The concentration of nutrients in the surface layer is low. The values of oxidability and BOD_5 show that water of Kara–Chumysh reservoir can be qualified as heavily polluted.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТОЯНИЯ УСТЬЕВЫХ ЭКОСИСТЕМ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ

Никаноров А.М.[1,2,3], Брызгало В.А.[1], Решетняк О.С.[1,2], Косменко Л.С.[1]

[1] ФГБУ "Гидрохимический институт" Росгидромета, Ростов-на-Дону

[2] Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону

[3] Институт водных проблем РАН, Москва

olgare1@mail.ru

Проведена оценка изменчивости экологического состояния устьевых экосистем крупных рек России по гидрохимическим и гидробиологическим показателям. Большинство экосистем находятся в "естественном", "равновесном" состоянии или в состоянии переходном из "естественного" в "равновесное". По изменчивости уровня развития и структурной организации гидробиоценозов выявлены тенденции усиления процессов антропогенного экологического регресса сообществ водных организмов и ухудшения экологического состояния устьевых экосистем от "естественного" и "равновесного" до "кризисного" и "критического".

Занимая особое место на земной поверхности, устьевые области рек играют важную роль в социально-экономическом развитии прибрежных регионов, поскольку обладают огромными природными ресурсами и являются самыми биопродуктивными водными объектами. Их экологическое и хозяйственное значение чрезвычайно велико.

Крупные реки собирают растворенные и взвешенные вещества с огромных водосборных территорий и транспортируют их вниз по течению реки. Поэтому наиболее сильное воздействие испытывают устьевые области рек за счет водного стока, наносов, растворенных химических веществ и т.д. При этом происходит трансформация компонентного состава воды, возрастание антропогенной нагрузки, ухудшение качества воды и состояния устьевых экосистем в целом [Никаноров, Брызгало, 2010; Никаноров и др., 2010а, 2010б, 2011б].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования выбраны устьевые области таких крупных рек, как Онега, Северная Двина, Печора, Обь, Пур, Таз, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Волга, Дон, Кубань, Амур и Камчатка, находящиеся в различных природно-климатических условиях разных регионов России.

Наличие многолетней (1980–2012 гг.) режимной гидрохимической и гидробиологической информации государственной системы наблюдений за состоянием окружающей среды (ГСН), полученной с использованием единых, принятых в Росгидромете, методов отбора и анализа проб воды, позволило провести широкомасштабные исследования по оценке многолетней изменчивости состояния устьевых экосистем этих крупных рек. Корректность полученных результатов по оценке изменчивости состояния устьевых экосистем обеспечивается полнотой и достоверностью используемой информации, получаемой при систематичных и достаточно продолжительных режимных наблюдениях на сети ГСН.

Оценка изменчивости состояния устьевых экосистем по гидрохимическим показателям (легкоокисляемые органические вещества – ЛООВ (по $БПК_5$) и азот аммонийный) проводится согласно рекомендациям Р 52.24.776-2012 по модальным интервалам (МИ) значений концентраций этих соединений.

Оценка изменчивости состояния устьевых экосистем по гидробиологическим показателям основана на анализе многолетних гидробиологических данных по уровню развития планктонных и бентосных сообществ водных организмов. На первом этапе на основе статистической обработки значений общей численности фитопланктона определяется эффект – антропогенного воздействия, по которому выявляется направленность и уровень преобладающего в водной экосистеме внутрисистемного процесса – антропогенного эвтрофирования или антропогенного экологического регресса. Далее, на основе рекомендаций нормативного документа [Р 52.24.776-2012] оценивается экологическое состояние устьевых экосистем по уровню преобладающего внутрисистемного процесса, которое может меняться от "естественного" до "катастрофического".

Таблица 1. Пространственная изменчивость состояния устьевых экосистем рек России по интегральным гидрохимическим показателям

Река, замыкающий створ	$БПК_5$ (ЛООВ)		Азот аммонийный	
	Ми концентрации, мг/дм³	Состояние	Ми концентрации, мг/дм³	Состояние
Европейский Север				
Онега, с. Порог	0,31–1,59(65)*	переходное из естественного в равновесное	н.о.–0,10 (83)	равновесное
Сев. Двина, с. Усть-Пинега	1,19–2,11(40)	равновесное	н.о.–0,08 (76)	равновесное
Печора, с. Оксино	0,54–2,44 (65)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,06 (53)	естественное
Сибирь				
Обь, г. Салехард	0,16–1,32 (46)	переходное из естественного в равновесное	н.о.–0,69 (54)	переходное из равновесного в кризисное
Пур, пос. Самбург	1,05–1,77 (41)	равновесное	0,14–0,89 (64)	переходное из равновесного в кризисное
Таз, пос. Тазовский	2,50–3,30 (60)	кризисное	0,53–1,06 (45)	переходное из равновесного в кризисное
Енисей, г. Игарка	0,40–1,10 (45)	равновесное	н.о.–0,23 (70)	равновесное
Лена, с. Кюсюр	1,16–2,10 (41)	равновесное	н.о.–0,08 (74)	естественное
Яна, п. ст. Юбилейная	1,35–2,60 (43)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,05 (65)	естественное
Индигирка, пос. Чокурдах	1,20–2,95 (79)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,18 (91)	равновесное
Колыма, г. Среднеколымск	0,17–0,98 (61)	естественное	н.о.–0,06 (72)	естественное
Юг России				
Дон, ст. Раздорская	0,60–3,22 (77)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,12 (72)	равновесное
Кубань, хут. Тиховский	0,84–1,53 (57)	равновесное	н.о.–0,27 (65)	равновесное
Волга, с. Верхнее Лебяжье	0,42–3,71 (69)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,10 (88)	естественное
Дальний Восток				
Амур, с. Богородское	0,93–2,48 (74)	переходное из равновесного в кризисное	н.о.–0,66 (81)	переходное из равновесного в кризисное
Камчатка, пос. Ключи	0,21–0,97 (67)	естественное	н.о.–0,04 (70)	естественное

Примечание: *частость (доля значений, образующих модальный интервал), в%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе критериев, приведенных в Рекомендациях по оценке антропогенной нагрузки [Р 52.24.776-2012], проведена оценка состояния устьевых экосистем и их классификация. По содержанию ЛООВ в водной среде состояние исследуемых устьевых экосистем оценивается как (табл. 1):

– “естественное”, “равновесное” или переходное из “естественного” в “равновесное” для устьев рек Онега, Северная Двина, Обь, Пур, Енисей, Лена, Колыма, Кубань, Амур и Камчатка;
– переходное из “равновесного” в “кризисное” для устьевых областей рек Печора, Яна, Индигирка, Дон, Волга;
– “кризисное” – р. Таз.

По содержанию азота аммонийного состояние исследуемых устьевых экосистем охарактеризовано как “естественное”, “равновесное” или переходное из “естественного” в “равновесное” для устьев рек Онега, Северная Двина, Печора, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Дон, Волга, Кубань и Камчатка, а также из “равновесного” в “кризисное” для устьев рек Обь, Пур, Таз и Амур (табл. 1).

Результаты, представленные в таблице 1, позволили сгруппировать устьевые экосистемы исследуемых рек по их состоянию. Большинство экосистем находятся в “естественном”, “равновесном” состоянии или в переходном состоянии из “естественного” в “равновесное” (табл. 2).

Таблица 2. Состояние устьевых экосистем крупных рек России по абиотическим показателям

Состояние устьевых экосистем	Показатель	
	ЛООВ (по $БПК_5$)	Азот аммонийный
естественное	Колыма, Камчатка	Печора, Лена, Яна, Колыма, Волга, Камчатка
переходное из естественного в равновесное	Онега, Обь	
равновесное	Северная Двина, Пур, Енисей, Лена, Кубань	Онега, Северная Двина, Енисей, Индигирка, Дон, Кубань
переходное из естественного и (или) равновесного в кризисное	Печора, Яна, Индигирка, Волга, Дон, Амур	Обь, Пур, Таз, Амур
кризисное	Таз	

Поскольку ответная реакция планктонных и бентосных сообществ водных организмов на антропогенное воздействие является прямым откликом гидробиоценозов на совокупное воздействие комплекса загрязняющих веществ и проявляется в усилении процессов либо антропогенного эвтрофирования экосистемы, либо её экологического регресса [Никаноров и др., 2010 б, 2011 а, 2011 в, 2011 г], представляется необходимым результаты оценки состояния экосистем по гидрохимическим показателям подтвердить данными гидробиологических наблюдений по развитию сообществ водных организмов.

Проведенная ранее оценка эффекта антропогенного воздействия и уровня преобладающего внутрисистемного процесса в устьевых экосистемах показала, что состояние большинства из них характеризуется как "антропогенное напряжение с элементами экологического регресса" или "элементы экологического регресса", только устьевая экосистема реки Колыма по уровню развития фитопланктонных сообществ находится в состоянии "экологического регресса" [Брызгало и др., 2013].

По численности бактериопланктона состояние устьевых экосистем рек Онега и Северная Двина оценено как "естественное" или переходное из "естественного" в "равновесное", по уровню развития фитопланктонных сообществ состояние меняется от "равновесного" (р. Волга) до "кризисного" (рр. Лена, Дон и Амур) и "критического" (р. Колыма), по показателям развития макрозообентоса – от "равновесного" (рр. Лена, Волга – г. Астрахань) до "кризисного" (р. Волга – с. Верхнее Лебяжье, р. Дон – г. Ростов-на-Дону) [Брызгало и др., 2013].

Таким образом, при усилении процесса экологического регресса сообществ водных организмов происходит ухудшение экологического состояния устьевых экосистем от "естественного" или "равновесного" до "кризисного" и даже, "критического".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполняя роль барьера между рекой и приемным водоемом, устьевые экосистемы рек играют важную роль в формировании экологического состояния побережий российских морей. Будучи подверженными сильному влиянию речного стока, устьевые экосистемы являются самыми уязвимыми объектами, характеризуются промежуточным режимом между речным и морским, сильно зависят от внешних воздействий, в первую очередь, от водохозяйственных мероприятий в речных бассейнах.

Проведенная оценка состояния устьевых экосистем крупных рек России по гидрохимическим и гидробиологическим показателям позволила делать вывод, что большинство из них находятся в "естественном" и "равновесном" состоянии или в переходном из "естественного" и (или) "равновесного" в "кризисное".

Важно отметить, что в условиях, когда оценка по гидрохимическим показателям показывает высокий уровень антропогенного воздействия, анализ структурной организации сообществ водных организмов становится определяющим, так как позволяет более объективно оценить изменчивость экологического состояния водных экосистем.

Результаты проведенных исследований позволили выявить тенденцию усиления процессов антропогенного экологического регресса сообществ и происходящее при этом ухудшение экологического состояния устьевых экосистем.

Использование предлагаемого подхода с позиции целостности экосистемы позволяет проводить оценку изменчивости экологического состояния устьевых экосистем по гидрохимическим и гидро-

биологическим показателям. Полученные результаты способствуют повышению информативности оценочных данных о состоянии экосистем, необходимых при охране водных ресурсов, и экологической обоснованности природоохранных мероприятий как в бассейнах рек, так и на их устьевых участках.

Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ – проект №12-05-00084а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Брызгало В.А., Никаноров А.М., Решетняк О.С. Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России // Вода: химия и экология, 2013. – №12. – С.15–21.

Никаноров А.М, Брызгало В.А. Реки России. Часть II. Реки Европейского Севера и Сибири. – Ростов-на-Дону: Изд-во "НОК", 2010. – 296 с.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Роль химического речного стока в антропогенной изменчивости состояния водной среды Енисейской устьевой области // Водные ресурсы, 2010 а. – №4.– С. 434–444.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. Роль речного притока растворенных химических веществ в антропогенной изменчивости состояния водной среды устьевой области р. Волга // Вода: химия и экология, 2010 б. – №7.– С. 6–12.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Устьевая область р. Колыма в современных условиях антропогенного воздействия // Метеорология и гидрология, 2011 а. – №8.– С. 74–88.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Дон в современных условиях техногенного воздействия // Вода: химия и экология, 2011 б. – №1. – С. 4–10.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Антропогенная трансформация компонентного состава водной среды устьевой области р. Лены // Водные ресурсы, 2011 в. – Том 38, №2. – С. 181–192.

Никаноров А.М., Брызгало В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Антропогенная трансформация структурной организации гидробиоценоза устьевой области р. Лены // Водные ресурсы, 2011 г. – Том 38, №3. – С. 306–314.

Р 52.24.776-2012. Рекомендации. Оценка антропогенной нагрузки и риска воздействия на устьевые области рек с учетом их региональных особенностей. Ростов н/Д: Росгидромет, ФГБУ "ТХИ", 2012. – 28 с.

Решетняк О.С., Никаноров А.М, Брызгало В.А., Косменко Л.С. Антропогенная трансформация водной экосистемы Нижней Волги // Водные ресурсы, 2013. – Том 40, №6. – С. 623–632.

VARIABILITY OF MOUTH AREA ECOSYSTEMS STATE OF MAJOR RUSSIA RIVERS

Nikanorov A.M.[1,2,3], Bryzgalo V.A.[1], Reshetnyak O.S.[1,2], Kosmenko L.S.[1]

[1] Hydrochemical Institute of Roshydromet, Rostov-on-Don, Russia

[2] Institute of Earth Sciences, Southern Federal University,Rostov-on-Don, Russia, olgare1@mail.ru

[3] Institute of Water Problems, RAS, Moscow, Russia

ABSTRACT

The evaluation of the ecological state variability of mouth area ecosystems of major rivers of Russia on hydrochemical and hydrobiological indicators was conducted. Most of ecosystems are "natural", "equilibrium" state or in a state of transition from "natural" in "equilibrium". The tendencies of the growing process of anthropogenic environmental recourse of the aquatic communities and environmental degradation of mouth area ecosystems from the "natural" and "equilibrium" to the "crisis" and "critical" was established on the basis of the variability level of development and the structural organization of hydrobiocenoses

The study was conducted with the support of the grant RFBR № 12-05-00084_a.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОТОКОВ ПОЗИЦИОННОГО РАЙОНА КОСМОДРОМА "ВОСТОЧНЫЙ"

Пузанов А.В.[1], Кириллов В.В.[1], Безматерных Д.М.[1], Алексеев И.А.[2], Вдовина О.Н.[1], Ермолаева Н.И.[1], Зарубина Е.Ю.[1], Ким Г.В.[1], Котовщиков А.В.[1], Митрофанова Е.Ю.[1], Салтыков А.В.[1]

[1] Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

[2] Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск

puzanov@iwep.ru

Охарактеризована современная водно-экологическая обстановка на территории позиционного района космодрома "Восточный" по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Космодром "Восточный" – новый российский космодром, строящийся в Амурской области, в Дальневосточном федеральном округе. Его строительство началось в 2011 г., ввод в эксплуатацию запланирован на конец 2015 г. Территория позиционного района космодрома располагается в бассейне р. Зея, на границе среднего и нижнего ее течения [Гидроэкологический мониторинг…, 2010]. Речная сеть позиционного района представлена преимущественно малыми реками, берущими начало в пределах пологоувалистых и холмистоувалистых поверхностей водораздела рек Амур и Зея, образованных их I–IV надпойменными террасами.

В период с 28 июня по 2 июля 2014 г. (до летне-осеннего паводка) на территории космодрома Восточный были проведены экспедиционные исследования водотоков, дренирующих эту территорию. Всего было обследовано 9 водотоков, среди которых: большая река Зея, две средних реки – Большая Пёра и Ора, одна малая – Гальчиха, пять ручьев: Иверский, Охотничий, Золотой, Серебряный и Медный. Данная работа является продолжением начатых в 2013 г. (после летне-осеннего паводка) исследований влияния строительства космодрома "Восточный" на экологическое состояние водных объектов его позиционного района [Пузанов и др., 2013, 2014].

Временная организация водных экосистем района в настоящее время в основном определяется природным по происхождению фактором – муссонным характером климата Амурской области. Основные черты гидрологического режима рек – многократные дождевые паводки, превышающие по объему водного стока половодье, колебания уровня воды со значительными амплитудами практически в течение всего безледного периода, отсутствие водного стока зимой в малых водотоках в результате перемерзания.

Строительство на территории космодрома на отдельных участках водосборных бассейнов привело к изменению поверхностного стока и водного режима малых водотоков, вплоть до формирования бессточных участков. В результате строительства дорог на некоторых участках пойма и береговая полоса водотоков нарушены (засыпаны гравием или валунами), при строительстве объектов линейной инфраструктуры созданы условия для замедления миграции грунтовых вод.

Ландшафтно-гидрологические особенности водотоков определяют низкую минерализацию и содержание биогенных веществ, низкий уровень загрязнения воды органическими веществами. Общая минерализации вод (43,6–112 мг/дм^3) соответствует гипогалинным водам. Среди анионов наибольшим содержанием отличаются гидрокарбонат-ионы – до 61,0 мг/дм^3, на втором месте – сульфат-ионы (6,20–40,8 мг/дм^3). По величине жесткости вода исследованных водотоков относится к категории очень мягких (0,3–0,8 мг-экв./дм^3). Водородный показатель воды везде нейтральный или слабощелочной близкий к нейтральному (не более 7,9).

В большинстве исследованных малых водотоков содержание минеральных форм азота (нитритов, нитратов, аммония) и общего фосфора по классификации О.П. Оксиюк с соавт. [1993] соответствовало "предельно чистым" и "чистым" водам. Для крупных рек, таких как Зея и Б. Пёра характерно повышенное содержание нитратов и аммония (класс качества – "загрязненная" и "грязная вода"). В р. Ора и руч. Охотничий величина $БПК_5$ соответствовала уровню "чистых вод" (1,0 мг О/дм^3), в про-

чих водотоках – "удовлетворительной чистоты" (до 2,4 мг О/дм^3 в р. Б. Пёра).

Водотоки характеризуются высоким содержанием растворенного в воде кислорода. Наибольшие его значения (10,1–10,4 мг/дм^3) отмечены в ручьях Золотой и Серебряный. В прочих водотоках содержание кислорода несколько ниже, но все же остается высоким (не менее 6,24 мг/дм^3). О благоприятных кислородных условиях свидетельствует также положительная величина окислительно-восстановительного потенциала (315–354 мВ).

Полученные данные о содержании в поверхностных водах растворенных форм соединений тяжелых металлов и микроэлементов свидетельствуют о наличии, даже в пределах небольшой территории позиционного района, пространственной неоднородности распределения этих химических элементов. Концентрации большинства проанализированных элементов крайне низкие, для некоторых – ниже предела обнаружения. Значимые концентрации отмечены только для Fe и Mn в некоторых водотоках, что, вероятно, обусловлено локальным геохимических фоном этих металлов, связанным с наличием заболоченных водосборов.

Водотоки отличаются высоким таксономическим разнообразием гидробионтов. При проведении исследований обнаружено 106 видов водорослей фитопланктона, представленных 110 внутривидовыми таксонами. В составе альгофлоры перифитона и бентоса выявлено 153 вида водорослей из семи отделов; 38 видов макрофитов из 5 отделов и 20 семейств; 60 видов планктонных животных и 108 видов донных беспозвоночных животных из 5 классов.

В составе фитопланктона и фитоперифитона преобладали диатомовые водоросли. Фитопланктон изученных водотоков бассейна р. Зеи имеет черты типичного речного планктона с преобладанием в общем составе диатомовых, а среди них – бентосных форм.

Высшая водная растительность полностью отражает особенности муссонного климата и гидрологического режима исследованных рек. Муссонный характер климата, а также заболоченность водосборов определяют преобладание во флоре мохообразных, осоковых и злаковых, а в экобиоморфологической структуре – полупогруженных растений и растений болотистых местообитаний.

Биоценоз зоопланктона большинства водотоков многовидовой, его основой являлись эврибионтные и реже фитофильные формы коловраток, веслоногих и ветвистоусых рачков (9–23 видов); только в руч. Медном был выявлен маловидовой биоценоз (6 видов). Водотоки отличались значительным развитием придонных форм, развивающихся на растительном детрите. В составе зоопланктона всех водотоков, за исключением р. Зея, отсутствовали представители сем. Diaptomidae. Численность и биомасса зоопланктона в ручьях и малых реках, как правило, значительно ниже, чем в средних и крупных реках космодрома.

В бентосе многих водотоков доминировали личинки хирономид, в число доминантов входили также олигохеты. Такой видовой состав и структура зообентоса изученных водотоков характерны для бассейна р. Зея в целом. Уровень развития донных зооценозов большинства водотоков "предельно низкий" и "очень низкий".

По величине биомассы фитопланктона, зообентоса и содержанию хлорофилла *a* (Хл *a*) в воде большинство исследованных водотоков относятся к олиготрофным водоемам. Относительные пигментные показатели (К/Хл и пигментное отношение) свидетельствуют о преобладании зеленого пигмента (Хл *a*) над каротиноидами на большей части станций. Это указывает на благоприятные условия для развития водорослей в воде, несмотря на низкие концентрации Хл *a*. По комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши [Оксиюк и др., 1993] концентрация Хл *a* во всех исследованных водотоках в осенний и в летний период соответствуют классу качества воды 1 – "предельно чистая". По наличию в фитопланктоне, фитоперифитоне и зоопланктоне видов-индикаторов сапробности была проведена оценка органического загрязнения. Значения индекса сапробности соответствовало олиго-бета-мезосапробной зоне, класс чистоты вод – II–III. Согласно таксономической структуре и уровню развития организмов зообентоса качество воды в реках также соответствовало II и III классам качества, в ручьях – III и IV. Вероятнее всего, в малых водотоках биотические индексы показали заниженные значения, но данная структура бентоса для них является фоновым состоянием.

Таким образом, современная водно-экологическая обстановка позиционного района строящихся объектов инфраструктуры космодрома "Восточный" соответствует категории "относительно удовлетворительная".

Негативных последствий воздействия процессов строительства объектов космодрома на экосистемы водотоков района не выявлено.

Исследования выполнены в рамках НИР "Восток-Экомониторинг" (государственный контракт №671-8408/12).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. – Хабаровск: ДВО РАН, 2010. – 354 с.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский П.Н., Линник П.Н., Кульменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн., 1993. – Т. 29, №4. – С. 62–76.

Пузанов А.В., Кириллов В.В., Безматерных Д.М. Оценка современной водно-экологической ситуации позиционного района космодрома "Восточный" // Мир науки, культуры, образования, 2014. – №3. – С. 415–418.

Пузанов А.В., Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Зарубина Е.Ю., Вдовина О.Н., Ким Г.В., Котовщиков А.В., Митрофанова Е.Ю. Современное экологическое состояние водотоков территории космодрома "Восточный" // Космодром "Восточный" – будущее космической отрасли России: Матер. II Всерос. науч.-практ. конф. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2013. – Т.2. – С. 79–88.

ECOLOGICAL STATE OF STREAMS AT POSITIONAL SITE OF "VOSTOCHNY" SPACEPORT

Puzanov A.V.[1], Kirillov V.V.[1], Bezmaternykh D.M.[1], Alekseev I.A.[2], Vdovina O.N.[1], Ermolaeva N.I.[1], Zarubina E.Yu.[1], Kim G.V.[1], Kotovshchikov A.V.[1], Mitrofanova E.Yu.[1], Saltykov A.V.[1]

[1] Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, puzanov@iwep.ru

[2] Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia, igoralex20071@mail.ru

ABSTRACT

The paper presents the modern water-ecological situation at the positional site of "Vostochny" spaceport using the hydrochemical and biological indicators.

ВОДООХРАННЫЕ ЗОНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Рутковский П.П.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Минск, Республика Беларусь

rutkovskip@mail.ru

Представлен анализ значения водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов, как факторов предотвращения их загрязнения, засорения и истощения, сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира. Приводится состав мероприятий, предлагаемых к реализации в пределах водоохранных территорий, обеспечивающих улучшение экологического состояния водных объектов.

Экологическое состояние водных объектов во многом зависит от состояния прилегающей территории. С целью уменьшения загрязнения и истощения водных ресурсов, как один из элементов охраны водных ресурсов, может использоваться метод установления особого режима хозяйствования в пределах водоохранных зонах и прибрежных полосах водных объектов.

Водоохранная зона – территория, прилегающая к водным объектам, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной и иной деятельности для предотвращения их загрязнения, засорения и истощения, а также для сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира [Мандер и др., 1982]. В составе водоохранных зон по берегам рек и водоемов выделяются прибрежные полосы с более жестким ограничением хозяйственной деятельности.

Нормативно-методической основой разработки водоохранных зон водных объектов в республике являются Закон Республики Беларусь "Об охране окружающей среды" от 26.11.1992 г. №1982-XII (с изменениями и дополнениями от 08.07.2008 г.) и Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. №149-З. Разработка проектов водоохранных зон и прибрежных водных объектов осуществляется в результате специальных мероприятий и включает этапы подготовительных работ, полевых исследований и камеральной обработки полученных материалов [Отчет о НИР, 1997, Энцыклапедыя…, 1983].

Таблица 1. Классификация территории по степени антропогенной нагрузки

ГРУППА	СТЕПЕНЬ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ	БАЛЛ	ТЕРРИТОРИЯ
1	2	3	4
Под застройками	Высшая	5,0	Земли под хозяйственными дворами, молочными фермами, свинофермами, силосные ямы, постройки жилые и нежилые, земли под скотопрогонами, мастерскими, усадебные земли.
Неиспользуемые	Высшая	5,0	Пески, валы, загрязненные радионуклидами.
Нарушенные	Высшая	5,0	Земли, используемые под торфоразработку, ямы, отвалы и территории, нарушенные при добыче полезных ископаемых.
Дорожная сеть и др.	Высшая	5,0	Земли под транспортной инфраструктурой, свалки.
Сельскохозяйственные	Значительная	4,0	Пашня, залежь, сады, ягодники, плантации, плодопитомники.
Лугово-пастбищные и древесно-кустарниковая растительность	Незначительная	2,0	Сенокосы заливные разного вида чистые, заливные закустаренные, суходольные чистые, суходольные закустаренные, пастбища разного вида, кустарники.
Государственный лесной фонд	Низшая	1,0	Леса хвойные, лиственные различного назначения, посадки лиственные, поросль.
Водные объекты	Низшая	1,0	Земли под реками, ручьями, озерами, водохранилищами, прудами, каналами.

Этап подготовительных работ включает составление программы работ, подбор топографической основы, изучение фондовых данных и литературных источников, характеризующих природные условия и характер землепользования, а также уровень инженерно-технической инфраструктуры исследуемой территории и, при необходимости, радиоэкологического состояния исследуемой территории.

В ходе проведения полевых исследований осуществляется: рекогносцировочное обследование территории с отбором проб поверхностных вод исследуемых рек на гидрохимический анализ, уточнение на местности основных элементов рельефа долинного комплекса рек и границ землепользователей исследуемой территории, обследование объектов, расположенных в предполагаемых границах водоохранных территорий, выявление источников загрязнения поверхностных и подземных вод, а также эрозионно-опасных участков.

При проведении камеральных работ выполняются анализ и обобщение данных полевых работ, оценка состояния поверхностных вод исследуемых водных объектов, оценка природных условий, уровня антропогенной нагрузки и характера землепользования исследуемой территории, установление границ водоохранных зон и прибрежных полос, оценка источников загрязнения поверхностных и подземных вод, обоснование состава водоохранных мероприятий.

Для оценки экологического состояния водоохранных зон используется ряд показателей, характеризующих, с одной стороны уровень антропогенной преобразованности ее территории, а с другой – способность территории противостоять антропогенному воздействию [Яцухно и др., 1995]. Антропогенная преобразованность территории оценивается соотношением площадей видов земель, используемых в хозяйственной деятельности, и изменяется от оптимальной до высшей степени антропогенной нагрузки. Показатель антропогенной нагрузки зависит от группы угодий (табл. 1).

Средневзвешенный балл антропогенной нагрузки для водоохранной зоны водотоков определяется по зависимости:

$$AH = \frac{\sum_{i=1}^{n} AH_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i}, \qquad (1)$$

где: AH_i – показатель (балл) антропогенной нагрузки для i-го участка территории; F_i – площадь, занимаемая i-м участком территории в составе водоохранной зоны.

Оптимальной нагрузкой считается величина *АН* менее 2,5 баллов, средней – 2,5–3 балла, значительной – от 3 до 4 баллов, высокой – более 4 баллов.

В соответствии с уровнем антропогенной нагрузки выделяются территории, формирующие загрязнения и выполняющие санирующие функции. Территории, формирующие загрязнение: животноводческие фермы и комплексы, механические мастерские и гаражи, склады минеральных удобрений и ядохимикатов, свалки мусора и промышленных отходов, дороги, пашни, жилые территории с приусадебными участками, коллективные садоводческие товарищества, летние лагеря скота и т.д., территории, выполняющие санирующие и водозащитные функции: водоемы, водотоки, лес, территории, занятые кустарником, луга, пастбища, болота и заболоченные земли.

К рассредоточенным источникам загрязнения относятся, в основном, сельскохозяйственные земли, а также улучшенные лугово-пастбищные земли, с которых происходит поверхностный смыв почвенного покрова.

К точечным источникам загрязнения относятся склады ядохимикатов, минеральных удобрений и нефтепродуктов, промышленные предприятия, шламохранилища, животноводческие комплексы и фермы, накопители сточных вод, полигоны твердых бытовых отходов, скотомогильники, поля наземной и подземной фильтрации, автостоянки, гаражи, механические мастерские, пункты технического обслуживания и мойки автотранспортных средств и техники, автозаправочные станции всех типов, летние лагеря содержания скота и т.д.

При определении границ водоохранных территорий определяются источники, хозяйственная и другая деятельность которых может оказывать отрицательное воздействие на экологическое состояние, как самих водных объектов, так и прилегающей территории. При разработке и корректировке проектов водоохранных зон и прибрежных полос определяется состав мероприятий, призванных снижать негативную нагрузку таких источников.

В качестве мероприятий по защите водных объектов от загрязнения и засорения рекомендуются следующие: залужение, создание защитных лесонасаждений (стокорегулирующие полосы, облесение песков, крутых склонов, оползней и др.), рекультивация нарушенных земель, закрепление оврагов с помощью лесонасаждений и гидротехнических сооружений (водоотводящих валов-каналов, водозадерживающих валов, распылителей стока, плетневых запруд, быстротоков), вынос объектов-загрязнителей за пределы прибрежных полос и водоохранных зон, строительство сооружений, препятствующих

поступлению стоков в реки (валов, навозохранилищ, жижесборников, отстойников, очистных сооружений, систем оборотного водоснабжения и др.), применение современных технологий навозоудаления, благоустройство территории населенных пунктов, устройство водонепроницаемых выгребов, асфальтирование уличной сети.

В процессе сельскохозяйственного использования земель в пределах водоохранных зон необходимо применять биологические методы защиты растений, исключать внесение минеральных удобрений вразброс, по снежному покрову и мерзлой земле и авиаобработку посевов, использование жидких азотных удобрений.

Организация водоохранных зон рек и водоемов и осуществление комплекса природоохранных мероприятий на этих территориях позволяет улучшить гидрохимический и гидрологический режимы поверхностных вод, качественный состав подземных вод, дренируемых речной сетью, уменьшить водную и ветровую эрозию почв, сохранить прибрежную луговую и древесно-кустарниковую растительность, сохранить нерестилища рыб и места обитания наземных животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Мандер Ю.Э., Алеканд К.И. О проектировании водоохранных зон и полос по берегам водоемов и водотоков // Учен. зап. Тарт.гос.ун-та, Вып. 614. – 1982.

Отчет о НИР "Разработать рекомендации по установлению оптимальных параметров и зонированию водоохранных зон водных объектов и требования к эколого-безопасному функционированию объектов в водоохранных зонах городов", Мн.: ЦНИИКИВР, 1997.

Энцыклапедыя прыроды Беларусі. Т.1. – Минск: Выд. "Беларуская савецкая энцыклапедыя", 1983.

THE WATER PROTECTION ZONES OF WATER OBJECTS AS FACTOR OF IMPROVEMENT OF THEIR ECOLOGICAL STATE

Rutkouski P. P.

Central research institute of complex use water resources, Minsk, Republic of Belarus, rutkovskip@mail.ru

ABSTRACT

The article gives the analysis of the significance of the water protection zones to avoid pollution, contamination and exhaustion of water objects, for saving habitat of animals and plants. Measures to improve the ecological status of water objects within the water protection zones are discussed.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ В ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ МАЛЫХ ОЗЕР НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРА БЕРЕСТОВОГО НА КАРЕЛЬСКОМ ПЕРЕШЕЙКЕ

Сапелко Т. В., Игнатьева Н. В., Кузнецов Д. Д., Лудикова А. В., Корнеенкова Н. Ю., Гусева М. А.

Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург

tsapelko@mail.ru

По данным литологического, палинологического, ботанического, диатомового, геохимического анализов колонки донных отложений получены качественные характеристики влияния природных и антропогенных факторов на экосистему озера Берестового, расположенного на Центральной возвышенности Карельского перешейка. По анализу динамики содержания в донных отложениях металлов, органического вещества и фосфора получены количественные характеристики. Хронология процессов, происходящих в озерах, установлена по палинологическому и радиоуглеродному анализу. Рассчитана в процентном соотношении вероятность влияния антропогенных и природных факторов на экосистему озера. Установлено, что влияние антропогенных факторов на озеро не превышает рассчитанного по результатам комплексного палеолимнологического анализа для озера Берестового природного фона. Незначительные следы антропогенного воздействия, начиная со среднего голоцена, отразились в основном в изменении озерных ландшафтов, связанных с вытаптыванием и выжиганием растительности, вырубками и распашкой. Климатические факторы являются основными в формировании экологического режима озера.

Палеолимнологические исследования позволяют установить роль климатических и антропогенных факторов в формировании озерных экосистем. Наиболее заметно на изменения климата и антропогенное воздействие реагируют малые озера. Донные отложения малых озер накапливают информацию даже о небольших климатических изменениях и о хозяйственной деятельности человека на озерных водосборах.

С целью определения соотношения природных и антропогенных факторов влияния на экосистему озера, группой палеолимнологии ИНОЗ РАН в последние годы [Сапелко и др., 2011; Sapelko et al., 2013] разрабатывается методика расчета антропогенного влияния на экосистему озер на основе комплексного палеолимнологического исследования. Одной из составляющих разрабатываемой методики является математическая обработка полученных результатов. Суть расчетного метода заключается в том, что колебания концентраций содержания изучаемых компонентов в донных отложениях озер сглаживаются и, одновременно с этим учитываются пиковые значения за два периода: доиндустриальный (без влияния человека на окружающую среду) и индустриальный (в который возможно происходило влияние человека). Расчеты основаны на осреднении значений рядов за два периода и сравнении этих значений с учетом возможной погрешности и естественных колебаний. Максимальные значения, в случае нескольких выделяющихся пиковых значений в один период, определяются путем среднего арифметического всех пиков за один период.

Разработанная методика опробована на озере Берестовом, ледниково-тектонического происхождения, расположенном на северном склоне Центральной возвышенности Карельского перешейка. Площадь озера 0,24 км^2, максимальная глубина 22 м. По данным литологического, палинологического, ботанического, диатомового, геохимического анализов получены качественные характеристики влияния природных и антропогенных факторов на экосистему озера. Изучено содержание в донных отложениях металлов, органического вещества. Хронология процессов, происходящих в озерах, установлена по палинологическому и радиоуглеродному анализам. Вероятность влияния антропогенных и природных факторов на экосистему озера в индустриальный период рассчитана в процентном соотношении.

Донные отложения озера Берестового накапливались в течение голоценового периода. Колонка донных отложений представляет собой переслаивание песчаных осадков, фиксирующих проточные условия, озерной гиттии и болотных осадков. С помощью ботанического анализа выявлены стадии заболачивания озера. Анализ вертикального профиля фосфора в осадке позволил изучить историю обеспеченности озерной экосистемы этим главнейшим биогенным элементом и оценить уровень биологиче-

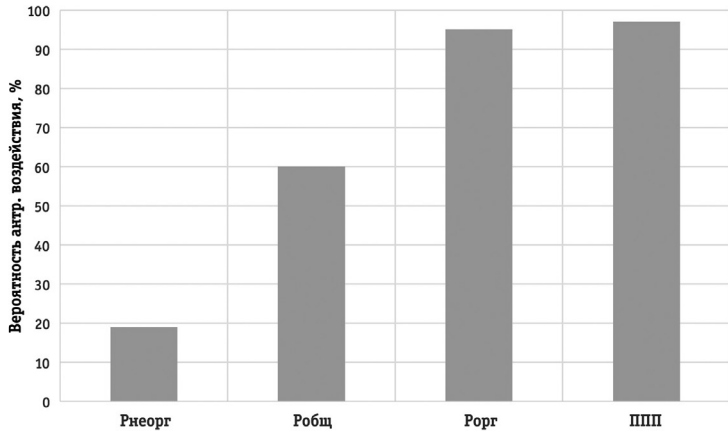


Рис. 1. Вероятность антропогенного воздействия (%) на рассчитанные компоненты по колонке донных отложений озера Берестового

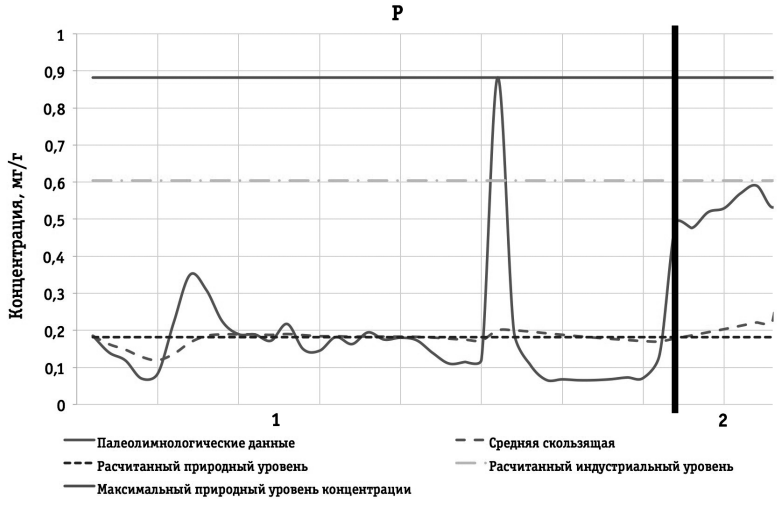


Рис. 2. Соотношение антропогенного и естественного накопления общего фосфора в донных отложениях озера Берестового; 1 – доиндустриальный период; 2 – индустриальный период

ской продуктивности водоема на разных этапах его существования. Общее содержание фосфора в исследованных пробах варьирует от 0,065 до 0,882 мг Р $г^{-1}$ (из расчета на воздушно-сухую навеску – в.с.н.), т.е. наибольшие значения превышают кларк в осадочных породах (0,077%). Содержание неорганического фосфора составляет 0,042–0,823 мг Р $г^{-1}$, органического фосфора – 0,002–0,347 мг Р $г^{-1}$.

Дальнейший анализ проведен для таких компонентов, как органический, неорганический, общий фосфор и содержание органического вещества (по потерям при прокаливании). Для общего анализа состояния озера и влияния на него антропогенного фактора оценивались два параметра: вероятность антропогенного воздействия и рассчитанное повышение концентрации. В результате для озера Берестового выявлено резкое увеличение содержания фосфора и органического вещества в индустриальный период. Рассчитанная концентрация неорганического и органического фосфора увеличилась более чем на 80% относительно полученного в результате расчетов природного фонового значения.

Однако, проанализировав ряд всех полученных палеолимнологических данных, мы выяснили, что некоторое повышение концентраций содержания изучаемых компонентов произошло задолго до начала индустриального периода, под влиянием природных факторов. Опираясь на этот факт и значения вероятности антропогенного воздействия, не превышающие 100% для всех рассчитанных компонентов (рис. 1), о влиянии хозяйственной деятельности человека на содержание фосфора и органического вещества в донных отложениях озера Берестового нельзя говорить с полной уверенностью.

На рисунке 2 приведены характерные значения концентрации общего фосфора, представленные в виде графиков со следующими условными обозначениями: палеолимнологические данные – значе-

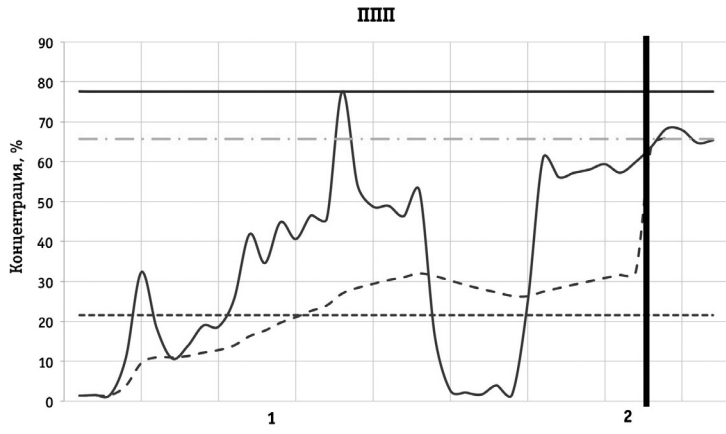


Рис. 3. Накопление органического вещества
в донных отложениях озера Берестового
(условные обозначения те же, что и на рис. 2)

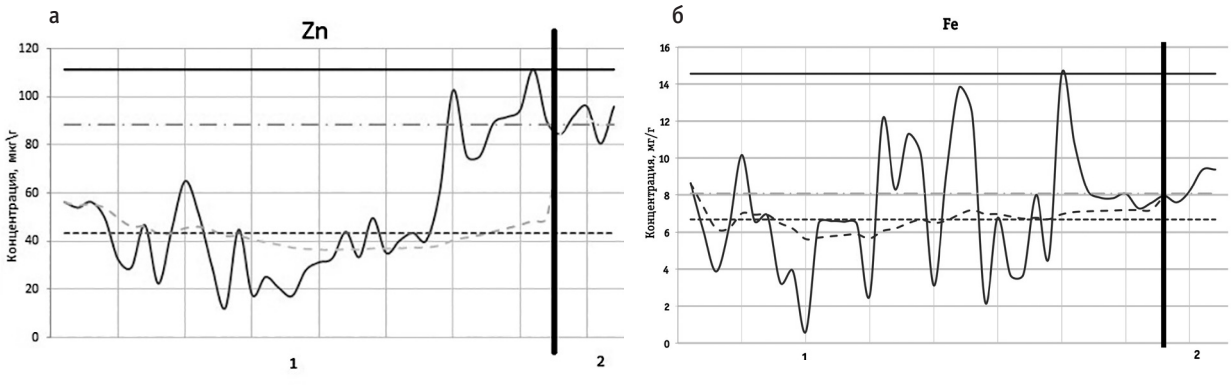


Рис. 4. Накопление цинка (а) и железа (б)
в донных отложениях озера Берестового
(условные обозначения те же, что и на рис. 2)

ния концентраций органического вещества и фосфора, полученные в результате химического анализа донных отложений; средняя скользящая – рассчитанные (сглаженные) значения полученных данных; критический природный уровень – максимальное полученное значение концентрации фосфора за доиндустриальный период (без влияния человека на экосистему озера); рассчитанный природный уровень – среднее значение концентрации компонента за период без влияния человека на экосистему озера; рассчитанный антропогенный уровень – среднее значение концентрации компонента за период с активным антропогенным воздействием.

Как следует из рисунка 2, увеличение среднего уровня концентрации общего фосфора произошло еще до начала индустриального периода.

Содержание органического вещества получено путем оценки потерь при прокаливании (ППП). По полученным величинам потери при прокаливании (ППП) рассчитана самая большая среди изучаемых компонентов вероятность антропогенного воздействия – 97%, но и она не превышает фонового порога (рис. 3).

Анализ содержания таких металлов, как Si, Al, K, Mn, Fe, Ca, S, Co, Ni, Cu, Sr, Ba,V, Zn, Pb и др. показал значительное увеличение содержания для железа и цинка (рис. 4). Антропогенное воздействие на содержание остальных изученных металлов по нашим данным равно нулю.

Применение комплексного палеолимнологического метода к изучению донных отложений озер позволило установить начало антропогенного воздействия и его динамику на протяжении длительного этапа развития озера Берестового. В результате можно сделать вывод о минимальном влиянии антропогенного фактора на экосистему озера Берестового. Рассчитанные значения показателей антропогенного воздействия подтверждают результаты палинологического и диатомового анализов, свидетельствующие об олиготрофном статусе водоема. Незначительные следы антропогенного воздействия, начиная со среднего голоцена, связаны, в основном, с изменениями ландшафтов бассейна озера в результате вытаптывания и выжигания растительности, вырубок и распашки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Сапелко Т.В., Игнатьева Н.В., Кузнецов Д.Д. Антропогенные и природные факторы развития Ладожского озера в позднем голоцене по данным комплексного анализа донных отложений // Сохраним природное и культурное наследие Ладожского озера. Сборник научных трудов. – СПб., 2011. – С. 170–181.

Sapelko T., Shemanaev K., Kuznetsov D., Ignatieva N., Ludikova A. Paleolimnological approach to the separation of the effects of anthropogenic and natural factors on the lake ecosystems // Geophysical Research Abstracts, Vol. 15. EGU2013-PREVIEW, 2013, EGU European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, 07–12 April 2013.

CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS IN THE HISTORY OF THE SMALL LAKES DEVELOPMENT ON THE EXAMPLE OF PALAEOLIMNOLOGICAL COMPLEX RESEARCH ON THE LAKE BERESTOVOYE, KARELIAN ISTHMUS

Sapelko T.V., Ignatieva N.V., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Korneenkova N.Ju., Guseva M.A.

Institute of Limnology RAS, St.Petersburg, Russia, tsapelko@mail.ru

ABSTRACT

According to the lithological, palynological, botanical, diatom, geochemical analyzes of sediment cores were obtained the qualitative characteristics of natural and anthropogenic factors on the Lake Berestovoye ecosystem located on the Central hills, Karelian Isthmus. According to the analysis of the dynamic of the content of metals in sediments, organic matter and phosphorus were obtained quantitative characteristics. The chronology of the processes occurring in lakes, set on palynological and radiocarbon analysis. The impact and natural factors on the lake ecosystem as a percentage we calculate by mathematical analysis. It was found that the influence of anthropogenic factors on the lake is less than natural factors. Small traces of human impact from the Middle Holocene mainly reflected in the change of lake landscapes associated with trampling and burning of vegetation, deforestation and plowing. Climatic factors are the key in the development of Lake Berestovoye ecosystem. The water regime change of the lake has affected both climatic and anthropogenic factors. Climatic and anthropogenic factors have affected the water regime change of the lake.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ ЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ УРАНА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Тузова Т.В.[1], Уралбеков Б.М.[2]

[1] Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, Бишкек, Киргизия

[2] Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

tv_tuzova@ mail.ru

На примере бассейнов рек Чу, Сары-Джаз (Северный Тянь-Шань), Пяндж, Кызылсу (Памиро-Алай) и ледников этих бассейнов показаны возможности использования соотношения четных изотопов урана в водах как естественного индикатора для определения генезиса поверхностных и подземных вод, прогнозирования прорывов высокогорных озер, оценки ледовой составляющей речного стока, уточнения распределения водных ресурсов, контроля радиологического загрязнения горных рек.

Открытие в середине прошлого века явления естественного разделения изотопов урана при переходе из горных пород в воду [Чердынцев, Чалов, 1977] привело к широкому использованию соотношения $^{234}U/^{238}U$ в водах как радиоактивного индикатора для решения целого ряда фундаментальных и прикладных задач геофизики, гидрологии, гидрогеологии [Чердынцев, 1969; Чалов, 1975; Uranium-series disequilibrium …, 1992]. Метод неравновесного урана рекомендован для датирования природных объектов [Чалов и др., 1964; Чалов, 1968], трассирования водных подземных потоков, установления их пространственного распределения [Чалов и др., 1978], расчета пропорций смешения вод разных источников [Чалов и др., 1983].

Для крупных замкнутых озер Евразии по уменьшению средневзвешенного значения $(^{234}U/^{238}U)_0$ во впадающих реках до соотношения $(^{234}U/^{238})_t$ с самих озерах удалось, учитывая уменьшение избытка ^{234}U со временем, рассчитать абсолютный возраст бессточных водоемов (Иссык-Куль 110 ± 40 тыс. лет, Чатыр-Куль 320 ± 50 тыс. лет, Аральское море 139 ± 12 тыс. лет, Балхаш 37 ± 9 тыс. лет, оз. Ала-Куль 49 ± 11 тыс. лет), а также оценить время пребывания урана в океанической воде с учетом и без учета его осаждения в донные осадки в пределах 0,22–1,5 млн лет.

Содержание урана и отношение $^{234}U/^{238}U$ в различных источниках поверхностных вод Земли изменяются в широких пределах. Грунтовые воды взаимосвязаны с поверхностными, они формируются путем смешения атмосферных осадков, поверхностного стока и трещинных, карстовых, трещинно-пластовых и пластовых вод нижележащих горизонтов. Уран в природные воды попадает в результате процессов растворения, выщелачивания и десорбции в специфических условиях, различных для разных регионов. Изотопный состав урана в каждом источнике зависит от водовмещающих пород, является надежной естественной меткой вод региона, оставаясь постоянным при неизменной гидрологической обстановке, но может заметно отличаться для вод разных мест. Нами установлено, что отношение $^{234}U/^{238}U$ в водах ряда источников Иссык-Кульского и Чуйского бассейнов сохраняется постоянным в течение 40 лет при больших вариациях содержания урана [Тузова, 2006, Уралбеков и др., 2014]. Следовательно, этот параметр является надежной радиоактивной меткой природных вод определенного генезиса.

Наиболее высокие концентрации урана и равновесное соотношение его изотопов ($^{234}U/^{238}U = 1$ в единицах активности) характерны для вод урановых месторождений. В подземных водах, не связанных с радиоактивными рудными месторождениями, отношение $^{234}U/^{238}U$ может значительно отличаться от равновесия. В термальных минеральных водах пластового типа зафиксированы низкие концентрации урана (10^{-7} г/л) со сравнительно небольшим избытком ^{234}U. В водах активных глубинных разломов земной коры избыток ^{234}U выше, чем в окружающих водах вышележащих горизонтов при низких концентрациях урана [Чалов и др., 1981].

Из-за эоловых процессов, осуществляющих в воздухе пылевой перенос литосферных материалов, содержащих уран, обнаружены измеримые концентрации последнего в атмосферных осадках, ледниках и талых водах морено-ледниковых комплексов с различными величинами отклонения его четных изотопов от равновесия. Это позволило прогнозировать прорывы высокогорных морено-ледниковых озер по неравновесному урану [Маматканов и др., 2011].

По изотопному составу урана можно оценивать долю каждой генетической составляющей стока и изучать его относительное распределение по всему региону или речному бассейну [Тузова, Филин,1990; Ту-

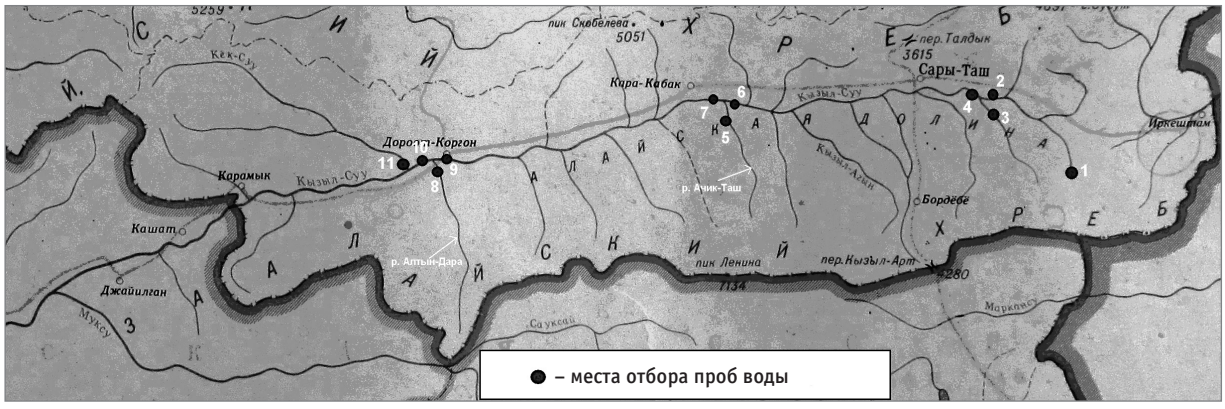


Рис.1. Схема уран-изотопного опробования вод бассейна р. Кызыл-Суу

Таблица 1. Изотопы урана в водах бассейна р. Кызыл-Суу

№ ПРОБЫ	МЕСТО ОПРОБОВАНИЯ	γ	С, МКГ/Л	γ С, МКГ/Л	ДОЛЯ СТОКА,%
1	Родник в истоке р. Кызыл-Суу	1,7±0,2	0,56	0,95	
2	Р. Кызыл-Суу, верховья	2,7±0,1	1.37	3,70	25±15
3	Родник в истоке р. Кызыл-Суу	1,7±0,2	0.81	1,38	10±5
4	Р. Кызыл-Суу, ниже родников 1 и 3	2,2±0,2	1.21	2,66	35±15
5	Р. Ачик-Таш, устье	1,2±0,2	1,05	1,26	15±5
6	Р. Кызыл-Суу при впадении р. Сары-Могол	1,5±0,2	1,05	1,58	
7	Р. Кызыл-Суу после впадения рек Сары-Могол и Ачик-Таш	2,0±0,1	1,37	2,74	
8	Р. Алтын-Дара, устье	1,4±0,3	1,70	2,38	50±20
9	Р. Кызыл-Суу перед впадением р. Алтын-Дара	1,9±0,5	0,74	1,41	50±20
10	Р. Кызыл-Суу после впадения р. Алтын-Дара	1,8±0,2	1,37	2,47	100
11	Р. Кок-Суу, устье	1,1±0,1	2,67	2,94	

зова, Новиков, 1991; Тузова и др., 1992, Маматканов, Тузова, 2013]. Наличие в речном бассейне хотя бы одного надежного гидрологического поста дает возможность на период уран-изотопного опробования рассчитать все элементы водного баланса. Возможности метода показаны нами при уточнении элементов водного баланса бассейнов рек Иссык-Кульского бассейна, Чу, Сары-Джаз, Талас (Северный Тянь-Шань), Гунт, Пяндж (Памир), Кызыл-Суу (Памиро-Алай).

В частности, по бассейну р. Чу с помощью уран-изотопного метода установлено следующее [Уралбеков и др., 2014]:

1. Оценена доля стока р. Чон-Кемин в балансе бассейна (25 ± 5)%, согласующаяся с гидрометрическими данными.
2. Показана стабильность отношения $^{234}U/^{238}U = \gamma$ во времени на участках отсутствия заметной приточности: Быстровка – Токмак (γ = 1,51 ± 0,01); Кен-Булунь – Карасу (γ = 1,31 ± 0,04); р-н Тасоткельского водохранилища (γ = 1,30 ± 0,01).
3. Оценена доля подземной приточности с южных склонов Кыргызского хр. от г. Токмок до г. Кордай (не более 50%) и за счет выклинивания обогащенных ураном подземных вод в районе Тасоткельского водохранилища (50–60%).
4. Обнаружено обогащение ураном поверхностных вод р.Чу за счет разгрузки подземных вод вниз по течению.
5. Отмечено наличие в подземных водах опасной для питьевых вод урановой аномалии в низовьях бассейна (в районе с. Курагатты).

В последние годы нами совместно с сотрудниками Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии АН Республики Таджикистан с помощью уран-изотопного метода начато уточнение водных ресурсов и распределения стока малоизученного трансграничного бассейна р. Кызыл-Суу – одного из притоков р. Вахш (район Памиро-Алай – рис. 1).

На этой реке в настоящее время нет ни одного надежного гидропоста. Водные ресурсы бассейна формируются в горах Кыргызстана и Таджикистана, а используются в основном Узбекистаном, в связи с чем остро встал вопрос их уточнения. Предварительные результаты, свидетельствующие о пер-

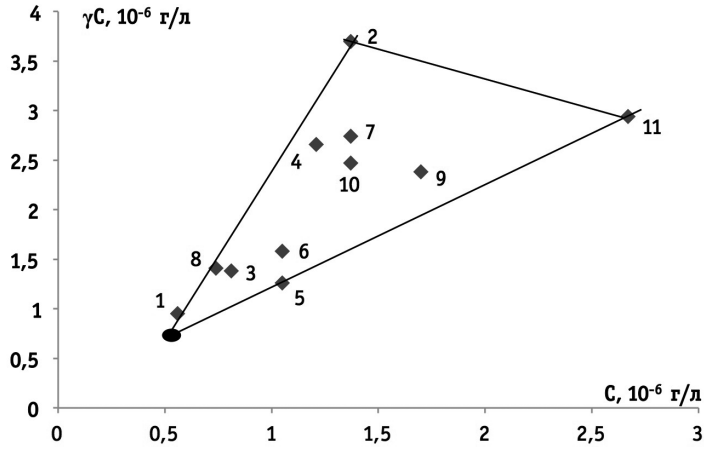


Рис. 2. Уран-изотопная диаграмма вод бассейна р. Кызыл-Суу (цифрами обозначены номера проб по табл. 1)

Таблица 2. Генетические составляющие стока в бассейне р. Кызыл-Суу

НОМЕР ПРОБЫ	ВОДОИСТОЧНИК	I ЛЕДНИКОВЫЕ ВОДЫ $\gamma_1 = 1,3 \pm 0,3$ $C_1 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Г/Л	II ВОДЫ КОРЕННЫХ ПОРОД $\gamma_2 = 2,7 \pm 0,1$ $C_2 = 1,3 \cdot 10^{-6}$ Г/Л	III ВОДЫ АКТИВНОГО ВОДООБМЕНА $\gamma_3 = 1,1 \pm 0,1$ $C_3 = 2,7 \cdot 10^{-6}$ Г/Л
2	Исток р.Кызыл-Суу		100	
1,3	Родники в верховьях р. Кызыл-Суу	85±5	15±5	
4	Р. Кызыл-Суу ниже родников 1,3	32±5	59±7	±10
5	Р. Ачик-Таш	80±10	–	20±10
6	Р. Кызыл-Суу при впадении р. Сыры-Могол	60±5	20±10	20±10
7,8	Р. Кызыл-Суу перед впадением р.Алтын-Дара	60±5	35±5	±5
9	Р. Алтын-Дара	30±10	25±10	40±10
10	Р. Кызыл-Суу после впадения р. Алтын-Дара	40±10	35±10	25±10
11	Р. Кок-Суу			100

спективности метода и для этого региона [Шатравин и др., 2013], представлены в таблице 1. Видно, что исследуемые водоисточники заметно отличаются друг от друга как по общему содержанию урана С, так и по соотношению его четных изотопов γ. Это позволило по формулам изотопного разбавления [Tuzova, 2006] оценить долю стока основных притоков бассейна.

Кроме того, на диаграмме зависимости величины γ С от С (рис.2) видно, что воды бассейна по уран-изотопным показателям укладываются в треугольник, т.е. формируются из трех генетических типов, отличающихся по изотопному составу урана:

I – ледниковые воды с минимальным содержанием урана (не более $0,5 \cdot 10^{-6}$ г/л) и близким к равновесному соотношением его четных изотопов (экстраполированная нижняя вершина треугольника);

II – воды коренных пород с максимальными изотопными сдвигами за счет преимущественного выщелачивания дочернего изотопа ^{234}U ($\gamma = 2,7$, промежуточные значения С – проба 2);

III – воды, циркулирующие в зоне активного водообмена в разрушенных отложениях верхнего четвертичного горизонта с равновесным соотношением изотопов урана и повышенным за счет растворения его общим содержанием (проба 11).

Остальные опробованные источники являются смесью в разных пропорциях (табл. 2) вод этих трех типов.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что уран-изотопный метод применим для изучения генезиса вод горных речных бассейнов, для оценки их доли в формировании речного стока, уточнения пропорций смешения вод основ-

ных притоков, оценки радиологической обстановки речных бассейнов.

Для бассейна р. Кызыл-Суу данные по соотношению изотопов урана являются первыми и предварительными. Поэтому оценки пропорций смешения вод разных притоков и разного генезиса проведены с большими погрешностями. Они требуют продолжения исследований с детальным уран-изотопным опробованием вод всех притоков, поверхностных и подземных. Это позволит оценить приточность в любой части бассейна и его годовой сток, если опираться на надежные гидрометрические измерения хотя бы одного гидропоста в бассейне.

Уран-изотопный метод является довольно трудоемким как по отбору проб в горных районах, так и в его аналитической части, требующей радиохимической очистки изотопов урана и прецизионных измерений изотопного состава на альфа- или масс-спектрометрах. Однако он перспективен там, где гидрометрическая сеть наблюдений отсутствует или ненадежна из-за устаревшего оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Маматканов Д., Тузова Т.В., Ерохин С.А. Оценка риска прорыва горных озер с использованием уран-изотопного метода //Материалы Международной конференции "Проблемы радиоэкологии управления отходами уранового производства в Центральной Азии". Бишкек – Иссык-Куль-"Аврора", 6–9 июня 2011 г. – с. 88–92.

Тузова Т.В., Новиков В.Н. Уран-изотопные особенности формирования стока р. Пяндж // Водные ресурсы, 1991. – №1. – С. 88–95.

Тузова Т.В., Прохоренко С.И., Филин К.С. Распределение стока бассейна р. Гунт по уран-изотопным данным // Водные ресурсы, 1992. – №3. С. 157–162.

Тузова Т.В., Филин К.С. Оценка доли подземной составляющей стока малых горных рек уран-изотопным методом. // Водные ресурсы, 1990. – №2. – С. 72–75.

Чалов П.И. Датирование по неравновесному урану. – Фрунзе: Илим, 1968. – 110 с.

Шатравин В.И., Тузова Т.В., Сатыбалдиев Б.С., Уралбеков Б.М. Изотопы урана в водах Алайской долины // Материалы 4-й Международной конференции « Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека", Томский политехнический университет. – Томск, 4-8 июня 2013. – С.566–570.

Чалов П.И., Меркулова К.И., Тузова Т.В. Абсолютный возраст Аральского моря по неравновесному урану // Доклады АН СССР, 1966. – Вып 169. – С.89–91.

Чалов П.И., Тузова Т.В., Мусин Я.А. Изотопное отношение $^{234}U/^{238}U$ в природных водах и его использование для ядерной геохронологии //Геохимия, 1964. – №5. – С.404–412.

Чалов П.И., Тузова Т.В., Тихонов А.И. Проверка реальности исходных предпосылок использования неравновесного урана для решения гидрогеологических задач // Доклады АН СССР, 1978. – Т.242. – №6. – С. 1296–1298.

Чердынцев В.В. Уран-234. – М.:Атомиздат, 1969. – 308 с.

Чердынцев В.В., Чалов П.И. Явление естественного разделения урана-234 и урана-238. Открытия СССР. – М.: ЦНИИПИ, 1977. – С. 28.

Tuzova T.V. Investigations of Waters of the Issyk-Kyl Basin with the Use of Uranium Isotopic Method //Study of the Issyk-Kyl Lake Hydrodynamics with the Use of Isotopic Methods. PartII. Institute of water problems and hydropower, NAS KR: ISTC. – Bishkek: Ilim, 2006. – P. 102–108.

Uralbekov B., Burkitbaev M., Satybaldiev B.,Matveeva I.,Tuzova T., Snow D. Spatial and temporal variability of $^{234}U/^{238}U$ activity ratios in the Shu Piver, Central Asia// Environmental Earth Sciences, 2014. – No 4. – P. 111–119.

Uranium-series disequilibrium, application to earth, marine and environmental sciences //Edited by Ivanovich M. and Harmon R.S. – Oxford: Clarendon Press, 1992. – 910 pp.

THE EXPERIENCE OF USING THE RATIO OF ODD URANIUM ISOTOPES IN NATURAL WATER FOR STUDYING PROCESSES IN WATER ECOSYSTEMS

Tuzova T.V.[1], Uralbekov B.M.[2]

[1] Institute of water problems and hydropower, NAS KR, Bishkek, Kyrgyz Republic

[2] Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

tv_tuzova@ mail.ru

ABSTRACT

For example the basins of rivers Chu, Sary-Dzhas (Chu-North Tien Shan), Pjandzh, Kyzyl-Suu (Pamir-Alai) and their glaciers demonstrated the possibilities of using the ratio of even uranium isotopes as a natural indicator for determining the genesis of surface-and-groundwater, forecasting outbreaks of high mountain lakes, assessment of ice components in stream runoff, clarification of the distribution of water resources and control over radiological pollution of mountain rivers.

БАКТЕРИОФАГИ В ЭКОСИСТЕМЕ ПОДЛЕДНОГО ОЗЕРА УНТЕРЗЕЕ (АНТАРКТИДА)

Филиппова С.Н.[1], Сургучева Н.А.[1], Сорокин В.В.[1]

Акимов В.Н.[1,2], Гальченко В.Ф.[1]

[1] Институт микробиологии им.С.Н.Виноградского РАН, Москва

[2]Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К.Скрябина РАН, Пущино, Московская обл.

svfilipova@mail.ru

Методами электронной трансмиссионной микроскопии вирусоподобные частицы были обнаружены в различных слоях стратифицированной водной толщи ультраолиготрофного, постоянно покрытого льдом озера Унтерзее (Антарктида). Наибольшее морфологическое разнообразие бактериофагов выявлено в кислородсодержащей водной толще озера, в области хемоклина (70–76 м) и в сероводородсодержащей толще, на глубине 85 м. Получены изоляты нитчатых фагов из клеток фагочувствительных бактерий, выделенных из водных образцов озера. Обнаружение нитчатых фагов, относящихся к фагам лизогенного типа, свидетельствует о распространении лизогении среди микробиоты экстремальной низкотемпературной экосистемы озера Унтерзее.

В настоящее время общепризнанно, что фаги являются наиболее многочисленными формами жизни на Земле. Экологически значимую роль фаги играют в водных экосистемах, где они являются важным фактором регуляции численности и структуры микробных сообществ. Данные по изучению распространения бактериофагов в полярных континентальных водоемах немногочисленны, тем не менее, они свидетельствуют об их важной роли в этих экосистемах, где доминируют микробные сообщества [Säwström et al., 2008].

Постоянно покрытые льдом озера Антарктики – одна из наиболее экстремальных сред обитания организмов на Земле, в которых формируется своеобразная экосистема за счет физиологической активности микробных сообществ. Однако сведения об этих озерах фрагментарны, а механизмы функционирования микробных сообществ и их вирусной составляющей в таких озерах почти не изучены. Лишь несколько антарктических озер этого типа являются объектами систематических исследований и среди них озеро Унтерзее (98–130 м) в горном массиве Груббер оазиса Ширмахер в 90 км от российской станции Новолазаревская. В результате исследований в рамках международных экспедиций 2008–2012 гг. (с участием с.н.с. В.Н. Акимова и чл.-корр. РАН В.Ф. Гальченко) получен массив данных о составе микрофлоры водной толщи озе-

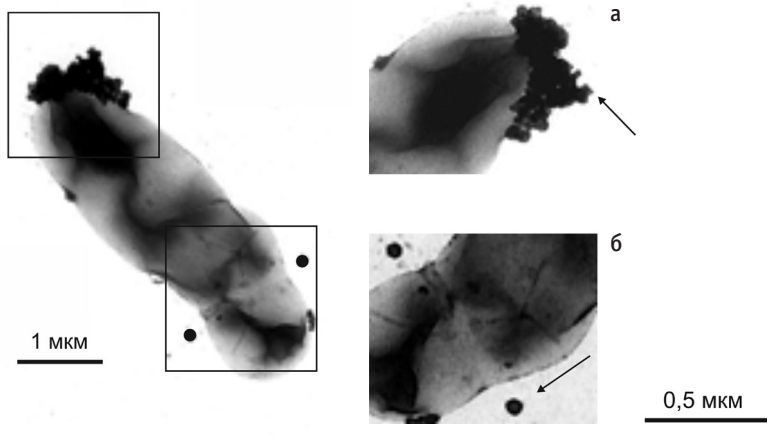


Рис.1. Икосаэдрические вирусоподобные частицы; их адсорбция на поверхности клетки.
Увеличенные фрагменты:
а – фрагменты клетки с адсорбированными вирусоподобными частицами (показаны стрелкой);
б – свободные вирусоподобные частицы (показаны стрелкой).

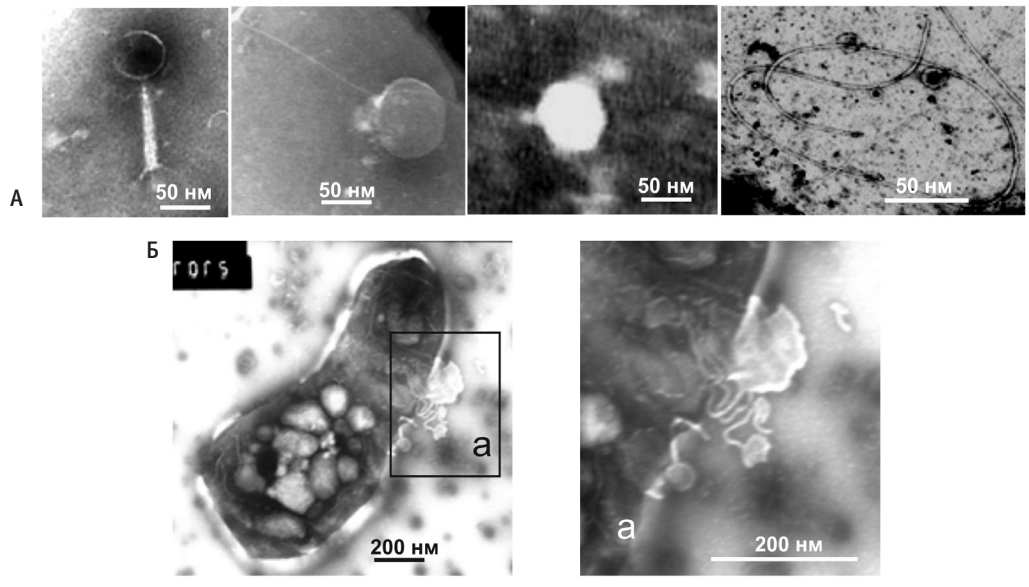


Рис. 2. А – Морфотипическое разнообразие вирусоподобных частиц озера в зоне хемо-оксиклина и анаэробной зоне озера;

Б – Взаимодействие вирусоподобных частиц с клеткой хозяина (а – увеличенный фрагмент клетки с вирусоподобными частицами)

ра и ее биогеохимической активности. Впервые экспериментально установлено наличие и морфологическое разнообразие бактериофагов в ультраолиготрофной водной толще озера. Электронно-микроскопически вирусные частицы обнаружены во всех слоях стратифицированной водной толщи озера. В верхних слоях, в зоне миксолимниона на глубине 4 м обнаружены свободные вирусоподобные частицы икосаэдрической формы и их адсорбция на поверхности микробной клетки (рис. 1).

Наибольшее морфологическое разнообразие вириопланктона (рис. 2) выявлено в зоне хемо-оксиклина на глубине 70–80 м и анаэробном слое (85 м). Обнаружено активное взаимодействие вирусоподобных частиц с клеткой хозяина.

Морфотипы икосаэдрических, хвостатых и нитчатых вирусоподобных частиц были обнаружены в области хемо-оксиклина и в анаэробной зоне водной толщи на глубине 85, 90 и 98 м.

Исследования выявили высокий уровень лизогенизации бактерий в микробных сообществах антарктических экосистем [Pearce, Wilson, 2003], с одной стороны, и низкую видовую специфичность фагов по отношению к клеткам бактерий-хозяев, с другой [Säwström et al., 2008 a]. Эта особенность вирусной составляющей играет, по-видимому, ключевую роль в стратегии выживания микробных сообществ в экстремальных низкотемпературных условиях полярных экосистем. Для выявления лизогенных форм бактерий в водной толще озера Унтерзее нами было проведено микробиологическое исследование аэробной гетеротрофной составляющей микробного сообщества в образце озерной воды, отобранном в области хемо-оксиклина, на глубине 70 м. Общая численность клеток в образце, определенная прямым методом с использованием флюоресцентной микроскопии, составляла $2{,}2 \cdot 10^6$ клеток/мл. При этом количество культивируемых аэробных гетеротрофных бактерий не превышало $2{,}7 \cdot 10^3$ КОЕ/мл. Среди выросших бактериальных колоний были обнаружены такие, в зоне активного роста которых было отмечено появление мелких стерильных пятен. Выделенные из таких колоний изоляты относились к спорообразующим грамположительным бактериям, которые впоследствии были идентифицированы по результатам секвенирования фрагментов гена 16S рРНК как *Paenibacillus* sp. На колониях бактерий *Paenibacillus* sp. наблюдалось появление бляшек (стерильных участков), число которых увеличивалось с возрастом колоний. Появление негативных зон изучали визуально и с помощью фазово-контрастной микроскопии. Для накопления вирусного материала фагочувствительную культуру изолята выращивали в жидкой среде ISP1 при 28°C в течение 5–8 суток при встряхивании на качалке (180 об/мин.), а затем фильтровали через мембранный фильтр (Nuclepore Corp. Pleasanton Ca 94566 Polycarbonate), размер пор – 0,2 мкм. Для выявления литической активности в фильтрате в качестве тест-объектов использовали выделенный нами изолят *Paenibacillus* sp., а также штаммы *Bacillus subtilis* ATCC 6633,

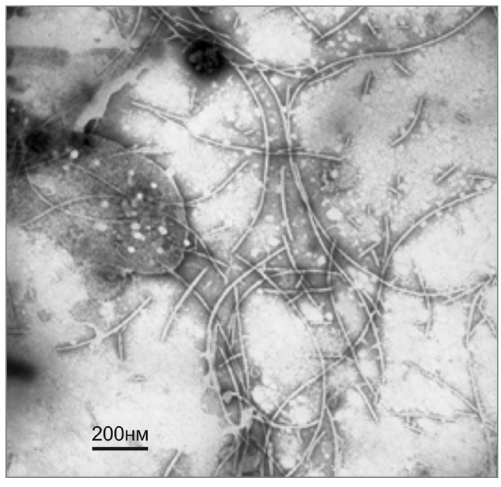


Рис. 3 Нитчатые бактериофаги фагочувствительной бактерии *Paenibacillus* sp., выделенной из водной толщи оз. Унтерзее

B. mycoides и *B. megatherium* из коллекции лаборатории выживаемости микроорганизмов ИНМИ РАН. О наличии литической активности судили по появлению стерильных зон в месте нанесения фильтрата на поверхность газона испытуемой культуры. Электронно-микроскопическое изучение материала, отобранного непосредственно из таких участков, а также фаголизатов фагочувствительных бактериальных изолятов, показало наличие в них нитчатых фагов (рис. 3).

Известно, что нитчатые фаги, по характеру взаимодействия с клеткой бактерии-хозяина, относятся к фагам умеренного или лизогенного типа. Инфекция нитчатыми фагами широко распространена среди грамотрицательных бактерий [Rakonjac et al., 2011]. В настоящем исследовании нитчатые фаги были обнаружены в клетках аэробной спорообразующей грамположительной бактерии рода *Paenibacillus*, выделенной из водных проб озера. Факт инфицирования нитчатыми фагами микроорганизмов бациллярного типа может указывать на проявление поливалентности (полиспецифичности) фагов по отношению к бактериям-хозяевам в экстремальных условиях озера Унтерзее. Выявление умеренных фагов подтверждает существование и, по-видимому, широкое распространение лизогенных форм бактерий в бактериопланктоне озера.

Обнаружение морфологического многообразия вирусных частиц в экстремально низкотемпературной экосистеме подледного ультраолиготрофного антарктического озера Унтерзее свидетельствует о разнообразии форм взаимодействия с клетками хозяев. Являясь переносчиками генетического материала между различными группами бактерий, они поддерживают стабильность биоты озерной экосистемы в целом, выполняя роль регулятора бактериальных сообществ различных слоев стратифицированной водной толщи и обеспечивая взаимодействие между ними. В этом заключается важная роль бактериофагов в поддержании и функционировании микробиоты, их влиянии на биогеохимические и экологические процессы антарктических экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Pearce D.A., Wilson W.H. Viruses in Antarctic ecosystems // Antarctic Science, 2003. – V.15. – № 3. – P. 319–331.

Rakonjac J., Bennett N. J., Spagnuolo J., GagicD., Russel M. Filamentous Bacteriophage: Biology, Phage Display and Nanotechnology Applications // Curr. Issues Mol. Biol., 2012. – V.13. – № 2. – P. 51–76.

Säwström C., Lisle J., Anesio A.M., Priscu J. C., Laybourn-Parry J. Bacteriophage in polar inland waters // Extremophiles, 2008. – V.12. – P. 167–175.

Säwström C., Pearce I., Davidson A.T., Rosén P., Laybourn-Parry J. The influence of environmental conditions, bacterial activity and viability on the viral component in ten Antarctic lakes // FEMS Microbiol. Ecol., 2008 a. –V. 63. – P. 12–22.

BACTERIOPHAGES IN ICE-COVERED LAKE UNTERSEE (ANTARCTICA) ECOSYSTEM

Filippova S.N.[1], Surgucheva N.A.[1], Sorokin V. V.[1], Akimov V. N.[1,2], Galchenko V. F.[1]

[1] *Winogradsky Institute of Microbiology, RAS, Moscow, Russia, svfilipova@mail.ru*

[2] *Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, RAS, Pushchino, Moscow oblast, Russia*

ABSTRACT

Viruses-like particles were detected in separated layers of stratified water column of the ultraoligotrofic ice-covered lake Untersee (Antarctica) by transmission electron microscopy. The greatest morphological diversity of bacteriophages was found at the chemocline of the oxic water column between 70 – 76 m deep and at the 85 m of the anoxic, sufidic water column. Filamentous phage isolates from the phage sensitive bacteria cultures isolated from the water column of Lake Untersee were obtained. The presence of filamentous (moderate) phages indicates that lysogeny is probably widespread among bacterioplankton species inhabiting Lake Untersee.

ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ КАК ОТРАЖЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ

Черных Д.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

chernykhd@mail.ru

О дефиците гидрометеорологической информации можно говорить не только в отношении речных бассейнов, для которых нет прошлых наблюдений за стоком, но и по отношению к тем, где ожидаются значительные изменения в будущем. Существующая ситуация не отменяет таких территориальных задач, как минимизация исходящего от гидрологических объектов ущерба, оптимизация природопользования на водосборе в существующих и меняющихся природных и природно-антропогенных обстановках. В помощь решению этих задач предложен алгоритм ландшафтно-гидрологических исследований, состоящий из пяти шагов. Каждый шаг завершается построением серии ландшафтно-интерпретационных карт.

Много десятилетий назад обоснованы и развиваются идеи, в основе которых лежит представление о тесной зависимости между стоком рек и природными условиями на водосборе. В нашей стране эти идеи берут начало в трудах В.Г. Глушкова [1933] и нашли отражение в работах его последователей. В качестве одного из направлений, связывающих гидрологическую и иную пространственную информацию, рассматривается ландшафтная гидрология. Идеология данного направления исследований определяется гидрологами, а само направление, судя по определениям [Виноградов, 1988; Федоров, 2007], рассматривается как раздел гидрологии. Основная задача направления видится в информационном обеспечении гидрологических моделей, а ландшафтная мозаика используется исключительно для географически обоснованной внутрибассейновой дифференциации параметров этих моделей. Для выявления зависимости между водосборными дескрипторами и параметрами речного стока обычно используется канонический корреляционный анализ [Ouarda et al., 2001]. Из-за сложностей при расчетах речного стока на водосборах, недостаточно охваченных наблюдениями, "классические" ландшафтно-гидрологические исследования традиционно опираются не только на экспериментальные данные, но и на индикационные методические приемы [Антипов и др., 2007]. Однако эффективность моделирования стока снижается и в условиях происходящих климатических изменений и/или изменений в землепользовании. Это может привести к неадекватной оценке возможных рисков и ущербов при наводнениях и других природных катастрофах. В результате, в широком смысле, к неохваченным наблюдениями водосборам относятся не только те, где нет прошлых наблюдений за стоком, но также и те, где ожидаются значительные изменения в будущем [He et al., 2011]. Таким образом, о дефиците гидрометеорологической информации в настоящее время правомерно говорить применительно к большинству речных бассейнов.

Наличие прогнозных неопределенностей не отменяет таких взаимосвязанных территориальных задач, как минимизация исходящего от гидрологических объектов ущерба, оптимизация природопользования на водосборе. В этой связи необходимо не только совершенствование гидрологических моделей, но также корректное структурирование и интерпретация всей пространственно распределенной гидрологически значимой информации, что расширяет возможности ландшафтного подхода. Среди достоинств и преимуществ последнего применительно к решению различного рода прикладных территориальных задач можно отметить следующие: 1) комплексный взгляд на территорию; 2) наличие разработанной иерархически организованной системы единиц членения территории; 3) наглядность, восходящая к широкому использованию картографического метода; 4) возможность количественного анализа ландшафтной структуры, что предполагает не только использование ландшафтной информации в гидрологических моделях, но и позволяет вплотную приблизиться к рациональному природопользованию через оптимальную организацию территории.

Стандартная процедура ландшафтного исследования, состоит из двух фаз – ландшафтного анализа и ландшафтного дизайна [Diaz, Apostol, 1992]. Шаги, составляющие фазу ландшафтного дизайна, специфичны для различных направлений и включают в себя мероприятия по оптимизации ландшафтной структуры. Применительно к прикладным ландшафтно-гидрологическим исследованиям, в конечном счете, должна быть обоснована оптимальная с точки зрения гидроэкологической безопасности, исполь-

зования водных ресурсов и сохранения природного и культурного наследия структурно-функциональная организация водосборного бассейна.

Исходя из сказанного, для территорий с дефицитом гидрометеорологической информации нами предложен алгоритм ландшафтно-гидрологических исследований [Черных и др., 2014], который базируется на традициях отечественного ландшафтоведения в его фундаментальной и прикладной частях. Кроме этого, принимались во внимание методические приемы ландшафтной экологии, зарубежный опыт использования ландшафтного и экосистемного подходов к управлению территорией. В обобщенном виде алгоритм включает в себя несколько шагов (этапов), каждый из которых завершается построением серии ландшафтно-интерпретационных карт.

Шаг 1. Подготовка ландшафтной основы, масштаб и детальность которой определяются размерами модельной территории и задачами исследования. Основная цель на данном этапе – формирование максимально полного представления о внутренней структуре модельной территории, с учетом различных аспектов: вариаций литогенной основы, характера и интенсивности использования человеком, биоразнообразия и т.д.

Адаптация ландшафтных карт и классификаций для решения прикладных задач, как правило, направлена в сторону некоторой генерализации исходной картографической ландшафтной основы и формализации легенды. В процессе реализации этих процедур неизбежны отклонения от стандартных ландшафтных построений, а возникающие при этом проблемные вопросы требуют корректного решения. В рамках ландшафтно-гидрологического подхода необходимо подготовить ландшафтную основу, адекватную представлениям о гидрологической роли различных элементов и составляющих ландшафтов [Федоров, 2007]. При выборе оптимального ранга операционных ячеек, наряду с масштабом картографирования, имеет значение детальность имеющейся, в том числе гидрологически значимой, информации.

Шаг 2. Построение первой группы интерпретационных карт, характеризующих ландшафтно-гидрологический фон (карты климато-гидрологического, литолого-гидрологического, топо-гидрологического фона). Исходной информацией для таких карт в той или иной степени обеспечена большая часть территорий. Климато-гидрологический фон характеризуется региональными величинами атмосферных осадков и испаряемости, наблюдающимися в пределах плакорных местоположений. В качестве интегральных показателей его могут быть приняты коэффициент атмосферного увлажнения или гидротермический коэффициент. Литолого-гидрологический фон связан с характеристиками грунтов зоны аэрации и может быть охарактеризован на основе значений предельной полевой влагоемкости для верхнего метрового слоя почвы. Топо-гидрологический фон – характеризует местоположение выдела в ландшафтном сопряжении, и в первом приближении определяет его гидрологическую функцию.

Шаг 3. Построение второй группы интерпретационных карт на основе динамических показателей, характеризующих внутригодовые состояния ландшафтов. Представление о состояниях ландшафтов является ключевым для понимания их гидрологических функций. Б.П. Ткачев и В.И. Булатов [2002] формулируют представление о ландшафтно-гидрологическом синтезе, понимаемом как объединение ландшафтных и гидрологических показателей в некоторые целостные объекты – состояния – пространственно-временные структуры, имеющие свои особенности функционирования.

При недостаточности или отсутствии исходных данных для характеристики состояний ландшафтов, на данном этапе целесообразна организация наблюдений в рамках одного гидрологического года, а по возможности, в течение ряда лет за гидрологически значимыми (информативными) показателями, пространственная дифференциация которых четко отражает ландшафтные закономерности.

Шаг 4. Классификация ландшафтов в зависимости от соотношения гидрологических функций (стокоформирование, стокорегулирование, водопоглощение). Если в узком смысле гидрологическая функция ландшафта – это процесс водоотдачи с единицы площади [Антипов и др., 2007], то с точки зрения функционирования ландшафтов, гидрологическую функцию необходимо понимать шире, так как сток представляет собой лишь часть круговорота воды в ландшафтах. Справедливым представляется мнение, что речной сток является избыточным для функционирования геосистем, так как отводится за их пределы [Федоров, 2007]. Эта же мысль прослеживается в работе M. Falkenmark [2003], которая делит атмосферные осадки, поступившие в ландшафт, на две категории – "зеленую воду", поддерживающую существование наземных экосистем и "голубую воду", поддерживающую аквальные системы и доступную для человека.

В течение гидрологического года отдельные структурные элементы речного бассейна могут выполнять разные гидрологические функции. Поэтому понимание механизмов влагооборота в ландшафте чрезвычайно важно с точки зрения управления водными и связанными с ними ресурсами.

В идеале для отражения различной активности ландшафтов непосредственно по отношению к стоку

на этом этапе выполняется серия результирующих интерпретационных ландшафтных карт – коэффициентов и слоев стока на различные фазы гидрологического года. При недостатке данных для расчета стокоформирующей функции ландшафтов, она, как и другие функции, может быть охарактеризована, исходя из понимания общих закономерностей. Так, известно, что ветланды наиболее значимы с точки зрения стокорегулирования. Они обеспечивают транспорт и хранение воды, контроль седиментации, поддержание качества воды, зарядку подземных водоносных горизонтов [Dennison and Schmid, 1997].

Шаг 5. Ландшафтное проектирование и оптимизация структуры бассейна с учетом хозяйственных, градостроительных, природоохранных, санитарно-гигиенических, эстетических и иных требований и ограничений. Считается, что ландшафтный подход очень эффективен при поиске компромиссных решений, в частности, примирения задач сохранения окружающей среды и развития [Sayera et al, 2013].

Оптимизационные мероприятия, предложенные на основе ландшафтного подхода, имеют следующие достоинства [Lackey et al, 1998; Yaffee et al, 1999; Arthington et al, 2006; Sayera et al, 2013; Gagné et al, 2015;]: а) акцентируют внимание на долгосрочной стабильности, а не на краткосрочных выгодах; б) регламентируют режимы использования в экологически обоснованных границах; в) предполагают адаптивное управление в условиях неопределенности (а, как известно, дефицит гидрологически значимой информации дает много неопределенности); г) позволяют развести в пространстве выделы с несовместимыми функциями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антипов А.Н, Гагаринова О.В., Федоров В.Н. Ландшафтная гидрология: теория, методы, реализация //География и природные ресурсы, 2007. – №3. –С. 56–66.

Антипов А.Н. Федоров В.Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 254 с.

Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока опыт критического анализа). Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 312 с.

Глушков В.Г. Географо-гидрологический метод // Изв. ГГИ, 1933. – №57-58. – С.5–9.

Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы / Аналитический обзор. Серия "Экология". Вып. 64. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2002. – 114 с.

Федоров В.Н. Ландшафтная индикация формирования речного стока. Иркутск-М.: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы, 2007. – 175 с.

Черных Д.В., Золотов Д.В., Бирюков Р.Ю., Першин Д.К. Алгоритм ландшафтно-гидрологических исследований в бассейнах малых и средних рек степной и лесостепной зон в условиях дефицита гидрометеорологической информации // Вестник алтайской науки, 2014. – №4. – С. 173–177.

Arthington A.H., Bunn S.E., Poff N.L., Laiman R.J. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. – Ecological Applications, 2006. – №16(4). – P. 1311–1318.

Dennison, M.S. and J.A. Schmid. Wetland Mitigation: Mitigation Banking and other Strategies for Development and Compliance. Government Institutes Inc.; Rockville, MD, USA, 1997. – 305 p.

Diaz, N., Apostol, D. Forest Landscape Analysis and Design: A Process for Developing and Implementing Land Management Objectives for Landscape Patterns. USDA Forest Service, PNW Region, Portland, 1992/ – OR R6 ECO-TP-043-92.

Falkenmark, M. Water Management and Ecosystems: Living with Change. Global Water Partnership Technical Committee (TEC) Background Paper, No. 9, 2003. – 50 p.

Gagné S.A., Eigenbrod F., Bert D.G., Cunnington G.M., Olson L.T., Smith A.C., Fahrig L. A simple landscape design framework for biodiversity conservation // Landscape and Urban Planning, 2015. – №136. – P. 13–27.

He Y., Bardossy A., and Zehe E. A review of regionalisation for continuous streamflow simulation // Hydrol. Earth Syst. Sci., 2011. – №15. – P. 3539–3553.

Lackey, R.T. 1998. Seven pillars of ecosystem management // Landscape and Urban Planning. – №40, P. 21–30.

Ouarda, T., Girard, C., Cavadias, G.S., and Bobee, B.: Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis // J. Hydrol., 2001. – №254. – P. 157–173.

Yaffee, S.L. Three faces of ecosystem management // Conservation Biology, 1999. – №13(4). – P. 713–725.

LANDSCAPE-HYDROLOGICAL RESEARCHES IN CONDITIONS OF HYDROMETEOROLOGICAL INFORMATION DEFICIENCY AS REFLECTION OF THE STRUCTURE AND FUNCTIONING OF LANDSCAPES

Chernykh D.V.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Russia; chernykhd@mail.ru

ABSTRACT

Ungauged catchments do not only refer to the ones without past stream flow observations but also those catchments expected to experience significant change in the future. However, current situation needs to be addressed such problems as reducing the damage coming from lotic systems and land use optimization in the catchments. The algorithm of landscape-hydrological researches is offered. The algorithm is divide into five steps, each of which comes to the end with creation of a series of interpretative landscape maps.

СЕКЦИЯ 2

РОЛЬ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ПОДСЕКЦИЯ 2.1

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ФАЗЫ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЧНОГО СТОКА КРУПНЕЙШИХ РЕК РУССКОЙ РАВНИНЫ И СИБИРИ

Георгиади А.Г., Кашутина Е.А.

Институт географии РАН, Москва, galex50@gmail.com

Анализируются долговременные фазы многолетних изменений условно-естественного (восстановленного) и антропогенно-измененного (фактического) годового стока, стока половодья и зимы Волги (Волгоград), Дона (Раздорская), Днепра (Днепрогэс), Оби (Салехард), Енисея (Игарка) и Лены (Кюсюр), а для рек Русской равнины также фазы летне-осеннего стока.

Сток крупнейших рек Сибирского сектора криолитозоны России (Оби, Енисея и Лены) и южного макросклона Русской равнины (Волга, Дон и Днепр), дренирующих огромную территорию площадью более 10 млн км^2, характеризуется заметными долговременными (продолжительностью несколько десятилетий) фазами его повышения и снижения. Они сопряжены с соответствующими длительными тенденциями похолодания и потепления климата.

На природно-обусловленные изменения стока накладываются антропогенные воздействия (связанные, в основном, с регулированием стока водохранилищами).

Вопросам оценки характеристик многолетних изменений стока крупных рек России посвящено достаточно много публикаций, в том числе связанных с последней долговременной фазой потепления климата, начавшейся на рубеже 1970–1980-х годов и сопровождавшейся заметным ростом стока, в особенности зимнего. Исследовались главным образом линейные тренды изменений стока и оценивались различия стока до начала последнего потепления и после [Водные ресурсы…, 2008, Георгиади, Кашутина, 2011, 2014; Георгиади и др., 2011; Georgiadi et al., 2008; Shiklomanov et al., 2013].

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Предлагаемый подход к анализу долговременных фаз многолетних изменений годового и сезонного стока рек, обусловленных соответствующими изменениями климата и антропогенными воздействиями, позволяет исследовать многолетнюю динамику вклада природно-климатических и антропогенных факторов в наблюдаемые изменения стока. Он основан на использовании разностно-интегральных кривых и восстановлении естественных характеристик годового и сезонного стока и сравнительном анализе долговременных фаз изменения условно-естественного (восстановленного) и антропогенно-измененного стока.

Границы сезонов были определены на основе гидрографов стока обобщающих данных за весь период наблюдений и данных о среднемноголетних датах начала и окончания половодья и ледостава.

Методы восстановления речного стока. Для исследования долговременных фаз изменений условно-естественного (восстановленного) годового и сезонного стока использовались составные многолетние ряды этих характеристик. Первая часть ряда включала наблюденные многолетние данные по каждому из рассматриваемых створов, относящиеся к периоду до начала заметного воз-

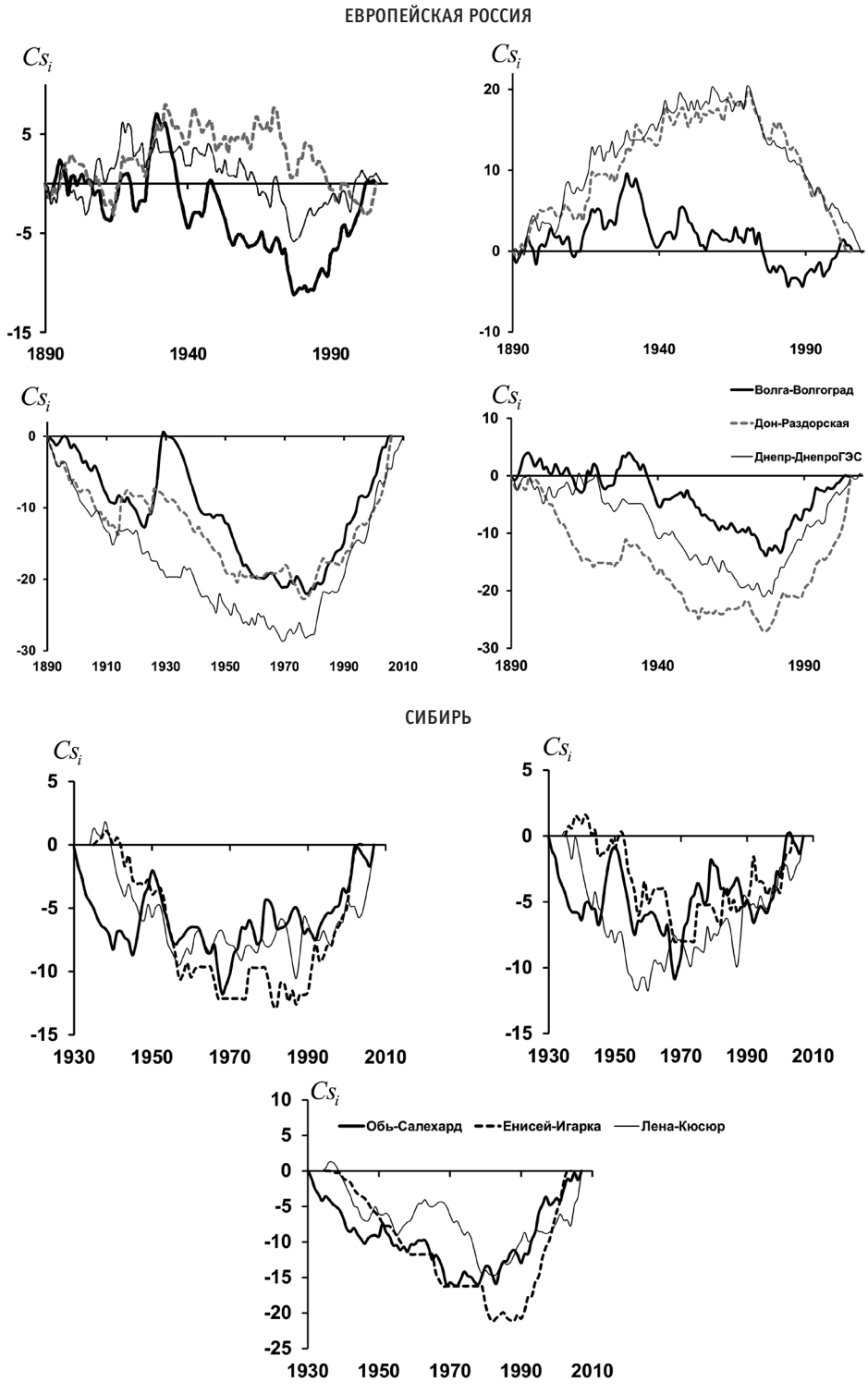


Рис. 1. Нормированные разностно-интегральные кривые многолетних изменений условно-естественного стока крупных рек Русской равнины для годового стока (а), стока половодья (б), стока зимы (в), стока лета-осени (г) и рек Сибири для годового стока (д), стока половодья (е), стока зимы (ж)

действия антропогенных факторов (прежде всего водохранилищ). Вторая часть – состоит из многолетнего ряда восстановленных значений стока, т.е. "очищенных" от влияния антропогенных факторов.

Для восстановления стока использовались два метода. На основе метода рек-индикаторов изменений климатических условий восстанавливался годовой и сезонный сток [Георгиади и др. 2014]. Этот метод исходит из регрессионных связей между стоком главной реки и стоком рек-индикаторов (притоков), характеризующихся относительно слабо нарушенным водным режимом.

Таблица 1. Долговременные фазы изменения годового и сезонного стока

Сток	Фазы повышения стока – ФПС, фазы снижения стока – ФСС	Продолжительность долговременных фаз (годы): фактический сток / восстановленный сток по методу индикаторов и / по методу трансформации гидрографа					
		Волга–Волгоград	Дон–Раздорская	Днепр–Днепрогэс	Обь–Салехард	Енисей–Игарка	Лена–Кюсюр
Годовой сток	ФПС	28/26/–	56/*/–	50/24/–	39/24/39	33/28/32	21/20/20
	ФСС	48/48/–	53/31/–	68/30/–	39/33/39	31/43/29	49/49/49
Сток половодья	ФПС	57/38/–	57/79/–	57/57/–	*	28/36/31	50/33/50
	ФСС	59/60/–	57/35/–	51/38/–	*	43/35/32	22/28/20
Зимний сток	ФПС	51/30/–	53/29/–	50/41/–	40/46/38	37/20/21	30/17/25
	ФСС	66/47/–	63/87/–	70/79/–	40/32/40	34/45/43	46/51/46
Летне-осенний сток	ФПС	30/30/–	54/29/–	43/32/–	–	–	–
	ФСС	82/47/–	62/81/–	71/58/–	–	–	–

*долговременные фазы не выделяются; "– " расчеты по методу трансформации гидрографа не проводились

Были использованы также многолетние ряды среднесуточных расходов воды, восстановленные на основе метода трансформации гидрографа стока [Shiklomanov et al., 2011], в основе которого используется функция влияния Г.П. Калинина и П.И. Милюкова [1958].

Разностно-интегральные кривые использовались для анализа долговременных фаз изменений стока и определения временных границ смены их направленности. Они представляют собой нарастающую сумму отклонений какой-либо характеристики от ее среднего многолетнего значения. Зачастую отклонения нормируются на коэффициент вариации для более удобного сравнения временных изменений разнородных характеристик [Андреянов, 1959; Кузин, 1979].

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ФАЗЫ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА

Условно-естественный сток. На рис. 1 приведены разностно-интегральные кривые условно-естественного годового и сезонного стока рек Русской равнины и Сибири. При этом для построения кривых для Волги, Дона и Днепра, ряды стока были восстановлены по методу рек-индикаторов [Георгиади и др., 2014], а для Сибирских рек для этого использовались ряды среднесуточного стока, восстановленные по методу трансформации гидрографа [A. Shiklomanov et al, 2011]. Отметим, что в большинстве случаев сходный характер имеют и разностно-интегральные кривые, полученные на основе метода рек-индикаторов (за исключением стока половодья Оби).

В течение периодов инструментальных наблюдений (охватывающих на реках Русской равнины период с конца XIX века до начала XXI века, а на реках Сибири – с 1930–1940-х годов до начала XXI века) для стока зимнего периода для всех рассматриваемых рек, летне-осеннего для европейских рек, стока за половодье и за год для рек Сибири выделяются две долговременные фазы (рис. 1). Фаза снижения указанных выше видов стока приурочена к началу периода наблюдений, а сменившая ее фаза повышения стока начинается в 1970–1980-е годы (что близко к началу современного глобального потепления климата), которая продолжается до 2000-х годов. Для стока половодья рек Русской равнины также характерны две продолжительные фазы. Только сначала наблюдалась фаза повышения стока, сменившаяся затем фазой его снижения. Фазы изменения годового стока рек Русской равнины (который включает в себя сток генетически разнородных гидрологических сезонов года) "зашумлены" более короткопериодными изменениями и, поэтому, гораздо менее выражены.

Временная граница смены фаз повышения и снижения условно-естественного стока заметно варьирует для годового стока и стока гидрологических сезонов как на одной реке, так и от одной реки к другой (рис. 1). Их продолжительность также весьма различна и находится, в основном, в широком диапазоне от 20 до 50 лет, но достигает (для зимнего и летне-осеннего стока рек Русской равнины) 90 лет (таблица 1).

При этом на Волге фазы снижения всех рассмотренных видов стока, а на Дону, Днепре, реках Сибири стока меженных сезонов и годового стока более продолжительны, чем фазы их повышения. Тогда как для половодья на Дону и Днепре наблюдается обратное соотношение, а для половодья на Енисее и Лене эти различия незначительны.

Разница среднемноголетнего условно-естественного стока между долговременными фазами его повышения и снижения на реках Русской равнины достигает соответственно для годового стока более 10%, стока половодья 10 и 50%, зимнего стока око-

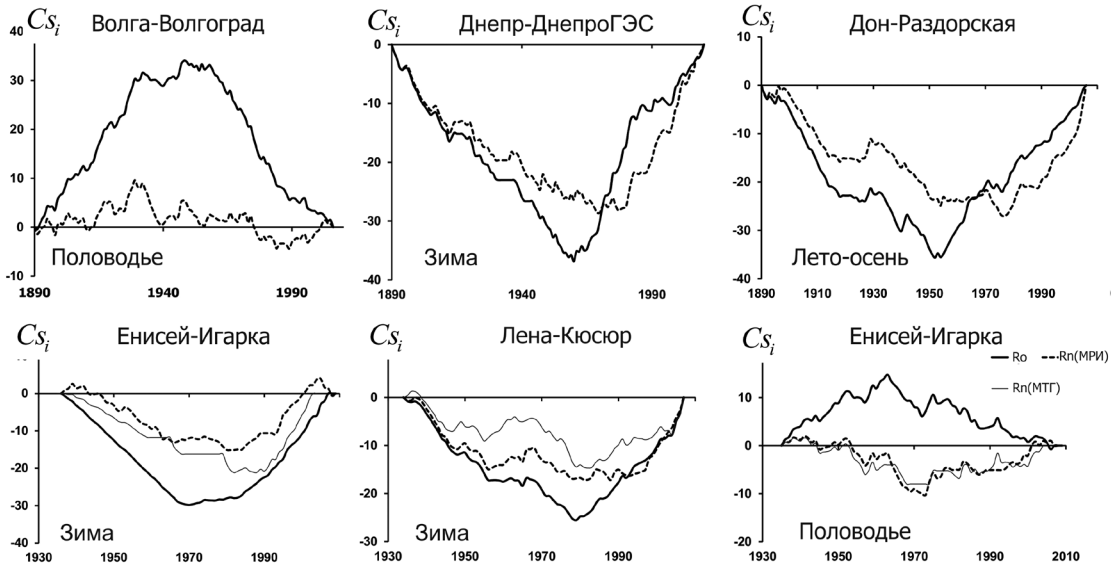


Рис. 2. Нормированные разностно-интегральные кривые годового и сезонного стока крупных рек России. Ro – наблюденный (антропогенно-измененный) сток, Rn (МРИ) – условно-естественный сток, восстановленный по методу рек-индикаторов [Георгиади и др., 2014], Rn (МТГ) – условно-естественный сток, восстановленный на основе многолетних рядов среднесуточных расходов воды, восстановленных по методу трансформации гидрографа [Shiklomanov et al, 2011]

Таблица 2. Средний многолетний сток в долговременные фазы повышения и снижения условно-естественного и антропогенно-измененного стока*

ФАЗА	ВОЛГА–ВОЛГОГРАД		ДОН–РАЗДОРСКАЯ		ДНЕПР–ДНЕПРОГЭС		ОБЬ–САЛЕХАРД			ЕНИСЕЙ–ИГАРКА			ЛЕНА–КЮСЮР		
	Ro	Rn (МРИ)	Ro	Rn (МРИ)	Ro	Rn (МРИ)	Ro	Rn (МРИ)	Rn (МТГ)	Ro	Rn (МРИ)	Rn (МТГ)	Ro	Rn (МРИ)	Rn (МТГ)
Годовой сток															
ФПС	264	274	27	–	53	55	412	426	419	606	600	615	572	561	568
ФСС	228	241	21	23	46	48	385	361	382	560	578	571	517	514	517
Сток половодья															
ФПС	170	177	18	18	26	26	–	–	–	416	433	433	399	408	412
ФСС	123	163	8	12	16	20	–	–	–	382	411	412	369	378	375
Зимний сток															
ФПС	64	40	4	4	11	10	80	75	76	133	83	101	52	41	39
ФСС	31	27	2	2	6	7	66	65	64	76	75	71	34	33	32
Летне–осенний сток															
ФПС	66	59	10	9	19	17	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ФСС	52	49	6	6	13	13	–	–	–	–	–	–	–	–	–

* Ro – антропогенно-измененный средний многолетний сток, Rn (МРИ) – условно-естественный средний многолетний сток, восстановленный на основе метода рек-индикаторов [Георгиади и др., 2014], Rn (МТГ) – условно-естественный средний многолетний сток, в расчетах которого использовались многолетние ряды среднесуточных расходов воды, восстановленных методом трансформации гидрографа [Shiklomanov et al, 2011]

ло 50% и 100%, а летне-осеннего стока 25 и 50%. На Сибирских реках наибольших различий условно-естественный зимний сток за ФПС и ФСС достигает на Енисее (табл. 2). Тогда как разница годового стока и стока половодья в эти фазы наиболее заметна на Лене, хотя и на других реках она значительна.

Эффекты антропогенного воздействия. Влияние антропогенных факторов сказывается на смещении на более ранние годы временной границы перехода фазы снижения зимнего стока к фазе его повышения (рис. 2). Оно особенно заметно на реках Русской равнины (где это различие также очень значительно для летне-осеннего стока) и на Енисее (смещение более чем на десятилетие). На Лене и Оби оно слабо проявляется (смещение на 3 года). Антропогенное воздействие на долговременные фазы изменений стока половодья проявляется в асинхронности изменений фактического

и условно-естественного стока. Оно также наиболее ощутимо сказывается на реках Русской равнины и Енисее (рис. 2).

Антропогенные факторы существенно изменяют сток половодья в фазу его снижения, в особенности на реках Русской равнины и Енисее и, как правило, слабо сказываются на всех видах стока во время фаз его повышения, а также приводят в большинстве случаев к росту разницы зимнего стока в фазы его повышения и снижения (таблица 2).

ВЫВОДЫ

В течение периодов инструментальных наблюдений для стока зимнего периода (для всех рассматриваемых рек), летне-осеннего (для европейских рек), стока за половодье и за год для рек Сибири выделяются две долговременные фазы, одна из которых – фаза снижения стока приурочена к началу периода наблюдений, а сменившая ее фаза повышения стока начинается в 1970–1980-е годы (что близко к началу современного глобального потепления климата) и продолжается до 2000-х годов. Для стока половодья рек Русской равнины также характерны две продолжительные фазы, первая из которых проявлялась в его повышении, сменившаяся затем фазой его снижения.

Антропогенные факторы значительно изменяют характеристики фаз, особенно для зимнего стока. Они сдвигают границы между фазами разной направленности на более ранние годы и заметно изменяют их продолжительность.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант №14-05-00761.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреянов В.Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах // Тр. ГГИ. “Вопросы расчетов стока”, 1959. – Вып. 68. – С. 3–50.

Водные ресурсы России и их использование / Под ред. Шикломанова И.А. – СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. – 600 с.

Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Региональные особенности временных изменений притока речных вод в Северный ледовитый океан // Вклад России в международный полярный год 2007/08. Полярная криосфера и воды суши. – Москва-Санкт-Петербург: Изд-во Paulsen, 2011. – С. 252–264.

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кислов А.В., Анисимов О.А., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А., Бородин О.О. Сценарная оценка вероятных изменений речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 1. Бассейн реки Лены. – М.: Макс Пресс, 2011. – 179 с.

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона. – М.: Издательство “Макс Пресс”, 2011. – 214 с.

Калинин Г.П., Милюков П.И. Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс // Труды ЦИП, 1958. – Вып. 66. – 72 с.

Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 200 с.

Georgiadi A.G., Milyukova I.P. & Kashutina E.A. Recent and Projected River Runoff Changes in Permafrost Regions of Eastern Siberia (Lena River Basin) // Ninth International Conference on Permafrost. Institute of Northern Engineering. University of Alaska Fairbanks, 2008. – P. 511–515.

Shiklomanov A.I., Golovanov O.; Lammers R.B.; Tretjyakov M. & Yang D, American Geophysical Union, Fall Meeting 2011, abstract #C31B-06

Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Lettenmaier D.R., Polischuk Yu. et al. Hydrological Changes: Historical Analysis, Contemporary Status, and Future Projections // Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences. Chapter 4. Springer Environmental Science and Engineering / Eds.Groisman P.Ya and Gutman G. – Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013. – P. 111–154.

LONG-TERM PHASES OF MULTI-YEAR CHANGES OF RUNOFF FOR THE LARGE RIVERS OF RUSSIAN PLAIN AND SIBERIA

Georgiadi A.G., Kashutina E.A.

Institute of Geography RAS, Moscow, Russia, galex50@gmail.com

ABSTRACT

The long-term phases of multi-year changes for naturalized and observed annual and seasonal runoff (flood, winter flow) for Volga (Volgograd), Don (Razdorskaya), Dnepr (Dneproges), Ob’ (Salekhard), Yenisei (Igarka) and Lena (Kyusyur) and for rivers of Russian plain additionally summer-autumn runoff for the period of instrumental observations are analyzed.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВОЛГИ

Демин А.П., Болгов М.В, Филиппова И.А.

Институт водных проблем Российской академии наук, Москва

deminap@mail.ru

Показано, что в бассейне р. Волги за последние 30 лет наблюдается существенное увеличение минимального стока в зимнюю межень. Приведены данные по забору воды из поверхностных и подземных источников за 1980–2010 гг. по основным притокам. Выявлено, что климатический и антропогенный факторы оказывают примерно одинаковое влияние на изменение коэффициента использования водных ресурсов.

Из-за выгодного экономико–географического положения, полноводности и большой протяженности Волга всегда была главной рекой России. Волжский бассейн – важнейший в экономическом отношении регион России. Здесь производится почти половина валового регионального продукта и промышленной продукции России, более трети сельскохозяйственной продукции, что определяет высокую степень антропогенной нагрузки. На 01.01.2014 г. здесь проживало 60,3 млн человек, из них более 48 млн в городах. Водохранилища каскада обеспечивают с высокой степенью надежности водоснабжение городов и промышленных узлов, а также широко используются для массового отдыха, оздоровления и спорта.

Нагрузка на водные ресурсы любого региона характеризуется коэффициентом использования водных ресурсов $К_{исп}$, равным отношению в процентах величины полного водопотребления к возобновляемым водным ресурсам. По мнению специалистов ГГИ для оценки реальной нагрузки на водные ресурсы необходимо принимать минимальную за период наблюдений среднюю годовую величину водных ресурсов за три следующих друг за другом маловодных года. Для анализа состояния водных ресурсов в любом регионе может быть применена следующая классификация нагрузки на водные ресурсы по $К_{исп}$ [Водные ресурсы…, 2008].

1–я категория: $К_{исп}$ <10% – низкая нагрузка на водные ресурсы; обычно регионы не испытывают серьезных проблем с водообеспечением (за исключением проблем загрязнения).

2–я категория: $К_{исп}$ =10–20% – умеренная нагрузка на водные ресурсы. Уровень водообеспеченности становится фактором, ограничивающим развитие региона.

3–я категория: $К_{исп}$ = 20–40% – высокая нагрузка на водные ресурсы. Для устойчивого развития необходимо регулировать предложение и спрос на воду.

4–я категория: $К_{исп}$ = 40–60% – очень высокая нагрузка на водные ресурсы. Имеет место серьезный дефицит воды и необходимость регулирования и ограничения водопотребления, привлечение дополнительных источников водообеспечения.

5–я категория: $К_{исп}$ >60% – критически высокая нагрузка. Дефицит водных ресурсов становится критическим фактором развития экономики и жизнедеятельности.

Специалисты РосНИИВХ рассчитывают $К_{исп}$ как отношение водозабора на хозяйственные нужды к минимальной водности рек в лимитирующий зимний период [Воды России…, 2003].

С расчетами параметров минимального стока связаны важнейшие практические задачи регулирования стока и водообеспечения территории. Поскольку наступление минимальной водности лимитирует водопользование, оно почти всегда рассматривается как экстремальное событие. Проблемы дефицита воды и ее качества ассоциируются именно с минимальным стоком.

В основу изучения современных изменений минимального стока в бассейне р. Волги положен комплексный статистический анализ рядов многолетних наблюдений за минимальным стоком средних рек (площадь водосбора от 1000 до 25000 км²) с продолжительностью наблюдений более 50 лет и минимальным количеством пропусков в наблюдениях. Для отобранных постов (табл. 1) проанализированы данные о средних расходах за 30 суток в пределах межени для зимнего периода. Основное значение для формирования минимального 30-ти дневного расхода имеет величина подземного питания в меженный период, к которому добавляется некоторая величина поверхностного стока.

Очевидно, что в бассейне р. Волги в последние 30 лет наблюдается фактическое увеличение минимального стока за зимний период. Основным фактором подобных изменений считается увеличение температуры воздуха зимой, повлекшее за собой

Таблица 1. Изменение минимального стока в бассейне р. Волги в долях относительно предыдущего периода (до 1978 г.)

№	КОД ПОСТА	ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ	ПОСТ	К	Δq, л с/км²
1	75128	р. Молога	г. Устюжна	1,64	0,95
2	75286	р. Унжа	г. Мантурово	1,58	0,89
3	75287	р. Унжа	г. Макарьев	1,9	1,52
4	75311	р. Ока	г. Белев	1,87	1,38
5	76180	р. Чусовая	пгт. Кын	1,56	0,64
6	76190	р. Чусовая	пгт. Лямино	1,35	0,48
7	76275	р. Белая	Арский Камень, д/о	1,36	0,26
8	76280	р. Белая	д. Сыртланово	1,5	0,48
9	77245	р. Самара	с. Новосергиевка	2,77	0,54
10	77250	р. Самара	с. Елшанка	1,93	0,39
11	76550	р. Вятка	с. Красноглинье	1,29	0,47
12	76553	р. Вятка	д. Усатьевская (пгт. Нагорск)	1,29	0,46

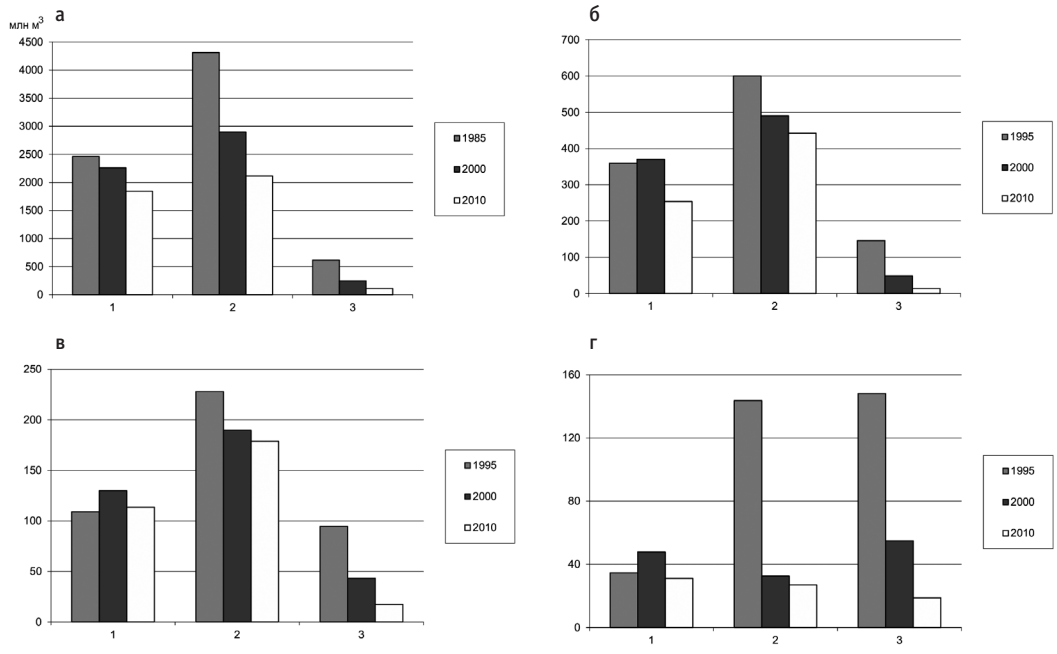


Рис. 1. Динамика использования воды на хозяйственные нужды (млн м^3) в бассейнах рек Ока (а), Белая (б), Вятка (в), Самара (г) за 1995–2010 годы: 1 – хозяйственно-питьевые; 2 – производственные; 3 – сельскохозяйственные

увеличение оттепелей и более интенсивное питание подземных вод в зимнюю межень за счет снеготаяния [Болгов и др., 2014].

Достаточно надежные данные по водопотреблению стали публиковаться с 1980 г., с введением статистического отчета по форме №2-тп (водхоз). По относительно небольшим рекам имеются данные за 1994–2010 гг., по рекам Белой и Вятке – с 1985 г., по р.Оке – с 1980г. Помимо забора воды из поверхностных источников, нами учитывался ущерб речному стоку вследствие забора воды из подземных источников. Коэффициенты ущерба речному стоку брались по данным ГГИ. Они изменяются от 0,30 для р. Вятка до 0,49 для р. Белая.

В бассейнах рек Молога и Самара за 1994–2010 гг. забор воды из поверхностных источников сократился соответственно в 5,5 и 5,2 раза. В бассейнах остальных рек он был существенно меньшим – 1,7–1,9 раза за 25 лет [Воды России..; Использование и охрана…; Государственный водный…; Водные ресурсы…, 2011]. Особняком стоит р. Чусовая, где по 2009 г. включительно значительные объемы поверхностных вод перебрасывались в бассейн р. Исеть для водоснабжения г. Екатеринбурга и подобного снижения не отмечалось. Сокращение забора воды из подземных источников было меньшим, чем из поверхностных источников. Совокупный ущерб речному стоку в результате забора воды из всех источников сократился за 16 лет от 1,4 раза в бассейне р. Чусовая до 4,3 раза в бассейне р. Самара.

В бассейнах рек Молога, Вятка и особенно Самара до кризиса 1990-х гг. был развит агропро-

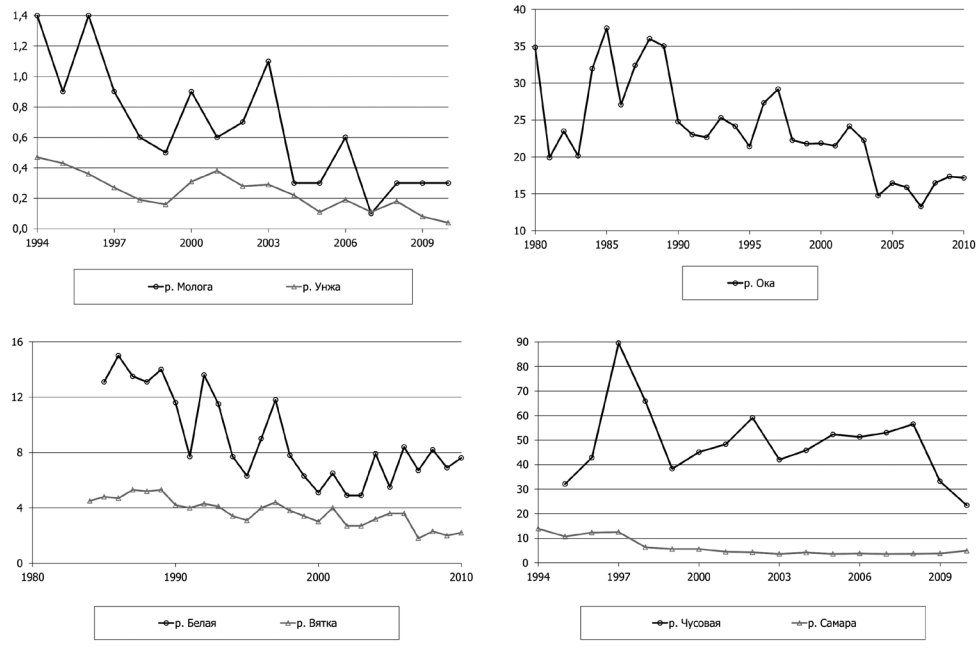


Рис. 2. Динамика изменения коэффициента использования водных ресурсов (%) в реках бассейна Волги

мышленный сектор. Здесь использование воды на сельскохозяйственные нужды (орошение, с/х водоснабжение, прудовое рыбоводство) было сопоставимо или превышало объемы водопотребления на другие нужды (рис. 1). Однако сельскому хозяйству в годы кризиса был нанесен наибольший урон, от которого оно до сих пор не оправилось. Сильно сократилось финансовое обеспечения отрасли, в большинстве регионов не поливается 70-90% земель, числящихся в составе орошаемых.

В связи с этим, а также резким падением поголовья скота, объем использования воды на нужды сельского хозяйства в бассейнах рек Оки и Вятки за 1995–2010 гг. снизился в 5 раз, в бассейне р. Самара – в 8 раз, рек Белой, Мологи и Унжи – соответственно в 11, 12 и 18 раз.

Среди отраслей экономики бассейна р. Волги наиболее водоемкая –промышленность. В 1990-х гг. объем использования свежей воды на производственные нужды сокращался в связи общей экономической дестабилизацией в стране, снижением выпуска промышленной продукции в регионе, переходом многих предприятий на работу по неполному графику или их закрытием. На основных реках промышленное водопотребление за 16 лет снизилось в 1,4–1,6 раза, но в бассейне р. Самары – в 5 раз.

Интегральный показатель водоснабжения городского населения – использование воды на хозяйственно-питьевые нужды. Его максимальное значение в бассейне Волги наблюдалось в начале 1990-х гг. В последующие годы оно постоянно снижалось. В настоящее время во многих городах проводится комплекс водосберегающих мероприятий по рациональному расходованию воды в жилищном фонде. В большинстве регионов бассейна удельное водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды за 1990–2010 гг. снизилось на 20–30%, в г. Москве – на 51%.

Для каждой представленной реки бассейна Волги за соответствующие периоды находились объемы безвозвратного водопотребления, которые позволили рассчитать величины минимального восстановленного стока за зимнюю межень каждого года. Снижение забора воды на фоне роста минимального стока в зимний период привело к заметному падению $К_{исп}$ в бассейнах рек Белая и Самара (рис. 2).

Эти реки перешли из категории рек с умеренной нагрузкой на водные ресурсы в категорию рек с низкой нагрузкой. В бассейнах рек Молога, Унжа, Вятка $К_{исп}$ также снизился примерно в 2 раза, но они остались в категории рек с низкой нагрузкой. В бассейне р. Чусовая после сокращения объема переброс воды в бассейн р. Исеть в 2009-2010 годах $К_{исп}$ снизился до 25–35%.

Снижение забора воды на фоне роста минимального стока в зимний период привело к заметному падению $К_{исп}$ в бассейне р. Оки. Если в 1980-х гг. он находился на уровне 30–35%, то к концу 2000-х гг. его значения снизились до 15–17%. Река Ока перешла из категории рек с высокой нагрузкой на водные ресурсы в категорию рек с умеренной нагрузкой.

Были проанализированы зависимости коэффициента использования водных ресурсов в реках бас-

Таблица 2. Стандартизированные коэффициенты регрессии

РЕКИ БАССЕЙНА ВОЛГИ	СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ РЕГРЕССИИ	
	X_1 – КЛИМАТИЧЕСКИЙ ФАКТОР	X_2 – АНТРОПОГЕННЫЙ ФАКТОР
р. Молога	0,473	0,689
р. Унжа	0,525	0,691
р. Ока	0,654	0,668
р. Чусовая	0,586	0,616
р. Вятка	0,583	0,670
р. Белая	0,479	0,741
р. Самара	0,273	1,074

сейна Волги (У) от величин 30-ти суточного минимального восстановленного стока за зимний период (X_1 – климатический фактор) и ущерба поверхностному стоку за счет забора воды из поверхностных и подземных источников (X_2 – антропогенный фактор) и получены уравнения множественной регрессии. Например, для р. Оки получено следующее уравнение регрессии

$$У = 23{,}89 - 0{,}0335\ X_1 + 0{,}145\ X_2,$$
$$R = 0{,}985 \pm 0{,}005$$

Однако непосредственное сопоставление коэффициентов регрессии может дать неправильное представление об их влиянии на изменение функции, т.к. величина влияния зависит от размаха варьирования факторов. Поэтому более обоснованным является использование стандартизированных коэффициентов регрессии, показывающих увеличение $К_{исп}$ (в виде величины изменения своего квадратического отклонения) при изменении величины факторов на одно среднее квадратическое отклонение (табл. 2). Результаты расчетов показывают, что оба фактора оказывают примерно одинаковое влияние на изменение $К_{исп}$ в большинстве рек бассейна Волги (табл. 2). В восточных регионах бассейна Волги – на реках Белая и Самара – влияние антропогенного фактора на снижение $К_{исп}$ более ощутимо, чем влияние климатического фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. Шикломанова И.А. – СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.

Воды России (состояние, использование, охрана). – Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 1992. – 96 с; 1993. – 96 с.; 1994. – 86с.; 1995. – 88 с.; 1996. – 104 с.; 1998. – 134 с.; 1999. – 146 с.; 2001. – 158 с.; 2002. – 138 с.; 2003. – 136 с; 2005. – 133 с.; 2006. – 112 с.

Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги // Метеорология и гидрология, 2014. –№3. – С. 75-85.

Использование и охрана водных ресурсов в СССР (анализ данных государственного учета использования вод). – Минск: Изд-во ЦНИИКИВР, 1981. – Вып.1. – 162 с.; 1982. – Вып.2. – 174 с.; 1983. – Вып.4. – 268 с.; 1984. – Вып.5. – 258 с.; 1985. – Вып.6. – 260 с.; 1986. – Вып.7. – 254 с.; 1987. – Вып.9. – 212 с.; 1988. – Вып.10. – 210 с.; 1989. – Вып.11. – 195 с.

Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (ежегодное издание). 1981-2010 гг. – Л.-СПб.: Гидрометеоиздат, 1982-2011. 1982. 80 с.; 1983. 116 с.; 1984. 116 с.; 1985. 138 с.; 1986. 134 с.; 1987. 140 с.; 1988. 152 с.; 1989. 152 с.; 1990. 136 с.; 1991. 136 с.; 1992. 64 с.; 1993. 86 с.; 1994. 90 с.; 1995. 92 с.; 1996. 92 с.; 1999. 96 с.; 1999. 94 с.; 2000. 92 с; 2000. 94 с.; 2001. 104 с.; 2002. 112 с.; 2003. 116 с.; 2004. 118 с.; 2005. 164 с.; 2006. 166 с. .; 2007. 174 с. .; 2008. 153 с.; 2010. 152 с.;2010. 152 с.; 2011. 152 с.;

Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2011 году (Статистический сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского и А.Д. Думнова. – М.: НИА-Природа, 2012. – 268 с.

CHANGES OF WATER STRESS IN VOLGA RIVER BASIN DUE TO CLIMATE AND ANTHROPOGENIC IMPACTS

Demin A.P., Bolgov M.V., Filippova I.A.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, deminap@mail.ru

ABSTRACT

It was shown that in Volga river basin during the last 30 year the significant increase of the winter low flow is observed. The water withdrawal from surface and ground water sources during 1980-2010 years is discussed. It was revealed that climatic and anthropogenic factors have approximately the same effects on the changing of the coefficient of water resources using.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ)

Журавлев С.А.[1,2], Бузмаков С.В.[2,1], Курочкина Л.С.[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

[2] Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург

s.zhuravlev@spbu.ru

Проведен анализ временной изменчивости максимального стока весеннего половодья для ряда рек Северо-Запада России за вторую половину XX – начало XXI века. Показано, что для малых и средних водосборов, расположенных к югу от р. Невы и Ладожского озера, максимумы половодья имеют слабовыраженную тенденцию на уменьшение.

С помощью методов моделирования на основе реализации различных сценариев изменения климата по ансамблевой модели CMIP5 для бассейна р. Тосны (приток р. Невы) представлена оценка возможных изменений максимальных расходов воды весеннего половодья заданных вероятностей превышения в течение XXI века. Результаты расчетов показали, что в условиях дальнейшего потепления максимальный расход воды весеннего половодья будет иметь тенденцию на уменьшение. Это позволяет сделать предположение о перспективе снижения рисков затопления населенных пунктов исследуемого региона в весенний период.

ВВЕДЕНИЕ

Климатообусловленные изменения стока рек России характеризуются разнонаправленными тенденциями [И.А. Шикломанов и др., 2007, 2008; Георгиевский и др., 2008; Shiklomanov et al., 2007]. Особенно выражена пространственная неоднородность аномалий весеннего стока рек и, в частности, максимальных расходов воды весеннего половодья [Георгиевский, 2008]. Вследствие этого для корректных оценок реакции стока на изменения климата представляется необходимым проведение детальных региональных исследований.

В Европе за последнее десятилетие был выполнен целый ряд исследований, посвященных региональным аспектам изменений максимального стока. Линдстрём и Бергстрём [G. Linstrom, S. Bergstrom, 2004] на основе анализа данных по 28 постам северной Швеции за период 1911–2002 гг. показали, что для данного региона характерно увеличение нормы максимального стока на 11%, но при этом отсутствует значимый тренд на увеличение максимальных годовых расходов воды обеспеченностью 10% и менее. Аналогичные результаты были получены для стока весеннего половодья рек Финляндии [Korhonen, Kuusisto, 2010]. В качестве причин этого авторы указывают повышение сумм зимних осадков на фоне смягчения зим и возрастающего количества зимних оттепелей.

Исследования многолетних колебаний стока рек Северо-Запада, проведенные в Государственном гидрологическом институте [Шикломанов, Георгиевский, 2007–2008] показывают, что аномалии весеннего стока рек за период 1978–2000 гг по отношению к норме за 1946–1978 гг имеют разнонаправленные тенденции, характеризуясь, в среднем, повышением на 10–20% для бассейнов Карелии и снижением до 30% для водосборов, расположенных южнее 60°с.ш. В то же время, в указанных исследованиях не использовались современные (после 2000 г.) данные наблюдений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе были использованы данные по максимальным расходам воды весеннего половодья за период с 1946 по 2012 гг. для 8 водосборов – южных притоков р. Невы и Ладожского озера (рис. 1). Для всех выбранных бассейнов характерно отсутствие водохранилищ и крупных озер, перераспределяющих сток внутри года. В пределах водосборов отсутствуют крупные населенные пункты, безвозвратное потребление водных ресурсов принималось пренебрежимо малым. Гидрологические посты на водосборах являются действующими, пропуски в данных наблюдений отсутствуют.

Исследуемые водосборы характеризуются высоким весенним половодьем, низкой зимней меженью и летне-осенними паводками. Максимумы половодья, как правило, выше максимумов паводков.

Таблица 1. Оценка трендов максимальных расходов воды весеннего половодья

КОД ПОСТА	РЕКА-ПУНКТ	ТРЕНД, % ЗА 10 ЛЕТ			
		1946–2012	1946–1978	1979–2012	1979–2000
72039	Мга–Горы	-2,2	-13,0	6,0	-6,4
72043	Тосна–Тосно	-1,9	-7,6	-6,2	-13,6
72155	Паша–Дуброво	1,4	-2,7	-5,4	**17,8**
72156	Паша–Часовенское	1,0	0,3	-0,7	**14,9**
72173	Воложба–Воложба	-0,4	**-11,0**	8,0	**23,0**
72188	Тихвинка–Горелуха	-2,6	-1,0	3,1	12,1
72239	Пчевжа–Белая	**-4,0**	5,4	0,9	5,1
72246	Тигода–Любань	-3,7	-4,9	-5,1	-5,4

*жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды для $\alpha = 0,05$

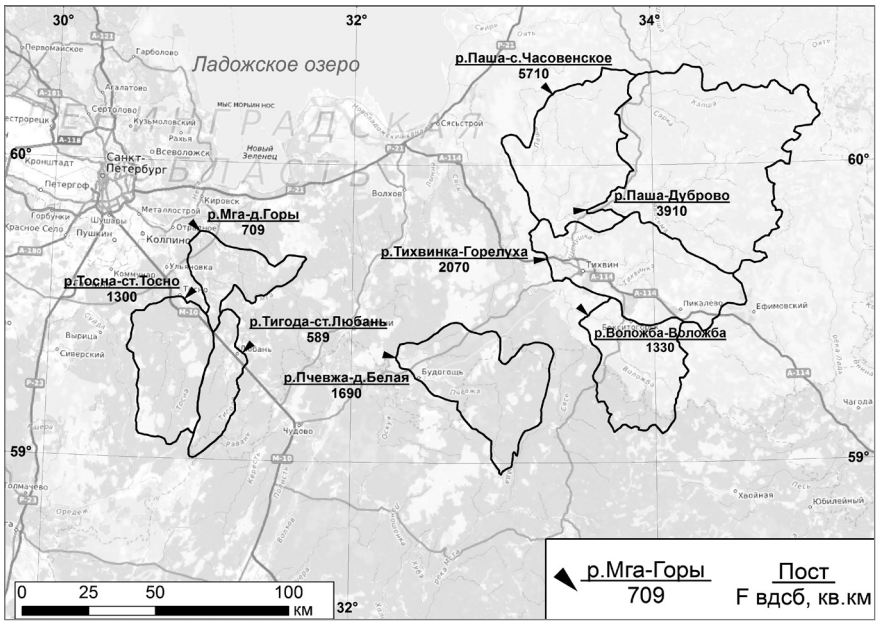


Рис. 1. Общая схема района исследований

Значимость трендов максимального стока оценивалась с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла [Mann, 1945; Kendall, 1975]. Оценка тренда проводилась методом Сена [Sen,1968] для периодов 1946–1978, 1979–2012 и 1946–2012 гг.

Оценка вероятных изменений максимального стока проводилась на основе данных, полученных по ансамблевой модели CMIP 5 для сценария RCP 8.5. В качестве модельного был выбран бассейн р. Тосны. Расчеты проводились по следующей схеме:

1. По наблюденным данным оценивались максимальные расходы воды расчетных вероятностей превышения стандартными методами СП 33-101-2003.
2. С помощью модели "Гидрограф" [Виноградов, Виноградова, 2010; Vinogradov et al., 2013; Журавлев, 2012] проводилось моделирование стока с суточным шагом за период 1959–2012 гг. Верификация модели проводилась путем сравнения эмпирических кривых распределения максимальных расходов воды, построенных по наблюденным и рассчитанным данным.
3. В исходную метеорологическую информацию для моделирования вносились поправки на изменения средних месячных значений температуры и осадков. Для каждого водосбора было проведено 12 экспериментов, соответствующих трем сочетаниям равных квантилей изменений температуры и осадков (5%, 50% и 95%) и четырем периодам расчетов (2021–2040, 2041–2060, 2061–2080, 2081–2100 гг.).
4. Максимальные расходы расчетных вероятностей превышения оценивались по результатам численных экспериментов и далее сравнивались с пиками, определенными за базовый период (1959–2012 гг.)

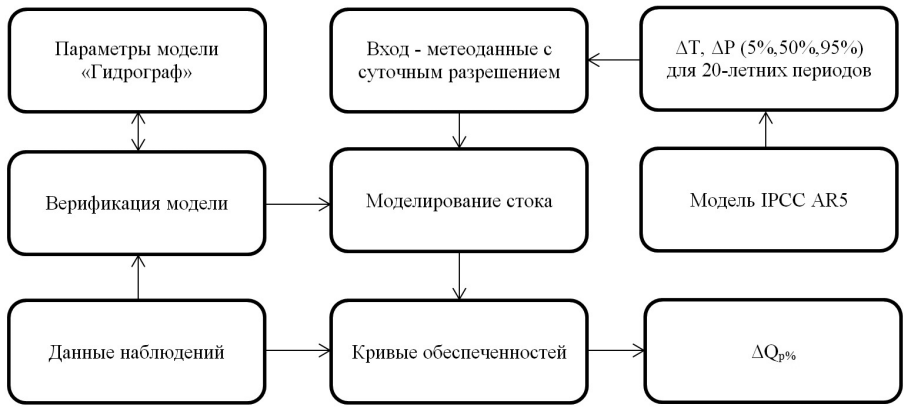


Рис. 2. Общая схема расчетов

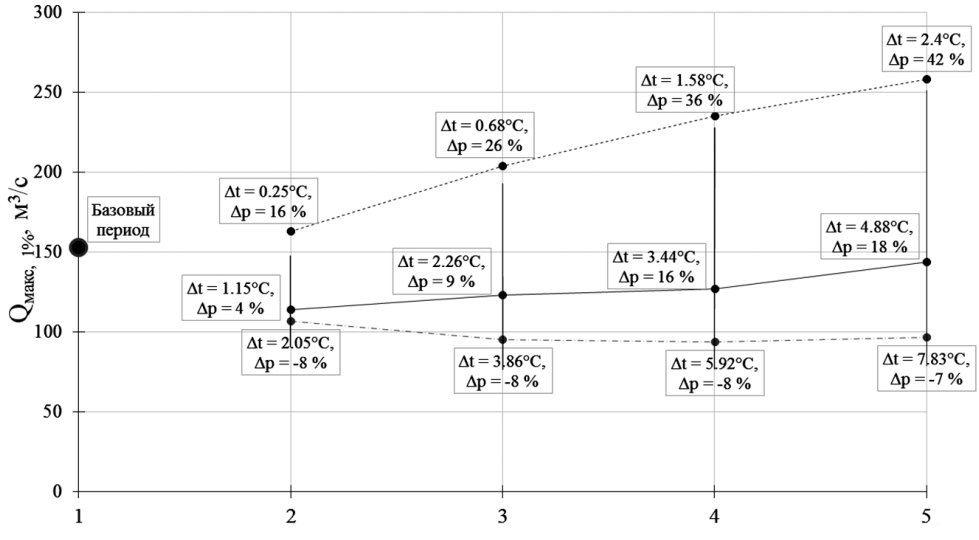


Рис. 3. Ожидаемые изменения максимального расхода воды весеннего половодья 1% обеспеченности для р. Тосны – г. Тосно, полученные по результатам 12 экспериментов для периодов 2021–2040 гг. (1), 2041–2060 гг. (2), 2061–2080 гг. (3), 2081–2100 гг. (4) в сравнении с максимумом, рассчитанным по базовому периоду 1959–2012 гг. (1)

Ожидаемые изменения температуры воздуха и сумм осадков были получены по данным ансамблевой модели климата AR5 CMIP5 для экстремального климатического сценария RCP 8.5. Следует отметить, что для Северо-Западного региона модели CMIP5 отражают среднерегиональные годовые тренды температуры воздуха и количества осадков лучше, чем в большинстве других регионов России [Кокорев В.А., Анисимов О.А.; 2013].

На протяжении всего XXI века по всем моделям CMIP5 при реализации сценарии RCP 8.5 ожидается повышение температуры воздуха. В среднем по моделям ожидается также увеличение сумм осадков на 1,5–2% за десятилетие. При этом межмодельный разброс изменения сумм осадков очень высок, доверительный 90% интервал для средних годовых значений составляет [-8%, 16%] для периода 2021–2040 гг. и [-7%,42%] для периода 2081–2100 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство из исследуемых бассейнов (6 из 8) характеризуется уменьшением максимальных расходов воды весеннего половодья за период 1946–2012 гг. (табл. 1). При этом только для одного поста тренд является значимым для $\alpha = 0{,}05$. Для периода 1979–2012 гг. было установлено, что тренды на повышение и понижение встречаются в равном (4 из 8) количестве случаев, при этом ни одного статистически значимого тренда не выявлено. Снижение пиков половодья в конце XX века было снивелировано их повышением в начале XXI века. Несмотря на относительную близость водосборов и схожесть условий формирования стока, для данной территории отмечается высокая пространственная неоднородность аномалий максимального стока.

Оценка вероятных климатообусловленных изменений стока, выполненная для бассейна р. Тосны, по-

казала, что в среднем в течение XXI века ожидается снижение пиков половодья (рис. 3). Снижение максимальных расходов 1% обеспеченности зафиксировано для 8 из 12 экспериментов. При этом по результатам расчетов установлено, что при повышении температуры более чем на 3,5°С годовые максимумы будут обусловлены летне-осенними дождевыми паводками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования было установлено:

- на выбранных объектах за период 1946–2012 гг. не зафиксировано значимых трендов на снижение максимальных расходов воды весеннего половодья;
- начало XXI века для исследуемой территории характеризуется относительно высокими, по сравнению с последней четвертью XX века, максимумами половодий;
- максимумы весеннего половодья в XXI веке в случае реализации сценария RCP 8.5 будут иметь тенденцию на снижение. Как показано на примере р. Тосны, в случае повышения температуры воздуха на 3,5°С и более годовые максимумы будут обусловлены дождевыми паводками;
- значительный межмодельный разброс оценок изменений осадков в климатических моделях CMIP 5 является препятствием для однозначных и надежных прогнозов весеннего стока исследуемых водосборов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-05-31403 и гранта Президента РФ для молодых ученых МК-5251.2014.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. – М., Академия, 2010. – 304 с.

Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л., Шикломанов И.А. и др. Изменения климата России за период инструментальных наблюдений (раздел 3.4. Речной сток). – В кн.: Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том I. Изменения климата. – М., Росгидромет, 2008. – с. 59–62.

Журавлев С.А. Применение детерминированно-стохастического моделирования для определения координат кривых распределения стока (на примере реки Паши) // Водное хозяйство России, 2012. – №4. – С. 43–53.

Кокорев *В.А., Анисимов О.А.* Построение оптимизированной ансамблевой климатической проекции для оценки последствий изменений климата на территории России. В кн.: Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем (Под ред. Ю.А. Израэля). – М.: "Планета", 2013. – С. 131–153.

Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек России. – В кн.: "Гидрологические последствия изменения климата". – Новосибирск. – 2007. – С. 192–204.

Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. и др. Прогнозные оценки изменений стока на основе климатических сценариев. – В сб.: *Водные ресурсы России и их использование.* – СПб: ГГИ, 2008. – С. 442–464.

Lindström G., Bergström S. Runoff trends in Sweden 1807–2002 // Hydrological Sciences Journal, 2004. – 49(1). – С. 69–83.

Korhonen J., Kuusisto E. Long-term changes in the discharge regime in Finland // Hydrology research, 2010. – 41/3-4. – P. 253–268.

Kendall M.G. Rank correlation methods. – 1948. – 160 pp.

Mann H.B. Nonparametric tests against trend // Econometrica, 1945. – V. 13. – P. 245–259.

Sen P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau //Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1968, 1379–1389.

Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Rawlins M.A., Smith L.C., Pavelsky T.M. Temporal and spatial variations in maximum river discharge from a new Russian data set // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2007. – 112(G4).

Vinogradov Yu. B., Semenova O.M., and Vinogradova T.A. An approach to the scaling problem in hydrological modelling: the deterministic modelling hydrological system // Hydrological processes, 2011. – 25.7. – P. 1055–1073.

VARIATIONS OF MAXIMUM SPRING FLOOD DISCHARGE AND ITS ANALYSIS UNDER CLIMATE CHANGE: A CASE STUDY IN NORTHWESTERN RUSSIA

Zhuravlev S.A.[1,2], Buzmakov S.V.[2,1], Kurochkina L.S.[2]

[1] *Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*

[2] *State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia*

ABSTRACT

The paper focuses on the analysis and trend detection in the maximum spring flood discharges in the basins located in the Russian-north-west (small and midsize rivers to the south of the river Neva and lake Ladoga). It was shown that maximum flood discharges for rivers under investigation have a weak tendency towards decreasing.

ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО ФОНДА ЦЕНТРА И ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ПОЛСТОЛЕТИЯ

Измайлова А.В.

Институт Озероведения РАН, Санкт-Петербург

ianna64@mail.ru

Анализируются изменения озерного фонда центральной и южной частей ЕТР произошедшие за полстолетия со времени составления последнего кадастра озер.

Российская Федерация обладает значительными озерными ресурсами, однако их распределение по территории страны крайне неравномерно и слабо согласованно с основными центрами размещением населения и хозяйственного развития. Наиболее освоенные территории РФ, прежде всего центральная и южная часть ЕТР, испытывают дефицит водных ресурсов, усиливающийся с ростом антропогенного пресса. Согласно проведенной в ИНОЗ РАН новой оценке озерных водных ресурсов РФ [Измайлова, 2014] около 99% озерных вод ЕТР приходится на Северо-Западный федеральный округ. Суммарная доля пяти других федеральных округов до начала активного гидростроительства составляла около 1% и лишь за счет искусственных резервуаров повысилась до 15% от суммарного объема поверхностных нетекучих вод ЕТР. В тоже время, в ряде районов гидростроительство стимулировало снижение запасов воды, сконцентрированных в естественных озерах. Наряду с гидростроительством, снижение запасов воды, содержащихся в озерах, происходит также и из-за процессов заиления и обмеления водоемов, так называемого "старения озер", существенно ускорившегося за счет антропогенного фактора. Согласно новой оценке озерных водных ресурсов РФ, сокращение озерного фонда, вызванное гидростроительством, наиболее ярко прослеживается на примере Западных подстепных ильменей Волго-Ахтубинской поймы. Процессы "старения озер" значительно ускорились в центральной части ЕТР, и без того характеризующейся невысокой естественной озерностью. Озерный фонд данной территории невелик, и любые его изменения хорошо отслеживаются.

Озерный фонд центральной части ЕТР состоит преимущественно из малых водоемов. Так, на части территории Центрального федерального округа, лежащей южнее границы распространения Валдайского оледенения из 5,5 тыс. озер (естественных водоемов с площадью более 1 га) лишь 10 превышают по площади водного зеркала 10 км^2 и около 100 – имеют площади от 1 до 10 км^2. При этом около 30 тыс. дешифрируемых водоемов, как естественного, так и искусственного происхождения, не превышают 1 га. К сожалению, для столь малых по площади водоемов сложно дешифрировать их происхождение, можно только констатировать, что более половины из них привязаны к речной сети.

Большинство озер центральной части ЕТР – это старицы, в районах распространения легко вымывающихся пород распространены суффозионные и карстовые озера. Для части территории, которая была охвачена четвертичными оледенениями эпохи среднего плейстоцена, характерно наличие значительного количества озер, расположенных среди сохранившегося постледникового рельефа. Именно среди таких водоемов и находятся наиболее крупные озера центра ЕТР.

Говоря об озерных водных ресурсах центральной части ЕТР, необходимо учитывать, что широко распространенные здесь старичные озера часто отличаются небольшой продолжительностью жизни. Сравнение использованных нами спутниковых снимков, предоставляемых программой "Google – Планета Земля" и датируемых концом 2000-х, началом 2010-х гг., с картами 1950–70-х гг. и данными водного кадастра, свидетельствует о заметных изменениях озерной сети округа. Ряд старичных озер, внесенных в Водный кадастр, к сегодняшнему дню почти пересохли, вместе с тем появились группы новых водоемов. Проведенная нами оценка показала, что для центра ЕТР характерно также сокращение площади озер, расположенных среди постледникового рельефа. По сравнению с серединой прошлого века активизировалось зарастание озер высшей водной растительностью. В летний период площади покрытия макрофитами для многих озер составляют до 70–95%. Произошло заметное зарастание и заболачивание озер Мещерской низменности, где сконцентрирован ряд относительно крупных водоемов. В летний период большая часть их акватории покрыта густыми зарослями макрофитов, усилилось заболачивание побережья. Наряду с зарастанием, происходит постепенное сокраще-

ние площади зеркала воды, особенно заметное, если сравнивать данные по площадям озер, полученные по современным спутниковым снимкам с данными, собранными сотрудниками Косинской лимнологической станции во время исследований на Мещере в 1920-е гг. Расположенность мещерских озер недалеко от Москвы, свидетельствует о том, что наряду с природной ценностью они имеют и высокое рекреационное значение. Так что вопрос об их экологическом состоянии весьма актуален. Зарастание, заболачивание и, связанное с ними, сокращение площадей озер произошли и в других районах центра ЕТР, особенно заметны они на юге. Часть малых озер к сегодняшнему дню фактически исчезли. Проблема заиления и зарастания водоемов остро стоит и для крупных озер, прежде всего для оз. Галичское и Неро. Наблюдающаяся тенденция к обмелению этих озер, ставит под угрозу их экосистемы.

Постепенно происходящее сокращение количества озер и, соответственно, площади озерного покрытия на Восточно-Европейской Равнине неоднократно отмечалось разными авторами. Так, согласно оценкам [Яковлева, 1983], многие малые озера Белоруссии, Валдайской возвышенности, Поволжья к началу 1970-х гг. потеряли в связи с заилением более 50% объема. Практически полное заиление ряда водоемов, связанное с интенсивным развитием эрозионных процессов, отмечается в Республике Чувашия и Ульяновской области [Озера Среднего Поволжья, 1976]. В 1950–60-е годы было полностью заилено 40 из 376 отмеченных пойменных озер Чувашии и 143 из 277 водораздельных водоемов Ульяновской области. Отмечается постепенное сокращение озер в пределах Республики Татарстан [Яковлев, Мошкова, 2000] и Псковской области, [Лесненко, 1988]. Данный процесс хорошо объясняет теория “старения озер”, под которым подразумевается естественный процесс обмеления и зарастания водоемов, однако значительное влияние на его скорость оказывает антропогенный фактор. Сказываются очень высокие скорости современного антропогенного эвтрофирования озер. Ускорившееся из-за активного развития сельского хозяйства поступление с водосбора рыхлого материала способствует постепенному заполнению водной чаши, а резко повышенное содержание биогенных веществ в воде приводит к бурному развитию макрофитов и быстрому зарастанию мелководных водоемов.

Среди основных причин снижения озерного покрытия центра и юга ЕТР наряду с ускорившимися в связи высокой антропогенной нагрузкой процессами “старения озер”, можно назвать также практически полное исчезновение естественных ландшафтов на значительной части территории, изменение системы дренажа, в том числе благодаря гидростроительству и, отчасти, климатические изменения. Для того чтобы сохранить озерный фонд центра ЕТР, необходимо изучение вопроса влияния на “старение озер” антропогенных факторов, и выявление наиболее опасных из них в зависимости от природных особенностей региона, что поможет в выработке соответствующих рекомендаций по защите озер. Одним из решений является придание озерам и их водосборным бассейнам охранного статуса. Существующее в регионе количество охраняемых озер могло бы быть расширено, поскольку, похоже, это единственный способ сохранить их для наших потомков.

Значительные изменения озерного фонда выявлены и на юге ЕТР, здесь они особенно заметны в районе Нижней Волги, дельта которой всегда изобиловала ильменями – водоемами, образовавшимися после отступления Каспийского моря и сконцентрированными в ее западной части. Ильмени представляют собой цепочки озеровидных водоемов, питающихся волжскими водами и ориентированных от главного русла Волги в сторону калмыцкой степи. Их питание происходит в основном в период половодья через ерики, соединяющие ильмени с более крупными дельтовыми водотоками. В период межени площадь ильменей составляет от нескольких гектаров до десяти и более квадратных километров. В естественных условиях по режиму питания Западные подстепные ильмени (ЗПИ) подразделялись на проточные и обособляющиеся. Проточные располагались в основном вдоль речного русла, их уровенный режим определялся водным стоком р. Волги и р. Бахтемир. Обособляющиеся находились на севере и западе района, питание их происходило только в половодье, в межень питающие их протоки пересыхали.

Со второй половины XX века большая часть ЗПИ имеет искусственное питание, находящееся в зависимости от механизированной подачи воды. Решение по дополнительному обводнению ильменей было принято после зарегулирования Волги, в 1959 г. начала работать соединяющая их оросительно-обводнительная система. К сожалению, строительство системы не уберегло ильмени от значительных экологических изменений, связанных с зарегулированием Волги. Тракты механической водоподачи достаточно быстро засорились, и, на фоне сократившегося паводочного стока в низовьях Волги, ильмени стали недополучать воду. Наиболее отдаленные от русла и не заполняющиеся водой в течение нескольких лет ильмени начали постепенно засоляться, превращаясь со временем в соленые озера.

Таким образом, после зарегулирования Волги и создания Волжско-Камского каскада ГЭС, несмо-

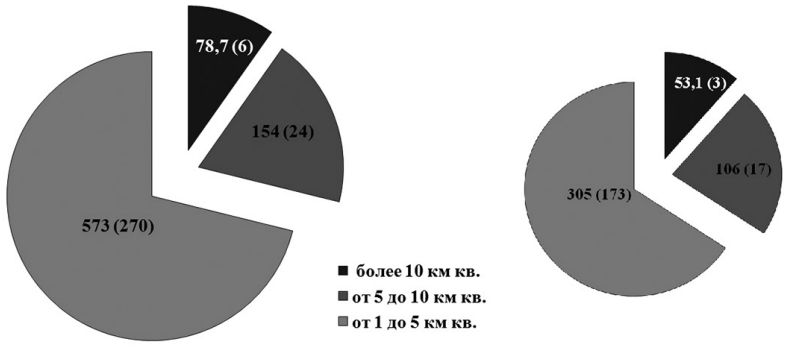


Рис. 1. Сравнение площади водного покрытия ЗПИ водоемами, превышающими 1 км^2 в середине XX в. и в настоящее время

тря на ряд предпринятых мер, изменились сроки обводнения ильменей, снизилась их общая площадь и, соответственно, общий объем содержащейся в них воды. Значительная часть ильменей заилилась и сократилась в размерах, многие ильмени, удаленные от водоисточников (рукавов Волги), осолонились или полностью пересохли. Причиной этому, прежде всего, явилось определенное сокращение общего стока Волги, проходящего через ее низовье и изменение режима притока воды в ильмени, снижение объема весеннего половодья и его продолжительности. Кроме того, негативно повлияли многолетние русловые деформации в рукаве Бахтемир, а также происходящие уменьшения суммарных площадей поперечного сечения русел водотоков, питающих ильмени и проведение различных хозяйственных мероприятий.

Новая оценка озерных водных ресурсов, выполненная в ИНОЗ РАН, позволила произвести сравнение современных (осредненных) площадей водного покрытия наиболее крупных ильменей (превышающих 1 км^2) с площадями, зафиксированными в Водном кадастре, то есть полученными в 1960-е годы. Тот факт, что рассматривались лишь ильмени с площадью выше 1 км^2 связан с тем, что Водный кадастр предоставлял для данного региона данные только для водоемов такого размера.

Согласно проведенной оценке современная площадь водного покрытия ЗПИ водоемами, превышающими 1 км^2 составляет около 465 км^2 причем количество таких водоемов – чуть менее 200. Согласно данным Водного кадастра площадь водного покрытия ЗПИ водоемами, превышающими 1 км^2 составляла в 1960-е годы около 800 км^2, а количество таких водоемов было 300. То есть за прошедшие полвека площадь ильменей превышающих 1 км^2 сократилась в 1,7 раза, а количество таких водоемов – в 1,5 (рис. 1).

Наряду с количественными потерями озерных вод, зарегулирование Волги и связанные с этим изменения в ее дельте, в том числе в районе ЗПИ, привели к существенным потерям рыбного населения, размножающегося в дельте. Современное поступление воды в низовья реки для обводнения нерестилищ не синхронизировано со сроками наступления нерестовых температур воды. В результате нерест и раннее развитие молоди размножающихся здесь видов рыб, особенно в маловодные годы, происходит в несвойственных экологических условиях, с низкой эффективностью пополнения запасов [Жилкин, 2012].

Для решения проблемы Западных подстепных ильменей и восстановления рыбного потенциала дельты Волги необходим пересмотр основных правил эксплуатации волжских водохранилищ с учетом обеспечения необходимых требований для сохранения природных комплексов низовьев Волги, а также проведение комплексных гидромелиоративных мероприятий в ее дельте и в Волго-Ахтубинской пойме. Перспективы решения проблемы Нижней Волги улучшились после принятия федеральной целевой программы "Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 годах" и подготовки в ее рамках комплексной долгосрочной целевой программы "Развитие водохозяйственного комплекса Астраханской области в 2012–2020 годах".

Необходимо отметить, что широкомасштабное гидротехническое строительство искусственных водоемов на юге страны, в том числе крупных водохранилищ, связанных между собой системами переброски стока, в ряде случаев привело и к положительным результатам. Так, в республике Калмыкия оно способствовало частичному распреснению озер, расположенных по трассам переброски стока или вошедших в состав водохранилищ. К сожалению, наряду с распреснением, во многих озерах (прежде всего в озерах Сарпинской группы) произошло существенное ухудшение качества воды, связанное с поступлением в них сбросных и дренажных вод с полей, оро-

шаемых благодаря созданной системе водоподачи. Кроме того, многие изначально распресненные озера со временем стали вновь засоляться.

Важнейшей перспективной задачей является построение вариантных прогнозов дальнейших изменений озерного фонда центра и юга ЕТР на основе анализа скорости и причин снижения здесь озерных водных ресурсов. Необходимо проанализировать скорость заиления и зарастания водоемов, оценить связанные с ними темпы сокращения площадей водного покрытия и объема озерных вод. Данный прогноз мог бы лечь в основу рекомендаций по защите озер от зарастания, заиления и исчезновения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жилкин А.А. Общая стратегия Астраханской области – восстановление и развитие водохозяйственного комплекса Нижней Волги // Водные ресурсы Волги: история, настоящее и будущее, проблемы управления. Мат. II межрегион. научно-практич. конф. Астрахан. обл., 25–27 окт. 2012 г. – Астрахань: ГАОУ АО ВПО "АИСИ", 2012. – С. 3–15.

Измайлова А.В. Результаты новой оценки ресурсов озерных вод Российской Федерации. //Труды итог. Конф. "Роль пространства в модернизации России: природный и социально-экономический потенциал". 2012–2014 гг. – Вологда. ИСЭРТ РАН, 2014. – С. 67–70.

Лесненко В.К. Псковские озера. – Лениздат. 1988. – 111 с.

Озера Среднего Поволжья. – Л., 1976. – 236 с.

Яковлев В.А., Мошкова Л.В. Количественный и качественный состав озер в пределах Республики Татарстан: проблема их сохранения //Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. Тезисы докладов IV респ. научной конф. – Казань: Новое знание, 2000.

Яковлева Л.В. Осадконакопление и седиментация вещества в озерах. – В кн.: Изменения в системе "водосбор-озеро" под влиянием антропогенного фактора. – Л. Наука, 1983. – С. 155–178.

WATER FUND CHANGES AT THE CENTER AND SOUTH OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIAN FEDERATION OVER THE PAST HALF CENTURY

Izmailova A.V.

Limnology Institute, RAS, St.-Petersburg, Russia, ianna64@mail.ru

ABSTRACT

Dynamics of changes in the lake's water fund in central and southern parts of European Russia over the past half century, which have been passed since the last inventory of the state register of lakes, is analyzed.

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК РОССИИ И ИХ ТЕНДЕНЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Исупова М.В.

Институт водных проблем РАН, Москва

misupova@yandex.ru

Современные тенденции в изменениях устьевых областей многих рек мира под влиянием изменений климата и водохозяйственных мероприятий, нарушения режима рек и приемных водоемов заключаются в ослаблении воздействия на эти объекты речных и возрастании роли морских факторов. В то же время отмечается увеличение интенсивности и периодичности опасных гидрологических явлений, вызывающих негативные последствия в устьях рек мира и России в XXI в. В устьях рек наиболее распространенными опасными гидрологическими явлениями считаются наводнения, связанные с экстремально высокими половодьями или паводками на реках, с прохождением сильных нагонов, а также с воздействием ледовых заторов (наиболее характерно для арктических устьев).

Наиболее распространенными опасными гидрологическими явлениями в устьевых областях рек считаются наводнения, связанные с экстремально высокими половодьями или паводками на реках, с прохождением сильных нагонов, а также с воздействием ледовых заторов (наиболее характерно для арктических устьев).

Основная причина возникновения опасных гидрологических явлений (в том числе катастрофических) в устьях рек – наводнений – резкое увеличение стока воды и наносов реки (в особо крупное половодье или паводок), вызывающее существенное повышение уровня воды в реке или в водотоках дельт и заливание поймы (дельты Волги, Кубани и др.).

Ливни экстремальной интенсивности, вызывающие значительные нерегулярные паводки на реках, порой имеют катастрофические непредсказуемые последствия. Так, например, наводнения в дельте Кубани в 2002 г., приведшие к многочисленным жертвам среди населения и существенному материальному ущербу, и в бассейне Дуная, Влтавы и Эльбы в августе 2002 г. (тогда погибло более 100 человек, а экономический ущерб от наводнения составил 20 млрд евро). К катастрофическим последствиям на территории нескольких районов Краснодарского края в России привели интенсивные ливневые дожди 6–7 июля 2012 г., вызвавшие образование наносоводных и селевых потоков на реках и временных водотоках, а также наводнение в Крымске (на р. Адагум), где по, официальным данным, погибло более 170 человек [Котляков, 2012]. Сильно пострадали попавшие в зону наводнения другие населенные пункты (в том числе район г. Геленджика), автодороги и сельскохозяйственные угодья. По данным [Воробьев, 2003], в Краснодарском крае и ранее наблюдались экстремальные паводки на реках Адагум, Дюрсо, Цемес, Пшада, Туапсе, имевшие негативные последствия.

В устьях малых рек экстремальные половодья или паводки могут привести к разрушению имеющихся и формированию новых устьевых аккумулятивных форм, благодаря выносу большого количества твердого материала. Так экстремальный паводок в бассейне р. Ашамба (Маркотхский хребет, Голубая бухта, г. Геленджик) в июле 2012 г. привел к затоплению поймы и надпойменной террасы р. Ашамбы, смыву почвенного и растительного покрова, разрушению строений. Вынесенный рекой в море твердый обломочный материал способствовал образованию относительно крупного устьевого бара, переформировавшегося в течение последующего времени под воздействием морского волнения в блокирующую устье реки косу (пересыпь), размытую последующими штормами (рис. 1).

В устьях рек арктического побережья существенную роль в формировании опасных явлений играют ледовые заторы, препятствующие транзиту воды в руслах рек или рукавов дельт и вызывающие наводнения, а также приводящие к существенным русловым деформациям рукавов дельт (устья рек Лены, Индигирки, Яны и др.). Так, например, в дельте Лены вблизи ее вершины (о. Тит-Ары) нередко образующиеся ледовые заторы вызывают значительный подъем уровня воды, распространяются на большие расстояния (от нескольких сотен метров до сотни и более километров) и длятся от нескольких часов до нескольких суток (до 10 сут) [Долгополова, 2014]. Образование затора льда в период половодья при большом расходе воды приводит к сильному росту уровня воды в реке. Так, в многоводном 1967 г. (средний годовой расход

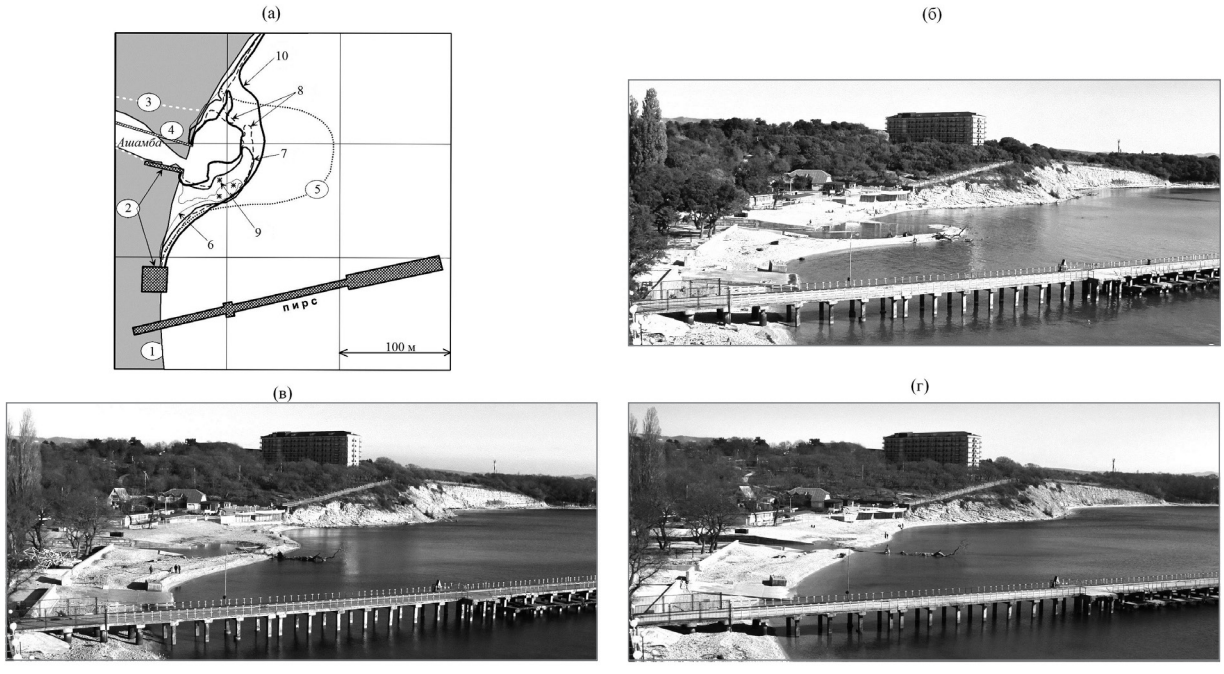


Рис. 1. Формирование (а) и динамика (б–г) конуса выноса и устьевого бара (устьевой косы) на устьевом взморье р. Ашамбы по [Исупова, 2015].

1 – положение уреза береговой линии до 06.07.2012 г.;
2 – железобетонные берегозащитные сооружения правого берега;
3 – границы речной струи при паводке 06.07.2012 г.;
4 – подпорная стена, сооруженная после паводка;
5 – контур подошвы конуса выноса; 6 – линия берега на 18.08.2012 г.;
7 – линия берега на 6.09.2012 г.; 8 – линия берега на 21.10.2012 г.;
9 – вынесенные паводком крупные деревья; 10 – линия берега на 02.11.2012 г.

Положение косы: б – 16.10.2012, в – 24.12.2012, г – 28.02.2013 г.

воды на г/п Кюсюр (в 200 км выше вершины дельты) 18000 м^3/с) минимальный зимний уровень воды был превышен на 26,33 м [Руднев, 1970].

При заторах отмечаются максимальные скорости течения и размыва, растет эрозионная и транспортирующая способность водотоков, приводящие к значительным русловым деформациям в водотоках дельты. Прорыв водным потоком ледяной преграды (затора), образующейся, как правило, перед сужениями русла или у островов, оказывает на дно потока действие гидравлического удара, размывающий эффект которого несравненно больше нормального размыва течением. Одним из примеров проявления донной эрозии в водотоках дельты Лены в районе Сардахско-Трофимовского узла разветвления за 1980–2002 гг., связанной с ледовыми заторами, могут служить существенное уменьшение ширины Сардахской протоки в результате роста косы у левого берега и значительное увеличение глубины протоки (до 10 м) [Долгополова, 2014].

Не менее существенную роль в изменениях уровня воды в устьях рек оказывают сгонно-нагонные явления, которые вызываются сильными ветрами морских румбов над прибрежной зоной морей. Максимальные величины нагонов наблюдаются, как правило, на устьевом взморье реки вблизи морского края дельты и уменьшаются как в сторону реки, так и в сторону моря [Михайлов, 1997]. Нагоны обычно проникают в водотоки дельт на довольно значительные расстояния. Дальность распространения нагонов на устьевой участок реки зависит, прежде всего, от величины самого нагона на устьевом взморье и стока воды реки или дельтового рукава, и, соответственно, уклона водной поверхности в предшествующий нагону период. Чем меньше сток воды в реке (рукаве) и больше величина нагона, тем дальше нагоны распространяются в дельту.

Резкое повышение уровня воды в устье реки при прохождении особо сильных экстремальных нагонов со стороны моря вызывает подтопление (или даже затопление) близлежащих территорий, наводнения, размыв берегов (и соответственно разрушение береговых построек и инфраструктуры) и другие негативные последствия, такие как разрушение хозяйственных объектов, гибель посевов, лесов, лугов, а также вынужденную эвакуацию населения при катастрофических подъемах уровня. Так, например, в устье р. Преголя в период прохо-

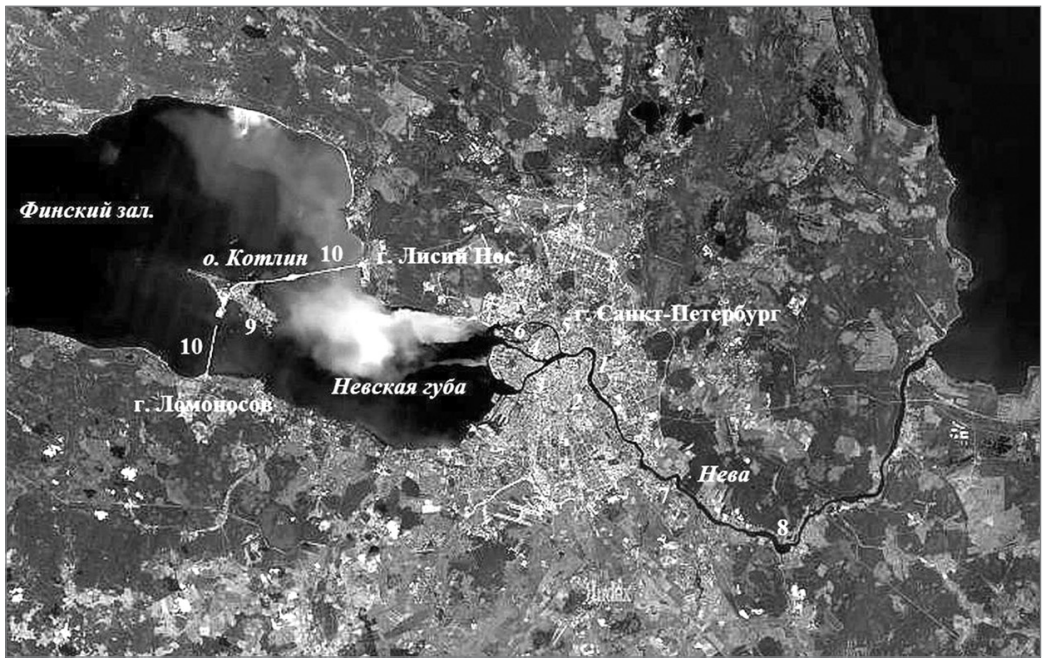


Рис. 2. Устьевая область р. Нева. Рукава дельты:
1 – Нева, 2 – Обводной канал, 3 – Большая Нева, 4 – Малая Нева, 5 – Большая Невка,
6 – Малая Невка. Населенные пункты: 7 – Новосаратовка, 8 – Большие пороги, 9 – Кронштадт.
10 – комплекс защитных сооружений.

ждения сильных нагонов в ноябре 2004 г. и в начале августа 2005 г. в зоне затопления оказались прибрежные районы города и дороги, несмотря на то, что подъем воды в районе Калининграда не достиг критического уровня в 1,5 м. В самом Калининграде были подтоплены 14 крупных предприятий (заводы "Янтарь", "Преголь", ТЭЦ, торговый порт и др.). В дельте Невы и в восточной части Невской губы (рис. 2) до введения в эксплуатацию комплекса защитных сооружений сильные нагоны, связанные с прохождением атлантических циклонов, нередко приводили к существенным подъемам уровня воды в водотоках дельты [Нежиховский, 1988]. Скорость распространения волны нагона на устьевом участке Невы в естественных условиях достигала 20–35 км/ч, а сгона – 20–30 км/ч, при этом интенсивность подъема и спада уровней в среднем составляла 11–15 см/ч, достигая 110 см/ч (подъем) и 95 см/ч (спад) [Нежиховский, 1988]. Наиболее часто наблюдались нагоны величиной 0,4–0,6 м, а при катастрофических нагонах – свыше 3 м, при этом нагоны высотой более 1,60 м БС на г/п Горный институт считаются в устье Невы наводнениями.

За всю историю Санкт-Петербурга на Неве было отмечено около 300 наводнений (118 за 1878–1980 гг. по данным [Нежиховский, 1988]). Крупнейшим и самым известным, благодаря поэме А.С. Пушкина "Медный всадник", за всю историю существования Санкт-Петербурга было наводнение в ноябре 1824 г., когда уровень воды поднялся до отметки 4,21 м (Горный институт). В XXI в. стоит отметить наводнение в октябре 2010 г., когда уровень воды превысил отметку 1,80 м, и была затоплена часть улиц города. Знаменательно это наводнение еще и тем, что оно могло быть последним в истории Санкт-Петербурга, т.к. 12 августа 2011 г. введен в эксплуатацию комплекс защитных сооружений города, построенный поперек Финского залива по линии дер. Горская – г. Кронштадт – дер. Бронка (г. Ломоносов), строительство которого было начато еще в 1979 г. Максимальная высота подъема уровня воды, который может выдержать комплекс защитных сооружений, – свыше 4,5 м, что соответствует подъему уровня воды обеспеченностью 0,01% для Кронштадта – 4,65 м (5,40 м у Горного института) [Аверкиев, Клеванный, 2009]. Комплекс защитных сооружений уже помог предотвратить ущерб городу от нагонного повышения уровня воды в ноябре 2011 г. (1,3 млрд руб. [www.regnum.ru]), октябре 2013 г. (19,2 млрд руб. [РИА Новости, 2013]) и январе 2015 г.

Современные тенденции в изменениях устьевых областей многих рек мира под влиянием изменений климата и водохозяйственных мероприятий, нарушения режима рек и приемных водоемов заключаются в ослаблении воздействия на эти объекты речных и возрастании роли морских факторов, а также в увеличении интенсивности и периодичности опасных гидрологических явлений. В [Climate Change 2012] отмечается рост уровня

Мирового океана, связанный, в первую очередь, с тепловым расширением океана (вследствие потепления климата). Так за 1901–2010 гг. уровень повысился в среднем на 0,19 м (0,17–0,21 м) с интенсивностью примерно 1,7 мм/год. При этом средняя интенсивность роста уровня Мирового океана в последние десятилетия только увеличивалась: 2,0 мм/год в 1971–2010 гг. и 3,2 мм/год в 1993–2010 гг. Негативные проявления процессов повышения уровня приемных водоемов и усиления циклонической деятельности в устьях рек мира и России в XXI в. возможно усилятся. Поэтому оценка воздействия определяющих факторов, частоты и количества опасных гидрологических явлений в устьевых областях рек России позволит выделить основные зоны риска катастрофических явлений в этих объектах, будет также способствовать анализу многолетних изменений гидрологических процессов в устьях рек в условиях изменяющихся климатических характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воробьев Ю.Л., Акимов В.Л., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. – М.: ООО ДЭКС-ПРЕСС, 2003. – 352 с.

Долгополова Е.Н., Исупова М.В. Влияние многолетнемерзлых грунтов на гидролого-морфологические процессы в устьях рек Лена и Маккензи // Инженерная экология, 2014. – Т. 118. – № 4. – *С.* 10–26.

Исупова М.В., Дзагания Е.В., Крыленко М.В., *Крыленко В.В.* Воздействие ливня экстремальной интенсивности (6–7 июля 2012 г.) на гидролого-морфологические процессы в бассейнах малых горных рек (на примере р. Ашамба) // *Водные ресурсы*, 2015. – Том 42. – № 1. – *С. 92*–99.

Котляков В.М., Десинов Л.В., Долгов С.В. и др. Наводнение 6–7 июля 2012 года в городе Крымске // Изв. РАН. Сер. Географическая, 2012. – № 6. – С. 80–88.

Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. – М.: ГЕОС, 1997. – 176 с.

Нежиховский Р.А. Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988.

Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Расчет экстремальных уровней воды в восточной части Финского залива // Метеорология и гидрология, 2009. – № 11. – С. 59–68.

РИА Новости. Дамба в Петербурге предотвратила ущерб от наводнения на 19,2 млрд руб.

Руднев А.С. Особенности заторообразования на р. Лене в многоводные годы (на примере 1967 г.) // Тр. ААНИИ, 1970. – Т. 290. – С. 71–82.

Climate Change 2012: The Physical Science Basis // http://www.ipcc.ch

http://www.regnum.ru/news/piter/1472825.html // Дамба сэкономила Санкт-Петербургу 1,3 млрд рублей.

THE DANGEROUS HYDROLOGICAL PHENOMENA IN THE RUSSIAN RIVER MOUTHS AREAS AND THEIR TREND IN THE CHANGING CLIMATIC CHARACTERISTICS

Isupova M.V.

Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia, misupova@yandex.ru

ABSTRACT

Modern trends in the changes of the river mouths areas under the influence of climate change and water-related activities, of violation of the regime of rivers and receiving bodies of water are to reduce the impact on the objects of the river and the growing role of marine factors. At the same time, there is an increase in the intensity and frequency of hydrological hazards that cause negative effects in the river mouths of the world and Russia in the XXI century. In the river mouths the most common dangerous hydrological events are floods associated with extreme floods or floods in the rivers, with the passage of strong surges, as well as the impact of ice jams (most typical for Arctic river mouths).

ТЕХНОГЕННЫЕ ПОТОКИ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ И РИСК ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК БЕЛАРУСИ

Кадацкая О.В., Санец Е.В., Овчарова Е.П.

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

geosystem1@rambler.ru

Рассматриваются особенности техногенных гидрохимических потоков, формирование которых определяется отведением в водные объекты нормативно-очищенных сточных вод и выносом загрязняющих веществ с поверхностным стоком с территории города.

В настоящее время формирование техногенной химической нагрузки на водные объекты Беларуси в значительной степени определяется урбанизированными участками водосборов, в пределах которых нарушаются естественные условия миграции химических веществ и появляются техногенные гидрохимические потоки, обусловленные отведением в водные объекты нормативно-очищенных сточных вод и выносом загрязняющих веществ с поверхностным стоком с территории городов.

СТОЧНЫЕ ВОДЫ

В водные объекты Беларуси в 2013 г. отведено 974 млн м^3 сточных вод, среди которых, как и в предшествующие годы (2009–2012 гг.), преобладали нормативно-очищенные (654 млн м^3), сбрасываемые без очистки воды составили 317 млн м^3, недостаточно очищенные – 2,92 млн м^3 [Состояние природной…, 2014]. Если в целом для страны на нормативно-очищенные сточные воды за рассматриваемый период (2009–2013 гг.) приходилось 67–69% общего водоотведения, то на крупные города Беларуси – от 91% (Гомель) до 100% (Витебск и Гродно).

Особенности химического состава техногенных потоков определяются "условиями" их происхождения. Так, постоянный рост численности городского населения (76% общей численности населения страны) сопровождается увеличением доли коммунально-бытовых сточных вод в общем объеме водоотведения, составляющей в крупных городах страны 78–93%.

Вместе с тем уровень давления на поверхностные воды определяется не общим количеством сброшенных в реки сточных вод, а показателем "загрязненные сточные воды", который характеризуется объемом сточных вод, содержащим загрязняющие вещества, и в основном включает нормативно-очищенные воды.

Как видно из рисунка 1, в общем объеме отведенных в реки страны сточных вод "загрязненные сточные воды" составляют значительную часть, на которую приходится от 89 до 94% их суммарного количества.

Основное количество загрязненных вод (более 60%) приходится на коммунально-бытовые сточные воды, для химического состава которых характерно повышенное содержание органических веществ, хлоридов, сульфатов, соединений азота и фосфора.

Рис. 1. Объем сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в 2009–2013 гг.

Таблица 1. Сброс химических веществ в р. Свислочь в составе поверхностного стока с территории г. Минска и сточных вод, в 2009 г.

ТИП НАГРУЗКИ		ВЕЩЕСТВА						
		Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	СУХОЙ ОСТАТОК	ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА
Поверхностный сток	т	18622	684	155	12	62	37294	14661
	%	54	6	10	16	4	29	80
Сточные воды	т	15870	9960	1440	60	1380	93460	3590
	%	46	94	90	84	96	71	20
Суммарная нагрузка	т	34492	10644	1595	72	1442	130754	18251

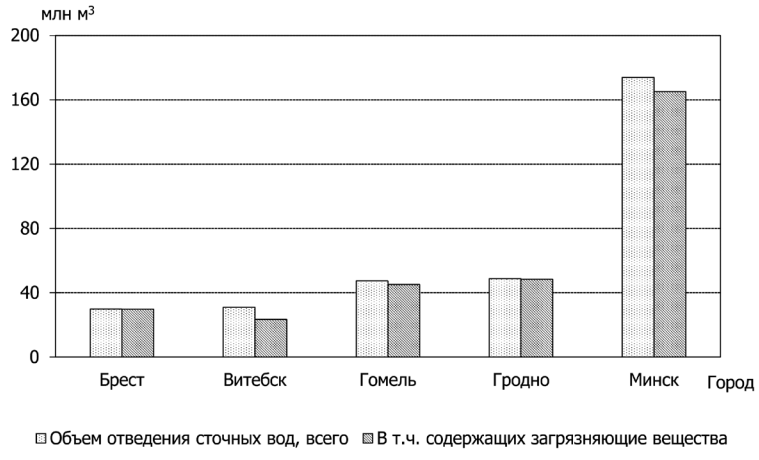


Рис. 2. Объем сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в 2013 г.

В областных городах и Минске "загрязненные сточные воды", поступившие в реки-водоприемники сточных вод, в отдельные годы могут достигать 100%. Так, в 2013 г. объем таких вод изменялся от 75% (г. Витебск) до 100% (г. Брест) (рис. 2).

Согласно [Городская среда…, 2013], на долю сброшенных после очистки сточных вод городов страны приходится 63% общей нагрузки на водные объекты по азоту нитратному, 56% – азоту аммонийному, 54% – взвешенным веществам, 52% – сульфатам, 44% – фосфатам и 42% по азоту нитритному.

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК

Развитие города и строительство системы дождевой канализации для отвода поверхностного стока, как известно, изменяют естественный водосбор принимающего водотока и обуславливают появление более мелких техногенных субводосборов, приуроченных к дренажно-канализационной сети, сток с поверхности которых сбрасывается в местах выпусков дождевых коллекторов. Трансформация водосбора в пределах города сопровождается увеличением объема поверхностного стока и изменением его химического состава.

Согласно исследованиям, проведенным на территории Минска в 2000–2009 гг., среднегодовой объем поверхностного стока, образованного на канализованной территории, составил 33,1 млн $м^3$ и колебался в пределах 25,7–37,8 млн $м^3$ в год. Причем его основная часть (59–85%, в среднем 67%) формировалась в летне-осенний период за счет дождей. На зимне-весенний период пришлось 15–41% (в среднем 33%). Несмотря на то, что на талый сток в среднем приходится только около 30%, его вклад в вынос загрязняющих веществ достаточно значителен из-за сильного загрязнения вод стока в период снеготаяния [Aucharova, 2010].

В целом с талым стоком выносится около 94% от суммарного выноса макрокомпонентов и 59% от суммарного выноса взвешенных веществ. Если основная часть выноса хлоридов (около 98%) приходится на талый сток, то около 93% фосфатов выносится, наоборот, дождевым стоком. Для форм азота и сульфатов характерно следующее соотношение: примерно треть от общего выноса приходится на дождевой сток и две трети на талый (рис. 3).

Сопоставление уровня воздействия выноса загрязняющих веществ с поверхностным стоком с территории г. Минска и сточных вод, отводимых в р. Свислочь, показало, что последние оказывают значительно большую химическую нагрузку на принимающий водок. Однако, как следует из таб-

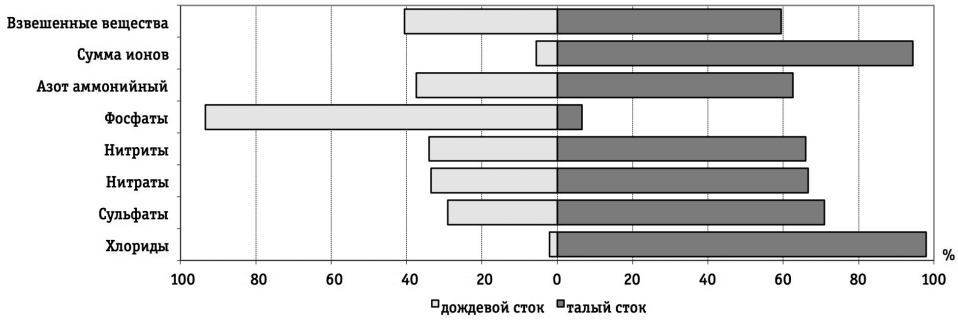


Рис. 3. Вклад дождевого и талого стоков в среднегодовой вынос растворенных и взвешенных веществ с канализованной территории Минска,%

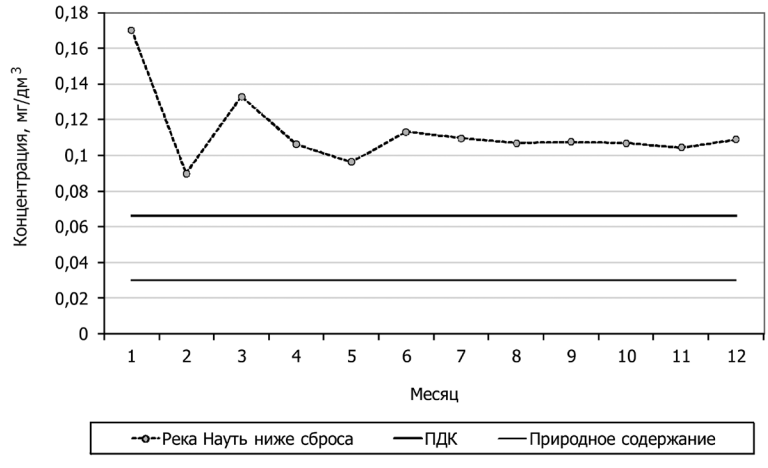


Рис. 4. Годовая динамика концентраций фосфатов в воде р. Наути в 2013 г.

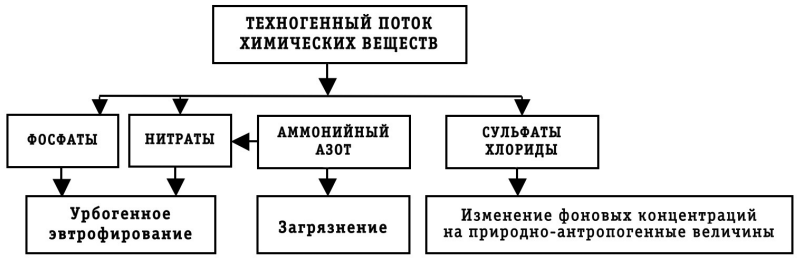


Рис. 5. Структура трансформации речных вод в результате воздействия техногенных гидрохимических потоков

лицы 1, поступление хлоридов с поверхностным стоком с канализованной территории может оказывать соизмеримую со сточными водами нагрузку. В отличие от сточных вод, нагрузка которых равномерно распределена во времени, сброс хлоридов с поверхностным стоком в основном приходится на период снеготаяния.

ХЕМОТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЧНЫХ ВОД

Хроническое воздействие сточных вод, сбрасываемых в реки ниже городских очистных сооружений, совместно с поверхностным стоком с урбанизированных территорий, формируют определенный уровень загрязнения речных вод, который по-разному выражен в пространственно-временном отношении для рек основных бассейнов страны. Однако практически для всех рек Беларуси, на которых расположены крупные и средние города, характерно устойчиво выраженное во времени “фосфатное” загрязнение. “Аммонийное” загрязнение рек в последние годы имеет тенденцию к ослаблению. Загрязнение рек азотом нитритным локализуется, как правило, на отдельных участках рек и выражено слабее [Sanets, Kadatskaya, 2011; Кадацкая и др., 2012; Состояние природной…, 2014; Кадацкая и др., 2015]. В то время как поступление в реки значительного количества сульфатов и хлоридов

привело к увеличению их природного содержания в 3–5 раз и формированию природно-антропогенных концентраций рассматриваемых компонентов [Ландшафтные воды…, 2005].

Сброс сточных вод, недостаточно очищенных от фосфатов, более 90% которых формируется в сфере жилищно-коммунального хозяйства, стимулирует развитие "урбогенной" эвтрофикации водных экосистем [Романенко, 2004].

Естественно, что эффект воздействия техногенного потока фосфатов наиболее отчетливо проявляется в паре "город – малая река", о чем свидетельствует содержание биогенного вещества в воде р. Наути, являющейся водоприемником нормативно-очищенных сточных вод, режим фосфатов которой имеет хорошо выраженные антропогенные черты, способствующие развитию процессов эвтрофирования (рис. 4).

Таким образом, структура выявленных гидрохимических нарушений, вызванных техногенными потоками, формирующимися на урбанизированных территориях, может быть представлена следующим образом (рис. 5).

Выявленные нарушения характерны для рек любого ранга, однако, как показали наши исследования, наиболее четко они выражены для малых рек-водоприемников сточных вод. При этом анализ размещения городов Беларуси с их привязкой к водным объектам показал, что значительное количество городов (43%) приурочено к малым и очень малым рекам, что делает такие водотоки весьма уязвимыми к техногенному воздействию.

Следует также подчеркнуть, что в настоящее время среди факторов, оказывающих воздействие на состояние речных экосистем Беларуси, урбанизация как процесс роста городского населения является одним из основных.

Вместе с тем в 1970–1990-х годах приоритетными факторами трансформации гидрохимического режима рек Беларуси были сельское хозяйство и промышленность [Ландшафтные воды…, 2005]. Так, в результате агротехногенеза природный гидрохимический фон Беларуси трансформировался в природно-антропогенный аналог, а промышленное производство, способствовало значительному загрязнению речных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Aucharova A., Khomich V. Urban Runoff as a Pathway for Transmission of Pollutants into Receiving Waters // World Water Week in Stockholm, September 5–11, 2010. – Stockholm, 2010. – P. 388.

Городская среда: геоэкологические аспекты / В.С. Хомич и др. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 301 с.

Кадацкая О.В., Овчарова Е.П., Санец Е.В. "Аммонийное" и "фосфатное" загрязнение рек Припятского Полесья // Материалы Международной научно-практической конференции "Географические аспекты устойчивого развития регионов" в 2 ч., 23–24 апреля 2015 г., Гомель / редкол.: А.И.Павловский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2015. – Ч.2. – С. 74–77.

Кадацкая О.В., Санец Е.В., Овчарова Е.П. Структурирование данных по оценке водных ресурсов Беларуси в соответствии с международными требованиями // Природопользование: сборник научных трудов / Национальная академия наук Беларуси, Институт природопользования; редкол. А.К. Карабанов и др. – Вып. 21. – Минск, 2012. – С. 90–98.

Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О.В. Кадацкая и др. – Минск: Бел. наука, 2005. – 347 с.

Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. – Киев: Генеза, 2004. – 664 с.

Sanets E., Kadatskaya O. Conflict hydroecological situations as a result of anthropogenic impact (by example of Belarus) // Responding to Global Changes: Water in an Urbanising World. Abstract volume of the World Water Week in Stockholm, August 21–27, 2011. – Stockholm, 2011. – P. 197–198.

Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень, 2013 год / Под ред. В.Ф. Логинова. – Минск, 2014. – 364 с.

MAN-MADE FLOWS IN THE URBAN ENVIRONMENT AND THE RISK OF CONTAMINATION OF RIVERS OF BELARUS

Kadatskaya O.V, Sanets E.V, Aucharova A.P.

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, geosystem1@rambler.ru

ABSTRACT

The features of man-made hydrochemical flows, the formation of which is determined by normative treated water disposal into water bodies and removal of pollutants with surface runoff from the territory of the city are discussed.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СНЕГОЗАПАСОВ И СОВРЕМЕННЫЙ РЕЧНОЙ СТОК ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Китаев Л.М.[1], Фролова Н.Л.[2], Фатхи М.О.[2], Ефремова Н.А.[3]

[1] Институт географии РАН, Москва

[2] Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

[3] Центральное УГМС, Москва

lkitaev@mail.ru

Оцениваются закономерности пространственной и временней изменчивости средних и экстремальных снегозапасов в условиях современных изменений приземной температуры воздуха и осадков. Выявлены роль этих изменений для особенностей формирования речного стока последних десятилетий.

ВВЕДЕНИЕ

Снежный покров, будучи одним из наиболее распространенных и динамичных природных объектов, представляет собой как мощный климатообразующий фактор, так и важный гидрологический ресурс. Для значительной части территории России половодье, как наиболее характерная здесь особенность водного режима рек, в своей изменчивости определяется изменениями снегозапасов. Актуальность изучения снегонакопления как фактора изменений речного стока в текущий период связано со значительными изменениями климата последних десятилетий. Задача исследований в данном случае состоит в оценке пространственно-временных изменений средних и экстремальных снегозапасов, являющихся предпосылками изменчивости весеннего половодья рек Восточно-Европейской равнины.

В качестве исходных материалов для статистического анализа использованы данные метеорологических станций за период 1966–2011 гг.: снегозапасы на конец февраля (время с преобладающими максимальными значениями), суточные значения приземной температуры воздуха и осадков с ноября по февраль включительно. При этом исключались станции, имеющие пропуски данных снегомерных маршрутов третьей декады февраля, для приземной температуры воздуха и осадков – при отсутствии данных за пять дней каждого месяца, т.е. 20 дней (16%) за период с ноября по февраль. Таким образом, в исследовании использовались данные 300 метеорологических станций. Для проведения статистического анализа условий формирования максимальных снегозапасов (данные последней декады февраля) суточные значения приземной температуры воздуха пересчитывались для периода ноябрь-февраль включительно в среднее, значения осадков – в сумму. Карты распределения исследуемых характеристик,

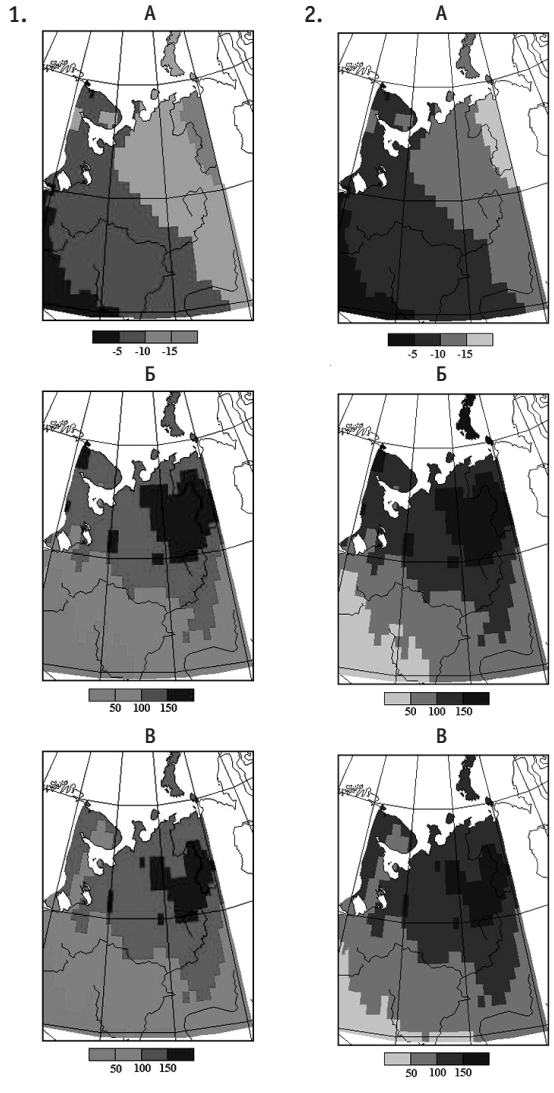


Рис. 1. Пространственное распределение среднемноголетних величин приземной температуры воздуха (А), осадков (Б) и снегозапасов (В)

Рис. 2. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда приземной температуры воздуха (А), осадков (Б) и снегозапасов (В).

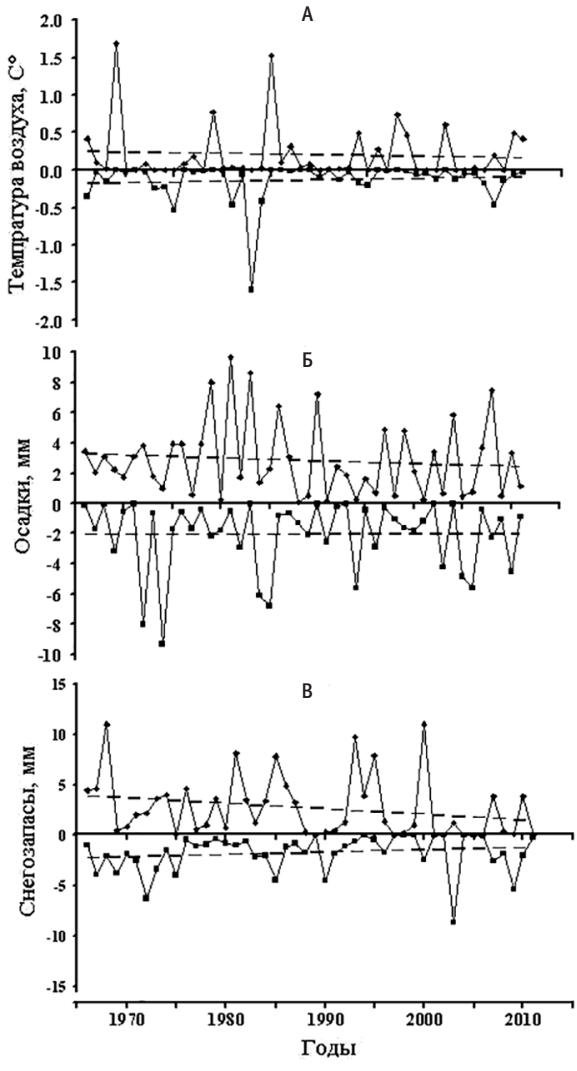


Рис. 3а. Многолетний ход значений приземной температуры воздуха (А), осадков (Б) и снегозапасов (В) выходящих за пределы сигмы в положительной (1) и отрицательной областях (2) с их линейными трендами (пунктир)

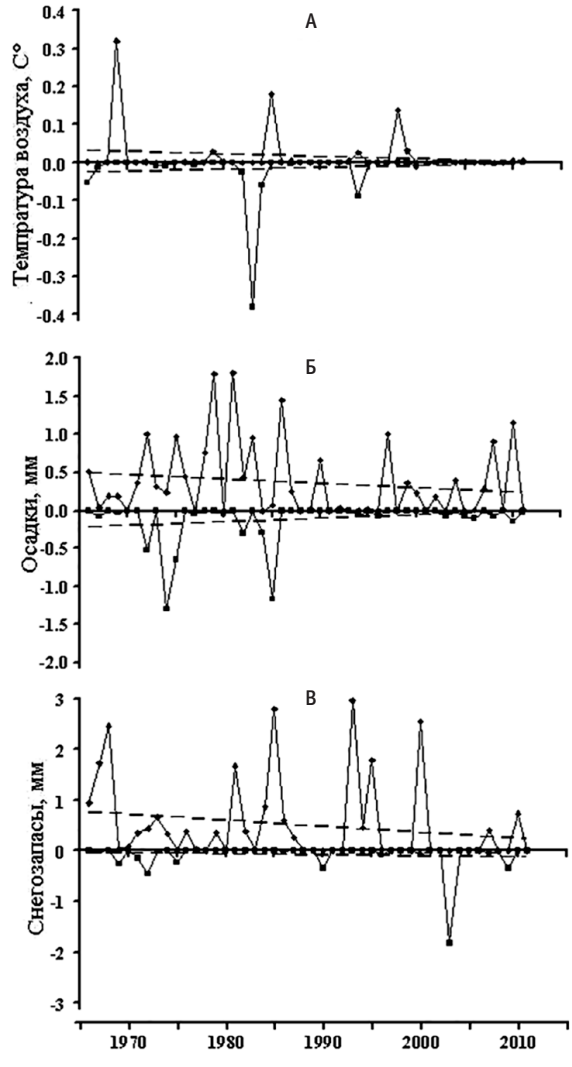


Рис. 3б. Многолетний ход значений приземной температуры воздуха (А), осадков (Б) и снегозапасов (В) выходящих за пределы двойной сигмы в положительной (1) и отрицательной областях (2) с их линейными трендами (пунктир)

приведенные в качестве иллюстраций, подготовлены путем интерполяции с разрешением 1° × 1°; погрешность интерполяции можно приблизительно оценить по годовым значениям ошибки: для приземной температуры воздуха в –0,49°С при стандартном отклонении 2,14, для осадков 37 мм при стандартном отклонении 103 мм [Жильцова, Анисимов 2009], для снегозапасов – 10 мм [Кислов и др., 2001].

РЕГИОНАЛЬНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Среднемноголетняя величина февральских снегозапасов для региона составляет 92 мм при осадках 142 мм и приземной температуре воздуха –8,7°С; стандартное отклонение соответственно 13,7 мм, 10,8 мм и 1,7°С. Пространственное распределение значений (рис. 1) соответствует зональным закономерностям в диапазонах для снегозапасов 68–112 мм, для осадков 108–167 мм, для приземной температуры воздуха –13,2–5,4°С.

Небольшое, но значимое многолетнее увеличение снегозапасов характерно для бассейнов рек Кама и Урал; также небольшое, но значимое уменьшение – для бассейнов Дона и средней Волги (рис. 2В), что сообразуется со значимыми в бассейн средней Волги положительными тенденциями приземной температуры воздуха (рис. 2А). Коэффициенты линейных трендов для осадков в целом малы и в большинстве незначимы, но конфигурация их пространственного распределения (рис. 2Б) сходна с распределением снегозапасов.

Многолетние, средние для региона, тенденции изменений для всех характеристик положи-

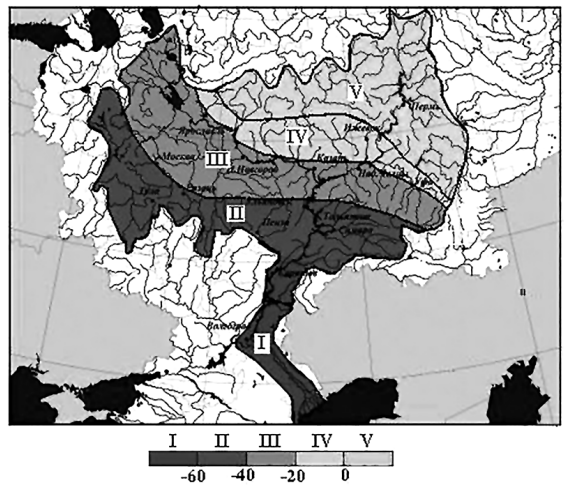


Рис. 4. Изменение максимальных расходов воды (%) рек центра Восточно-Европейской равнины за 1970–2005 гг. по сравнению с периодом 1935–1969 гг. [*Телегина и др., 2014*]

тельны, но незначимы для снегозапасов и осадков (рис. 3) – коэффициенты линейных трендов 1,65 и 2,80 мм/10 лет, и значима для приземной температуры воздуха при коэффициенте линейного тренда 0,46°С/10 лет.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЭКСТРЕМУМЫ МНОГОЛЕТНЕГО ХОДА

В качестве экстремумов рассматриваются значения, выходящие за пределы сигмы и превышающие двойную сигму в освобожденных от тренда выборках – для всех характеристик по всем метеорологическим станциям. При этом, распределение случаев превышения сигмы в области положительных и отрицательных значений оказалось почти симметричным, что свойственно выборкам с близким к нормальному распределением. В среднем по региону число положительных и отрицательных экстремумов составляет: для снегозапасов соответственно 7 и 7, для осадков 7 и 7, для приземной температуры воздуха 7 и 8. Для превышения двойной сигмы: для снегозапасов 2 и 1, для осадков 1 и 1, для приземной температуры воздуха 1 и 1.

Кроме общего количества случаев экстремумов, для анализа изменчивости характеристик представляет интерес динамика годовых суммарных или средних по региону значений величин экстремальных случаев. В данном случае для каждого года рассчитывалась средняя по станциям величина превышений от сигмы и от двойной сигмы в положительной и в отрицательной зонах – для снегозапасов, осадков и приземной температуры воздуха. И, таким образом, полученные значения могут иллюстрировать многолетний ход значений экстремальных величин (рис. 3а и 3б) и многолетнее соотношение положительных и отрицательных значений экстремумов.

Так, многолетние тренды величин экстремумов незначимы, но во всех случая наблюдается тенденция снижения величины положительных экстремумов и увеличения отрицательных. Вместе с тем, величина положительных экстремумов во всех случаях превышает величину значений отрицательных экстремумов. Для превышений сигмы отношение среднемноголетних величины положительных экстремумов к величине отрицательных составляет: для снегозапасов 1,5, для осадков 1,4, для приземной температуры воздуха 1,4. Для превышения двойной сигмы соотношение составляет 5,9 для снегозапасов, 3,4 для осадков и 1,1 для приземной температуры воздуха.

ИЗМЕНЕНИЯ СНЕГОЗАПАСОВ И ВОДНОГО РЕЖИМА

В ряде публикаций для Восточно-Европейской равнины отмечен рост водности рек в холодный сезон: объем стока увеличился с 1978 г. на 50–100% в сравнении с предшествующим многолетним периодом, а уровень подземных вод поднялся на 50–130 см [*Георгиевский, 2005; Шикломанов, Георгиевский, 2007*]. Для исследуемой территории, где максимальные снегозапасы в многолетнем аспекте меняются мало, увеличение объема стока и повышение уровня грунтовых вод в меженный период может быть связано с устойчивым многолетним повышением приземной температуры воздуха

(рис. 1), усиливающимся снеготаянием во время оттепелей с образованием склонового стока и пополнением грунтовых вод, чему также способствует показанная ранее значительная величина значений положительных экстремумов приземной температуры воздуха и осадков. В результате при увеличении меженного стока и объема подземной составляющей водного баланса зимой, весенний сток имеет тенденции к снижению (рис. 4).

ВЫВОДЫ

Уточнен характер изменчивости снегозапасов последних десятилетий: их средняя по региону величина продолжает оставаться практически стабильной на фоне слабых изменения зимних осадков и повышения приземной температуры воздуха. Значимое увеличение снегозапасов выявлено в бассейнах рек Кама и Урал, значимое уменьшение – в бассейнах Дона и средней Волги, что хорошо соотносится со значимыми в бассейн средней Волги положительными тенденциями приземной температуры воздуха.

Оценен характер экстремумов рассматриваемых характеристик – для величин, превышающих сигму и двойную сигму. Количество случаев экстремумов в положительной и отрицательной областях во всех случаях практически сходно. Выявлена динамика годовых средних по региону значений величин экстремальных случаев – получен многолетний ход значений экстремальных величин, рассчитано многолетнее соотношение положительных и отрицательных значений экстремумов. Так, многолетние тренды величин экстремумов незначимы, но для всех характеристик наблюдается тенденция снижения величины положительных экстремумов и увеличения отрицательных. Величина значений положительных экстремумов во всех случаях превышает величину значений отрицательных экстремумов.

Учитывая вышесказанное можно предположить, что отмечаемые в последние десятилетия увеличение меженного стока и повышение уровня грунтовых вод в зимний период при снижении объема весеннего половодья связаны с повышением средней приземной температуры воздуха и наличием положительных экстремумов всех характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Георгиевский В. Ю. Изменение стока рек России и водного баланса Каспийского моря под влиянием хозяйственной деятельности и глобального потепления. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. СПб: ГГИ, – 39 с.

Жильцова Е. Л., Анисимов О. А. О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальными климатическими архивами // Метеорология и гидрология, 2009. – № 10. – С. 79–89.

Кислов А.В., Китаев Л.М., Константинов И.С. Статистическая структура крупномасштабных особенностей поля снежного покрова // Метеорология и гидрология, 2001, – № 8. – С. 98-104.

Телегина А.А., Фролова Н.Л., Китаев Л.М., Титкова Т.Б. Оценка точности спутниковой информации о снегозапасах крупных водосборов европейской территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014, – № 2, – С. 38–49.

Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю. Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата. // Труды VI Всероссийского гидрологического съезда. М: – Метеоагентство Росгидромета, – С. 159–163.

VARIATION OF SNOW STORAGE AND MODERN RIVER FLOW OVER EAST EUROPEAN PLAIN

Kitaev L.M.[1], Frolova N.L.[2], Fathi M.O.[2], Efremova N.A.[3]

[1] Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2] Department of Geography of the M.V Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[3] Central Department of Russain hydrological and meteorological servuce, Moscow, Russia
lkitaev@mail.ru

ABSTRACT

Patterns of spatial and temporal variability of average and extreme snow storage are evaluated for conditions of modern air temperature and precipitation changes. Determine the role of these changes for features of flow formation in past decades.

ДЕТЕРМИНИРОВАННО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СТОК С ВОДОСБОРА РЕКИ НЕВЫ

Кондратьев С.А., Шмакова М.В.

Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург

kondratyev@limno.org.ru

Выполнена оценка параметров распределения стока с водосбора р. Невы и Ладожского озера на конец XXI века с учетом возможных изменений климатических параметров (осадков и температуры воздуха).

Целью настоящей работы является оценка параметров распределения стока с водосбора р. Невы и Ладожского озера на конец XXI века с учетом возможных изменений климатических параметров (осадков и температуры воздуха).

При решении задач, связанных с моделированием стока, одной из основных проблем, ограничивающих возможности калибровки и верификации модели и снижающих достоверность расчетов, является недостаток данных натурных наблюдений. В то же время для решения широкого круга прикладных задач, связанных с оценкой возможных изменений стока в результате климатических изменений и антропогенной нагрузки, требуется оценка не только средних значений искомых величин, но и параметров функций их распределения, позволяющих рассчитывать соответствующие обеспеченности превышения. Средством решения такого рода задач могут служить детерминировано-стохастические (ДС) модели, включающие блок генерирования продолжительных рядов метеорологических элементов (стохастическую модель погоды – СМП) в качестве входа в последующие детерминированные блоки модели. Схема ДС модели, построенной для решения задач, связанных с оценкой не только средних значений стока, но и параметров распределения, приведена на рис. 1.

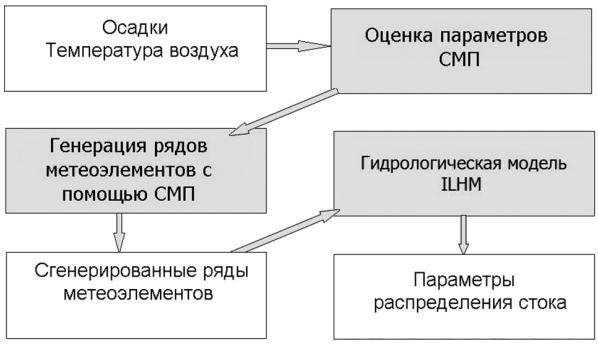


Рис. 1. Схема ДС модели стока

Кроме генератора рядов метеоэлементов в виде стохастической модели погоды, предложенная ДС модель включает гидрологическую модель формирования стока с водосбора. В данном случае это модель ILHM, описанная ниже. В рамках ДС моделирования решаются следующие задачи:

1. Оценка параметров СМП для наблюденных рядов метеорологических элементов (среднесуточная температура воздуха, суточные слои осадков).
2. Имитационное моделирование рядов метеорологических элементов продолжительной длины.
3. Пересчет суточных значений метеорологических элементов в среднемесячные значения.
4. Моделирование месячных (годовых) слоев стока по гидрологической модели, прошедшей верификацию в изучаемом регионе.
5. Оценка параметров распределения годовых значений стока (среднего значения, среднего квадратичного отклонения и значений различной обеспеченности превышения).

Итогом ДС моделирования в данном случае является кривая распределения годовых значений стока.

Стохастическая модель погоды – *СМП*. Для оценки возможных изменений параметров распределения гидрологических характеристик разработана и практически реализована стохастическая модель погоды [Шмакова, 2000]. Модель служит основой для ДС моделирования характеристик стока, обеспечивая поток метеорологической информации на вход различных математических моделей формирования стока. При моделировании используется гипотеза о функционально-нормальном законе распределения метеорологических величин, которая позволяет использовать хорошо разработанный для нормального закона распределения корреляционный аппарат. При разработке алгоритмов модели также использовалась гипотеза стационарности случайных процессов и однородности и изотропности случайных полей. Моделирование метеорологических элементов осуществляется для назначенных на водосборе расчетных точек или

Таблица 1. Рассчитанные и наблюденные элементы водного баланса бассейна р. Невы и Ладожского озера в створе д. Новосаратовка

	НАБЛЮДЕННЫЕ	РАССЧИТАННЫЕ ПО СМП (РЕАЛЬНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ)	РАССЧИТАННЫЕ ПО СМП НА 2100 ГОД (КЛИМАТИЧЕСКИЙ СЦЕНАРИЙ)
Осадки, мм/год	654	654	758
Испарение, мм/год		386	504
Сток, мм/год	271	269	254

для метеорологических станций. В случае несовпадения расчетных точек с метеостанциями, параметры СМП интерполируются по данным соседних метеостанций в расчетные точки.

Модель формирования стока – *ILHM*. Гидрологическая модель формирования стока с водосбора *ILHM* (Institute of Limnology Hydrological Model) разработана в Институте озероведения РАН [Кондратьев, 2007] и предназначена для расчетов гидрографов талого и дождевого стока с водосбора, а также уровня воды в водоеме. Модель имеет концептуальную основу и описывает процессы снегонакопления и снеготаяния, испарения и увлажнения почв зоны аэрации, формирования стока, а также регулирование стока водоемами в пределах однородного водосбора, характеристики которого принимаются постоянными для всей его площади. Модель может работать как с месячным шагом по времени, так и с годовым. В процессе моделирования водосбор представляется в виде однородной имитирующей емкости, накапливающей поступающую воду и затем постепенно ее отдающей. В модели предусмотрен расчет глубины водоема, принимающего сток с водосбора в результате решения уравнения водного баланса в предположении равенства значений испарения с водной поверхности и испаряемости. Модель прошла верификацию на ряде объектов, расположенных в северо-западном регионе России (водосборы рек Тигода, Лижма, Сяньга, Олонка, Сунна, Шуя, Оять, Сясь, Вуокса, Свирь, Великая, Нева) и Финляндии (водосборы рек Мустайоки и Харайоки) [Кондратьев, 2007].

Результаты ДС моделирования. На рис. 2 приведены рассчитанный по модели *ILHM* и наблюденный гидрографы стока для р. Невы – д. Новосаратовка за период с 2000 по 2010 гг. Метеорология, обеспечивающая вход в гидрологическую модель, получена как среднее арифметическое данных наблюдений трех метеостанций, расположенных на территории водосбора реки Невы – Сортавала, Петрозаводск и Тихвин. Среднее относительное отклонение между наблюденными и рассчитанными среднемесячными расходами воды составило 6% по отношению к наблюденным значениям, критерий Нэша-Сатклиффа – 77%.

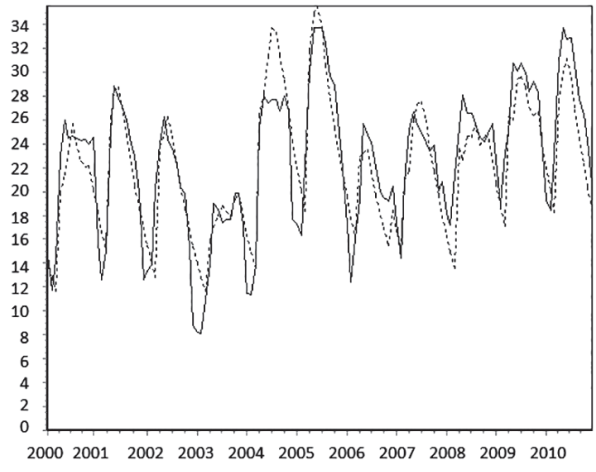


Рис. 2. Рассчитанные (- – -) и наблюденные (–––) среднемесячные слои стока, р. Нева – д. Новосаратовка за период с 2000 по 2010 гг.

Оценка параметров стохастической модели погоды [Шмакова, 2000] проведена по данным наблюдений метеорологических станций для периода с 1970 по 2010 годы. Эти параметры явились основой стохастического моделирования метеорологических рядов среднесуточной температуры воздуха и суточных слоев осадков. Параметры распределения наблюденного и рассчитанного годового стока р. Невы в створе д. Новосаратовка хорошо соотносятся между собой (табл.1), что дает основание использовать стохастическую модель погоды для оценки стока при реализации различных климатических сценариев.

По детерминированному сценарию климатических изменений на водосборе Ладожского озера [Голицын и др., 2002] в параметры модели погоды были внесены соответствующие изменения и сгенерированы ряды прогнозных значений среднесуточной температуры воздуха и суточных слоев осадков на 2100 год продолжительностью 100 лет. В табл. 2 приведены значения, на которые согласно используемому прогнозу [Голицын и др., 2002] изменятся среднемесячные значения температуры воздуха и месячные суммы осадков к концу 2100 года по отношению к значениям этих метеоэлементов в современных условиях на водосборе р. Невы и Ладожского озера.

Таблица 2. Изменения среднемесячной температуры воздуха и месячных сумм осадков к концу 2100 года по отношению к современным их значениям [Голицын и др., 2002]

МЕСЯЦ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Осадки, мм/мес	28,91	20,94	13,61	4,56	7,45	-7,47	-1,59	-9,62	1,51	-2,06	31,51	21,89
Температура воздуха, °С	5,06	6,73	5,84	5,27	2,47	2,36	2,89	3,51	3,56	5,36	5,51	6,27

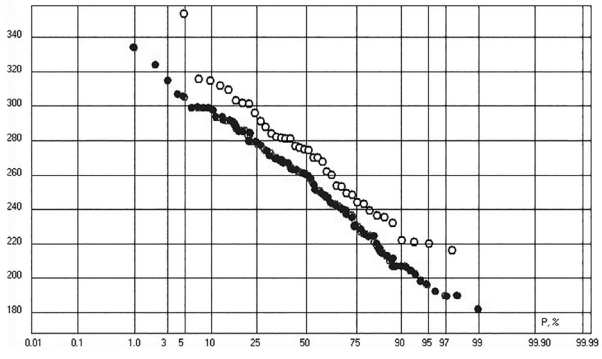


Рис. 3. Кривые распределения наблюденных (○) и рассчитанных (●) прогнозных годовых слоев стока для р. Невы – д. Новосаратовка

Сгенерированные с использованием данных табл. 2 ряды метеорологических элементов использовались в качестве входа в модель формирования стока. Результатом расчетов явились прогнозные среднемесячные значения расходов воды (или слоев стока) (см. табл. 1).

На рис. 3 представлены кривые распределения годовых слоев стока в современных условиях и в конце XXI века. Как видно из рисунка и из табл. 1, следует ожидать снижение стока ориентировочно на 6,3% по отношению к современному периоду согласно использованному климатическому сценарию. Рассчитанные средние значения годового стока составили 271 мм/год для 2010 г. и 254 мм/год для 2100 г.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что предложенный метод прогностической оценки изменений стока с крупного водосбора под воздействием климатических изменений позволяет рассчитать не только общую тенденцию изменения стоковых характеристик, но и оценивать параметры распределения стока в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Голицын Г.С., Ефимова Л.К., Мохов И.И., Семёнов В.В., Хон В.Ч. Изменения температуры и осадков в бассейне Ладожского озера по расчетам климатической модели общей циркуляции в XIX – XXI. // Известия РГО, 2002. – т. 134, вып.6. – С. 34 – 45.

Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. – СПб.: Наука, 2007. – 255 с.

Шмакова М.В. Стохастическая Модель Погоды в системе детерминированно – стохастического моделирования характеристик стока: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. к.т.н.: Спец. 11.00.07 / Гос. гидрол. ин-т. – СПб: 2000. – 25 с.

DETERMINISTIC AND STOCHASTIC EVALUATION OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON RUNOFF FROM THE NEVA RIVER CATCHMENT

Kondratyev S.A., Shmakova M.V.

Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Russia, kondratyev@limno.org.ru

ABSTRACT

Runoff distribution parameters of the Neva River and Lake Ladoga catchment at the end of the 21st century were estimated. Possible changes of climatic parameters (precipitation and temperature) were taken into account.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ВОДОСБОРАХ

Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бибикова Т.С., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Мельник К.С., Ясинский С.В.

Институт географии РАН, Москва

hydro-igras@yandex.ru

На примере бассейнов рек Москвы, Волги и Дона рассмотрена гидрологическая роль таких видов хозяйственной деятельности на водосборах, как обычное (неорошаемое) земледелие, осушительные мелиорации, лесное хозяйство, урбанизация территории. Приведен ориентировочный расчет изменения стока для мира в целом под влиянием неорошаемого земледелия и урбанизации.

ВВЕДЕНИЕ

Хозяйственная деятельность на водосборах (агротехнические и лесохозяйственные мероприятия, урбанизация территории и др.), не связанная с водозабором из рек и водоемов, часто оказывает существенное воздействие на годовой сток и водный режим рек. Однако она редко учитывается в гидрологических расчетах.

В числе основных видов хозяйственной деятельности на водосборах – обычное (неорошаемое) земледелие с осуществляемыми в нем агротехническими и агролесомелиоративными мероприятиями, урбанизация территории, лесное хозяйство, осушительные мелиорации. Им и уделено основное внимание в данной статье на ряде примеров (бассейны рр. Москвы, Волги, Дона, а также мир в целом). В принципе к хозяйственной деятельности на водосборах можно отнести и антропогенное воздействие на климат. Но этот вопрос требует особого внимания и здесь не рассматривается.

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ НА РЕЧНОЙ СТОК

Рассматриваемые виды хозяйственной деятельности на водосборах воздействуют на речной сток косвенно – через изменения микрорельефа, почв и их воднофизических свойств, биоты. Воздействие *земледелия* осуществляется главным образом через изменение инфильтрационной и водоудерживающей способности почв, микрорельефа, растительности, что приводит к изменению в первую очередь поверхностного стока, а затем подземного и, в конечном счете, годовых значений испарения и речного стока. Неорошаемое земледелие – один из наиболее древних способов преобразования природы. Поэтому многолетние гидрологические характеристики для многих районов мира включают в себя влияние этого вида хозяйственной деятельности. Данное обстоятельство послужило основанием для весьма распространенной точки зрения, что, если площадь пашни не меняется, можно не учитывать влияние неорошаемого земледелия на речной сток. Но при этом упускается из виду, что с течением времени гидрологическая роль сельского хозяйства существенно меняется. Так, в практике земледелия нашей страны немаловажное значение имела массовая замена в 1930-х гг. весенней вспашки под яровые культуры (когда весенний сток формируется в условиях уплотненной за осень и зиму почвы) зяблевой (осенней) пахотой, при которой в период весеннего снеготаяния почва находится в разрыхленном состоянии и обладает повышенными инфильтрационными свойствами. Меняется состав агротехнических мероприятий, количество и состав вносимых удобрений и т.д. В последние десятилетия, после распада СССР, можно констатировать снижение общего уровня агротехники, уменьшение площадей, занятых зяблевой пахотой.

При осушительных мелиорациях наиболее важную роль играет изменение уровня дренирования территории, а в лесном хозяйстве возраст и породный состав лесов, характеризующие биологическую продуктивность, которая, как и в случае с неорошаемым земледелием и осушительными мероприятиями во многом определяет величину стока и испарения. Главный гидрологический эффект урбанизации территории заключается в резком снижении инфильтрационных свойств подстилающей поверхности.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВЛИЯНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СТОК И ИСПАРЕНИЕ

Оценка гидрологической роли мероприятий неорошаемого земледелия на территории России осуществлялась на основе воднобалансового метода, изложенного в работе Н.И. Коронкевича [1990], основанного на анализе данных воднобалансовых станций. Для континентов земного шара выполнен ориентировочный расчет на основе данных А.Г. Булавко, Н.И. Логиновой [1976] и Л.И. Зубенок [1976]. Влияние осушительных мелиораций оценивалось по методике С.М. Новикова, Д.С. Гончаровой [1978]. Оценки влияния лесного хозяйства на сток и испарение осуществлены на основе некоторой модификации нами [Кашутина, Коронкевич, 2013] подхода О.И. Крестовского [1986]. В основу расчетов гидрологической роли урбанизации положен метод Н.И. Коронкевича, К.С. Мельника [2015].

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Бассейн реки Москвы. На основании данных о структуре ландшафтов и данных воднобалансовых станций, а также натурных наблюдений за стоком с урбанизированных площадей прослежена динамика речного стока и отдельных его составляющих за последние 150 лет. Наиболее существенно изменилась площадь урбанизированных территорий. Если в середине XIX века общая площадь урбанизированных территорий (города, сельские населенные пункты, дороги) занимала около 3% всей площади водосбора р. Москвы, то в начале XXI века – почти 20%, из которых треть приходится на долю г. Москвы. Площадь водонепроницаемых участков (крыши, дороги и др.) возросла за последние 150 лет с 0,3 до 6%, т.е. в 20 раз.

Если отнести произошедшие ландшафтно-обусловленные изменения стока к влиянию в основном урбанизации, то получается, что 1% увеличение урбанизированных площадей приводит к росту годового речного стока в среднем на 1%. В отношении водонепроницаемых площадей получается, что однопроцентное их увеличение способствует росту полного речного стока ориентировочно на 2–3%.

Бассейн Волги. Расчет изменения стока мероприятиями агротехники показал, что нарастание влияния этого фактора шло от практически нулевого в условно-естественный период до 2–3% от стока Волги в 1980-е гг., а затем снизилось до 1–1,5% после 1990-х гг.

Осушение земель также имело незначительное применение в условно естественный период, но в дальнейшем (на уровне 1980-х гг.) привело к увеличению речного стока до 0,5–1% на уровне 1980-х гг. Сейчас темпы осушительных мелиораций резко снизились, а многие ранее осушенные земли пришли в запустение.

Оценка влияния рубок леса и его восстановления на речной сток показала, что в условно-естественный период сток был повышенным из-за наличия в бассейне больших массивов перестойных лесов, испарение с которых было относительно невысоким. Последовавшие затем рубки леса и замена перестойных лесов более молодыми и продуктивными привели в целом к увеличению испарения и снижению стока. Этот процесс продолжается и сейчас, приводя к уменьшению стока Волги в среднем на 2%.

Урбанизация земель, напротив, способствует увеличению стока по сравнению с условно-естественным периодом на 1,5–2%. Сейчас площадь урбанизированных территорий в бассейне Волги реально превысила 2%, из которых 0,5–0,7% занимают водонепроницаемые участки.

Бассейн Дона. В бассейне Дона антропогенное воздействие осуществлялось на протяжении всех периодов. Это относится и к хозяйственной деятельности на водосборах. Наименьшим оно было в 1881–1930 гг. – в период, принятый за естественно-условный, причем влияние агротехники, в первую очередь зяблевой пахоты, которая занимала менее 10% общей площади и приводила к уменьшению стока, уравновешивалось воздействием на сток в сторону его увеличения быстро растущей площадью уплотненных поверхностей под населенными пунктами и дорогами. В дальнейшем и вплоть до начала 1990-х гг. влияние агротехнических мероприятий на водосборах на сток превышало влияние урбанизированных площадей, поскольку только площадь зяблевой пахоты достигла в бассейне Дона 40–50% общей площади водосбора. Сток же с нее в лесостепных районах в 1,5–2, а в степных в 2–4 раза ниже, чем с полей с уплотненной к началу весеннего половодья почвой. Под влиянием агротехники сток Дона снизился к середине 1980-х гг. более чем на 10% (в среднем на 3,3 км^3). Однако после 1990 г. в связи с кризисными явлениями в сельском хозяйстве влияние агротехники снизилось.

Воздействие на сток Дона урбанизированных площадей вначале отставало от темпов воздействия на сток агротехники, но в самые последние годы, когда их площадь превысила 3% (а по некоторым данным 4%), это воздействие превзошло воздейст-

вие агротехники, но с обратным знаком. Наибольшего воздействия на сток этот вид хозяйственной деятельности достиг в самые последние годы.

Мир. На примере бассейнов Волги и Дона показано, что различные виды хозяйственной деятельности на водосборах влияют на сток разнонаправленно и в значительной мере это влияние взаимокомпенсированно. Для территории России в целом и, тем более, мира этот вопрос нуждается в дальнейшем изучении. Приведем лишь некоторые предварительные расчеты гидрологической роли неорошаемого земледелия и урбанизации территории.

Для расчета водопотребления неорошаемым земледелием в мире использованы выявленные связи удельного водопотребления (мм/ц) с общей биологической продуктивностью земель и урожаем зерна [Булавко, Логинова, 1976; Зубенок, 1976]. Чем выше биологическая продуктивность и урожай зерна, тем более экономно используются ресурсы почвенной влаги, но общий расход воды (суммарное испарение) растет вплоть до достижения испаряемости. Рост урожайности практически всех возделываемых культур – очевидный факт. Если на уровне 1700 г. урожайность зерновых на неорошаемых землях составляла в мире немногим более 5 ц/га, то на уровне 1950 г. приблизилась к 13 ц/га, а к настоящему времени еще удвоилась, а в таких странах, как Великобритания, Франция, Германия превысила 70 ц/га. Если предположить, что вся площадь неорошаемой пашни и посевов на уровне 1950–1960 гг. занята зерновыми (пшеницей), то в результате роста урожайности к настоящему времени расход воды за вегетационный период возрастает на 400 км^3 – до 2600 км^3. Фактически же этот расход воды еще выше, учитывая увеличение площади неорошаемой пашни. Уже в 1985 г. она была равна 1256 млн. га. Соответствующий расход ресурсов почвенной влаги во всем мире составил 2980 км^3. Вместе с тем, следует иметь в виду, что рост пашни происходит за счет лесных площадей, лугов, других видов сельскохозяйственных земель, продуктивность которых нередко выше, чем урожайность культурных растений (с учетом их общей биомассы, включая корневую систему). В результате на площади, занимаемой пашней и посевами, в 1985 г. увеличение расхода воды по сравнению с 1950 г. составило в мире 235 км^3.

Если же сравнивать изменения расхода воды на площади, занятой современной пашней, с тем, который был на этой площади в естественных условиях, то он существенно снизился к 1985 г., а сток должен был возрасти во всем мире более чем на 3500 км^3/год. Вместе с тем пока еще не ясно, как на приведенные цифровые выкладки, а, следовательно, и на величину речного стока оказывает изменение испарения во вневегетационный период.

Допущение о неизменности состояния естественной растительности, конечно, достаточно условно, поскольку оно может существенно меняться под влиянием природных и антропогенных факторов, в результате сукцессий. Причем, имеют место диаметрально противоположные тенденции. Одна способствует снижению биологической продуктивности и уменьшению испарения, росту стока в результате растущего антропогенного пресса, другая – росту биологической продуктивности под влиянием мелиоративных мероприятий и омоложения лесов в результате их эксплуатации. Очевидно, что в различных регионах мира действуют обе эти тенденции, но какая из них преобладает, оценить пока весьма сложно.

Гораздо более очевидно увеличение стока в результате роста урбанизированных территорий. Детальный расчет, выполненный для бассейна р. Москвы, как уже отмечалось, показал, что 1% увеличение урбанизированных площадей приводит к такому же увеличению речного стока, а 1% рост водонепроницаемых участков – на 3–4%. Если исходить из этих величин и допустить, что площадь урбанизированных территорий в последние десятилетия возросла на 1%, то речной сток в мире возрос приблизительно на 400 км^3, т.е. на величину, соизмеримую с приведенной выше величиной изменения стока под влиянием неорошаемого земледелия, но противоположную по знаку. Конечно, эта величина нуждается в корректировке. С одной стороны, она может быть меньше за счет того, что урбанизированные территории располагаются не в зонах наибольшего стока. С другой стороны, значительная их часть расположена в районах с преобладанием осадков в теплое время года, когда гидрологический эффект урбанизации территории сказывается особенно сильно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрологическое воздействие отдельных видов хозяйственной деятельности на водосборах на сток и испарение может быть весьма существенным. Однако, оно часто взаимокомпенсируется. Очевидно, что гидрологическая роль этой деятельности требует для большинства районов мира дополнительных и весьма тщательных исследований, основанных в значительной мере на данных воднобалансовых станций.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты №№13-05-41437, 14-05-00761, 15-05-04207.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булавко А.Г., Логинова Н.И. Основы комплексной оценки динамики испарения сельскохозяйственных культур и интенсификации земледелия // Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 2. – Л., Гидрометеоиздат, 1976. – С. 337–344.

Зубенок Л.И. Испарение на континентах. – Л., Гидрометеоиздат, 1976. – 264 с.

Кашутина Е.А., Коронкевич Н.И. Влияние изменения состояния лесов европейской части России на годовой речной сток // Водные ресурсы, 2013. – Т. 40. – №4. – С. 339–349.

Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. – М., Наука, 1990. – 205 с.

Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Трансформация стока в бассейне реки Москвы и на территории города Москвы // Водные ресурсы, 2015. – Т. 42. – №2. – С. 133–143.

Крестовский О.И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 119 с.

Новиков С.М., Гончарова Ж.С. Прогноз изменений водных ресурсов крупных рек СССР под влиянием осушительных мелиораций // Труды ГГИ, 1978. – Вып. 255. – С. 54–68.

HYDROLOGICAL CONSEQUENCES OF ECONOMIC ACTIVITY ON CATCHMENT AREA

Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Bibikova T.S., Dolgov S.V., Zaitseva I.S., Kashutina E.A., Melnik K.S., Yasinsky S.V.

Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia, hydro-igras@yandex.ru

ABSTRACT

On the example of the Moscow, Volga and Don river basins the hydrological role of such types of economic activity, as the usual (not irrigated) agriculture, drying melioration, forestry, a territory urbanization is considered. Approximate calculation for the runoff change in the world in general under the influence of not irrigated agriculture and urbanization is given.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

Лавров С.А, Калюжный И.Л., Рошет Н.А.

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург

lavrov@ecopro.spb.ru

На основе результатов физического моделирования и полевых исследований дана оценка влияния гидрометеорологических факторов на формирование талого стока речных водосборов (снегозапасы, промерзание почв в зимний период, влажность почвы и др.). На примере рек бассейна Волги проанализированы тренды характеристик весеннего половодья.

Весеннее половодье является характерной особенностью равнинных рек России, в том числе и бассейна р. Волги. Оно обусловлено относительно быстрым таянием накопленного за зиму снега. При относительно небольшой продолжительности половодья сток за этот период составляет 50–70% годового, а в отдельных районах и больше. Поэтому приобретает особую важность исследование влияния климатических изменений на данную характеристику стока.

Все факторы, которые формируют сток в речном бассейне, делятся на две большие группы: на относительно постоянные, физико-географические, и переменные, из года в год изменяющиеся гидрометеорологические факторы. Не останавливаясь на первой из них, укажем, что переменными факторами являются запасы воды в снеге, атмосферные осадки, их количество и интенсивность выпадения, температура воздуха в приземном слое, теплообмен, определяющий интенсивность таяния снега и испарение, водопоглотительная способность бассейна. В конечном счете, эти факторы и определяют изменчивость стока и другие характеристики половодья.

Как показывают полученные нами ранее результаты [Калюжный, 1981], кроме климатических характеристик прямого действия, таких как осадки, значительное опосредованное влияние на сток (долговременное и кратковременное) оказывают водно-тепловой режим подстилающей поверхности и зоны аэрации. Климатические изменения оказывают непосредственное влияние на такие гидрофизические характеристики, как влажность и температура почв, глубина промерзания и водопоглотительная способность почв в весенний период, интенсивность снегонакопления и снеготаяния. Все эти процессы определяют физические закономерности формирования стока на водосборе.

Изменения весеннего стока на территории бассейна р. Волга имеют разнонаправленный характер. Весенний сток снизился в южной, юго-западной и центральной частях бассейна, а в восточной, северной и северо-восточной – увеличился. На се-

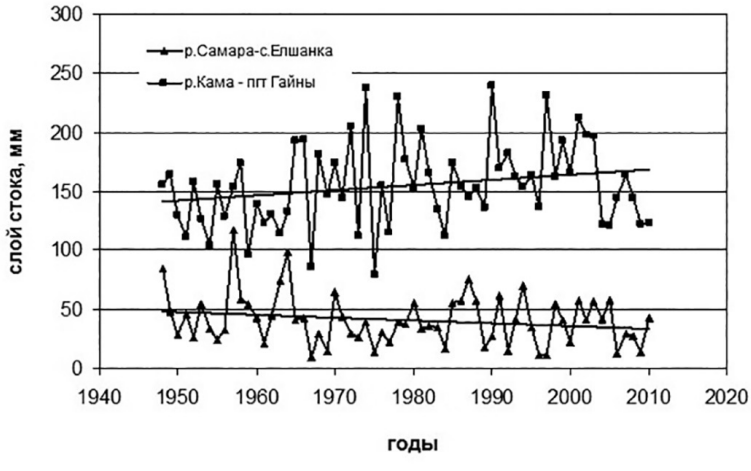


Рис. 1. Временной ход слоя стока весеннего половодья в бассейнах р. Самара и р. Кама

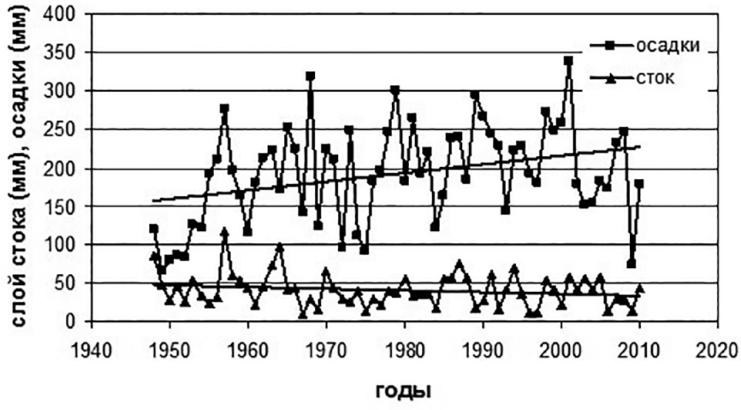


Рис. 2. Временной ход слоя стока весеннего половодья и осадков за холодный период года в бассейне р. Самара.

веро-западе бассейна изменения имеют разнонаправленный характер. На рис. 1 приведён пример такой разнонаправленности изменений весеннего стока в бассейне р. Волга.

Были исследованы аномалии основных характеристик стока рек за период 1978–2010 гг. по отношению к предшествующему периоду 1946–1977 гг. с оценкой их значимости по критерию Стьюдента. Установлено, что для большинства исследуемых рек бассейна р. Волга тренды объёма весеннего половодья не значимы.

Характер временной и пространственной изменчивости объема весеннего половодья для каждого конкретного бассейна определяется конкретной изменчивостью совокупности климатических и физических факторов формирования весеннего стока в рассматриваемом бассейне в результате климатических изменений.

Основным климатическим фактором, определяющим сток весеннего половодья, является величина атмосферных осадков, выпадающих в холодный период. Твёрдые осадки формируют запасы воды в снежном покрове речных водосборов. Как показывает анализ наблюдений, в бассейне реки Волга практически на всей территории наблюдается рост осадков в зимний период. Рост или уменьшение величины осадков в зимний период должны приводить к росту или падению стока весеннего половодья. Однако, как показывают результаты анализа совместных рядов весеннего стока и осадков в холодный период на примере водосбора р. Самара (рис. 2), наклон трендов данных характеристик противоположен.

В данном конкретном случае значительную роль в падении стока весеннего половодья в последние десятилетия играют такие факторы, как рост количества оттепелей и уменьшение глубины промерзания почв в зимний сезон. Первый фактор приводит к уменьшению запасов воды в снежном покрове, а второй – к росту инфильтрационной способности почв в весенний период, которые в общем итоге и компенсируют рост величины осадков в зимний период. Дополнительный анализ структуры осадков в зимний период также показал, что доля твёрдых осадков для юга бассейна Волги уменьшается, а жидких растёт. Данный фактор также приводит к снижению стока весеннего половодья в низовьях Волги.

Необходимо отметить, что доля наибольших запасов воды в снеге, по отношению к осадкам зимнего периода составляет в среднем от 40 до 70%. Однако ежегодные изменения доли запасов воды в снеге существенно варьируют. В южных районах бассейна они изменяются от 0 до 90%. В северных районах диапазон изменения уже составляет от 50 до 90%. Кроме оттепелей, свой вклад в уменьшение запасов влаги в снежном покрове вносит и испарение с поверхности снежного покрова, которое может достигать 30–50 мм за зимний период.

Анализ данных наблюдений за максимальными снегозапасами показал, что в период 1978–2012 гг. по сравнению с периодом 1966–1977 гг. на 63% станций в бассейне Волги запасы воды в снежном покрове увеличились, на 36% – уменьшились. Увеличение составило от 0,17 до 138%, уменьшение – от 0,3 до 62%. В среднем, рост снегозапасов наблюдается в северных районах бассейна Волги. В бассейне Камы и в низовьях Волги существуют разнонаправленные тенденции.

При формировании стока весеннего половодья значительная роль принадлежит осадкам, выпавшим в период снеготаяния. Количество выпавших осадков во время снеготаяния изменяется в широких пределах. Так, в бассейне р. Вятка они изменялись в диапазоне от 4 до 150 мм, в среднем – 36 мм. Весной 1974 г. они составили 150 мм при запасе воды в снеге 180 мм.

Таблица 1. Временная изменчивость факторов, обуславливающих изменение талого стока р. Медвенка – выше устья р. Закзы, по данным наблюдений с 1947 по 2009 г.

Фактор	Период наблюдений, годы					
	1947–1959	1960–1969	1970–1979	1980–1989	1990–1999	2000–2009
Глубина промерзания, см	54	42	40	23	20	21
Потери талого стока, мм	57	75	71	87	90	106
Приращение влагозапасов в мёрзлой зоне, мм	40	42	35	25	–	–
Коэффициент талого стока	0,63	0,50	0,51	0,47	0,46	0,39

Выпавшие за период снеготаяния осадки существенно увеличивают сток весеннего половодья. При учёте данного фактора коэффициент корреляции зависимости объёма талого стока от запасов воды в снеге плюс осадки периода снеготаяния (1) значительно повышается, по сравнению с зависимостью стока половодья только от запасов воды в снежном покрове

$$y = (S + x)\ k, \qquad (1)$$

где y – сток весеннего половодья; S – запасы воды в снежном покрове в предвесенний период; x – осадки за период половодья, k – коэффициент стока.

Так, например, для р. Вятки (г. Вятские Поляны) коэффициент корреляции повышается с 0,5 до 0,75, а для р. Поломети (п. Яжелбицы) – с 0,55 до 0,85.

Существенным климатическим фактором, влияющим на процесс формирования весеннего половодья, также является температура воздуха приземного слоя атмосферы. Влияние температуры воздуха на процесс формирования талого стока осуществляется путем понижения температуры почвы, что приводит к образованию мерзлого слоя, изменяет степень водопроницаемости верхнего горизонта почвы. Воздействуют на снежный покров, обуславливая время его существования, количество оттепелей, интенсивность снеготаяния и испарения со снега, что определяет продолжительность как снеготаяния, так и весеннего половодья.

Анализ процесса формирования талого стока показывает, что прямую зависимость слоя талого стока от температурного режима почвы, глубины промерзания, выявить достаточно трудно. Эта зависимость косвенная, так как одним из важнейших факторов формирования талого стока является аккумулированная в мёрзлом слое почвы влага. С ростом температуры воздуха уменьшается промерзание почвы и влагонакопление в верхних горизонтах почвы в процессе морозной миграции [Калюжный, 2012]. Это, в конечном итоге, приводит к росту потерь талого стока на инфильтрацию и уменьшению талого стока. В таблице 1 приведены средние за десятилетние периоды значения факторов, обуславливающие временную изменчивость талого стока, иллюстрирующие данные положения для характеристик весеннего половодья р. Медвенка – выше устья р. Закзы (Подмосковная водобалансовая станция).

Для более детального анализа влияния физических факторов, которые обуславливают изменчивость весеннего половодья при климатических изменениях, нами была использована физико-математическая модель тепло-влагопереноса в промерзающих почвах [Калюжный, 2012]. Модель позволяет учесть весь спектр физических свойств почв, а также природное многообразие гидрометеорологические условий, от которых зависят вышеназванные процессы. На основе использования данной модели были проведены специальные численные эксперименты по расчету интенсивности впитывания талой влаги при различных гидрометеорологических условиях и свойствах почвенного покрова. В результате обобщения полученных кривых впитывания было подобрано аппроксимационное выражение для расчета стока, аналогичное (1). При этом коэффициент стока зависит от влажности верхнего 20-ти сантиметрового слоя почвы (W, долей объема) и суммы среднесуточных температур в зимний период ($|\sum T|$).

$$k = к1 \cdot W + к2 \cdot (|\sum T|) - к3 \cdot S - к4$$

Коэффициенты *к1–к4* зависят от физических свойств почвенного покрова и физикогеографических условий на водосборе. Было показано, что наибольшее влияние на величину коэффициента талого стока оказывает влажность почвы, вторым по значимости фактором является температура воздуха в зимний период. Величина снегозапасов оказывает косвенное влияние на коэффициент стока как фактор, изменяющий теплопотоки из атмосферы в почву.

Потепление климата также обуславливает изменение продолжительности весеннего половодья. Как показывает анализ наблюдений, продолжительность весеннего половодья растёт практически повсеместно во всех частях бассейна Волги. В свою очередь, это приводит к возможному росту величины осадков за период половодья и росту стока весеннего половодья, а как отмечалось выше, запасы воды в снеге и осадки за период половодья являются главными факторами, влияющими на изменчивость весеннего половодья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Георгиевский В.Ю. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР/ В.Ю. Георгиевский и др.// Метеорология и гидрология, 1996. – №11. – С.89–99.

Калюжный И.Л., Лавров С.А. Гидрофизические процессы на водосборе. – Санкт-Петербург: Нестор-История, 2012. – 616 с.

Калюжный И.Л., Павлова К.К. Формирование потерь талого стока. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 159 с.

PARAMETERS OF TURBULENCE CHARACTERISTIC IN OPEN CHANNEL

Kalyuzhny I.L., Lavrov S.A., Roshet N.A.

The State Hydrological Institute, St.-Petersburg, Russia, lavrov@ecopro.spb.ru

ABSTRACT

On the basis of results of physical modeling and field researches the assessment of influence of hydrometeorological factors on formation of a thawed drain of river reservoirs is given (snow cover water equivalents, frost penetration in soils during the winter period, humidity of the soil, etc.). On the example of the rivers of the basin of Volga trends of characteristics of a spring high water.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В УСЛОВИЯХ ИХ ВРЕМЕННОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ

Лобанова А.Г., Гуревич Е.В., Георгиевский Д.В., Грек Е.А., Молчанова Т.Г., Шалашина Т.Л.

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург

Lobanovaantonina@mail.ru

Многолетняя динамика гидрологических наблюдений показывает, что в последние годы происходят значимые изменения отдельных гидрологических характеристик в сторону как увеличения, например, минимального стока, так и уменьшения максимальных значений стока весеннего половодья. Изменение условий формирования речного стока происходит как под влиянием хозяйственной деятельности на водосборах, так и вследствие изменения климатической составляющей.

Необходимым условием объективной статистической обработки гидрологических рядов для получения расчетных значений стока является анализ стационарности временных рядов. При достаточном обосновании для оптимального определения расчетных гидрологических характеристик возможно применение составных кривых обеспеченности, усеченных кривых обеспеченности, "суммы распределений", которые наилучшим образом позволят описать нестационарные последовательности.

Практика использования аналитических кривых распределения (биноминальная кривая, кривая распределения М.Ф. Менкеля и С.Н. Крицкого) убедительно говорит о вполне удовлетворительной сходимости с эмпирическими стоковыми данными в подавляющем большинстве случаев. При определении расчетных параметров распределения стоковых характеристик в естественном режиме тем не менее наблюдаются отдельные исключения, в том числе и распределения весеннего стока некоторых рек степной и полупустынной зоны, которые следует рассматривать в каждом случае отдельно. Вследствие многофакторности большинства параметров гидрологического режима отделить причины, нарушающие состояние неоднородности ряда наблюдений, от факторов, формирующих гидрологический ряд как совокупность случайных переменных, часто не представляется возможным. Так, наибольший в году расход может формироваться под действием большого числа факторов: снежный покров, дождевые паводки, которые можно разделить на составляющие; а иногда их действие одновременно [Рождественский, 1974; Методические рекомендации, 2010].

Если подходить к стоковым рядам с точки зрения их анализа методами теории вероятностей, то становится совершенно ясно, что случаи несоответствия эмпирических и аналитических кривых распределения, применяемых в гидрологии, следует объяснять не несовершенством аналитических кривых обеспеченностей, а невыполнением условий, которые накладываются на последовательность наблюдений при их статистической обработке. Эти условия заключается в том, что члены последовательности наблюдений должны быть однородны и независимы.

Многолетняя динамика гидрологических наблюдений показывает, что в последние годы, начиняя с 1970-х годов, происходят значимые изменение отдельных гидрологических характеристик в сторону как увеличения, например, минимального стока, так и уменьшения максимальных значений стока весеннего половодья. При этом средний многолетний годовой сток остается практически постоянным. Таким образом, происходит внутригодовое перераспределение стока рек. В качестве основной причины, влияющей на такие изменения, предполагается влияние на сток климатической составляющей. Так, в монографии [Водные ресурсы, 2008], отмечается, что с 1979-х годов отмечается четкий тренд повышения глобальной температуры воздуха. Для ряда рек, особенно некоторых районов ЕТР, установлено повышение минимального стока как за летнюю, так и за зимнюю межень; в то же время произошло уменьшение максимального стока весеннего половодья, изменений же годового стока практически не наблюдается. В монографии [Водные ресурсы, 2008] отмечается, каким образом влияет климатический фактор на внутригодовое распределение: в результате повышения температуры воздуха холодного периода участились зимние оттепели, а промерзаемость почв стала меньше. В результате вырос меженный зимний сток и уменьшился сток весеннего половодья некоторых, особенно с небольшой площадью водос-

бора, рек. В то же время не отмечается систематических изменений в годовом стоке.

В связи с этим возникает задача определения влияния глобального потепления на различные характеристики речного стока, с дальнейшим определение расчетных параметров по неоднородным рядам наблюдений. Формальное использование аналитических кривых распределения может привести в определенных случаях как к завышенным, так и к заниженным значениям расчетного значения стока редкой повторяемости.

Встает вопрос, каким образом использовать в расчетах разнородную по условиям формирования (под влиянием изменения климата) информацию. Возможно ли считать, что изменение гидрологических характеристик в результате влияния климата привело к новому квазистационарному (однородному) режиму, и в дальнейших расчетах пренебречь данными наблюдений за стоком за предыдущий период до влияния новой климатической составляющей, или же использовать в расчетах весь имеющийся период наблюдений?

Необходимым условием объективной статистической обработки гидрологических рядов для получения расчетных значений стока является анализ однородности временных рядов. Важно выделить при анализе рядов однородные совокупности и установить причину возникающей неоднородности.

В случае достаточной длины исходного ряда резкий перелом при построении кривой обеспеченности, начиная с некоторого значения стока, может служить статистическим обоснованием для расчета общей кривой обеспеченности по двум кривым обеспеченности, относящимся к однородным совокупностям.

В настоящее время нет достаточного обоснования, не учитывать при расчетах какую-то одну из однородных совокупностей, так как имеющаяся в настоящее время гидрологическая информация не имеет достаточной длительности. В гидрологических рядах имеются всегда циклические колебания, объяснимые погодными условиями.

Разделение разнородных, подверженных влиянию климата гидрологических характеристик, на относительно однородные совокупности, с целью дальнейшего использования аналитической обобщенной кривой распределения, носит условный характер, зависит от площади водосбора, его гидрографических характеристик.

Разнородную совокупность значений гидрологической характеристики стока можно рассматривать как сумму двух однородных распределений и в дальнейшем осуществлять расчеты по так называемым составным кривым распределения.

Изменение многолетних колебаний речного стока под влиянием новой климатической составляющей наиболее выражены за последний период наблюдений, начиная с 1970-1980 годов.

Эти изменения отразились на меженном стоке рек как за зимний, так и за летний периоды. В основном происходило увеличение минимальных расходов воды для отдельных регионов. В то же время наблюдается уменьшение максимальных расходов воды, особенно для ЕТР, при этом изменения годового стока остаются в рамках естественной изменчивости.

Анализ динамики многолетних изменений минимального 30-суточного и суточного зимнего и летне-осеннего стока рек показал неоднозначную картину трендов этих характеристик на европейской и азиатской территориях России. На европейской территории России отмечаются линейные восходящие тренды минимального стока рек за весь период наблюдений с заметным ростом минимальных расходов воды зимнего и летне-осеннего сезонов в период с 1975 годов до середины 1990-х – начала 2000-х годов. При расчете значений минимального стока обеспеченностью от 50 до 95%, рассчитанных за последний период наблюдений, подверженный влиянию новой климатической составляющей, получаем завышенные значения стока, по сравнению с составной кривой обеспеченности. Для минимального 30-суточного летнего стока относительные отклонения в среднем составляют 30% и для зимнего – 67%, суточного летнего стока – 42% и зимнего – 46%.

Анализ изменения максимальных расходов воды показал, что на ряде рек ЕТР происходит уменьшение максимального стока за последний период, вероятно, связанный с изменением климата. При расчете максимального стока обеспеченностью от 1 до 25% только по последнему периоду, подверженному влиянию новой климатической составляющей, имеем заниженные расчетные значения от 25 до 50%.

Годовой сток рек является более устойчивой гидрологической характеристикой, чем максимальный и минимальный сток. В результате произошедших изменений сезонного стока на преобладающей части территории России годовой сток в последние десятилетия не изменился существенно. Происходящие изменения находятся в пределах естественной изменчивости. Так, на некоторых реках, на фоне повышения минимального летнего и зимнего стока рек и понижения максимального стока весеннего половодья, среднегодовой сток практически не меняется.

Таким образом, в настоящее время, при расчетах параметров и значений стока заданных обеспе-

ченностей основных гидрологических характеристик нет достаточного основания учитывать одну из однородных совокупностей, так как это может привести в определенных случаях как к завышенным, так и к заниженным расчетным значениям стока редкой повторяемости.

Многочисленные примеры показывают, что расчет аналитических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения (кривых обеспеченности) возможен при применении составных (суммарных) кривых обеспеченности, рассчитанных по двум однородным совокупностям рядов наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Водные ресурсы России и их использование, под ред. И.А. Шикломанова. – СПб, 2008. – 598 с.

Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным. – С-Пб, Нестор-История, 2010.г. – 162 с.

Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Гидрометеоиздат, 1974. – 424 с.

FEATURES OF BASIC HYDROLOGICAL PARAMETERS' ESTIMATION UNDER THE CONDITIONS OF ITS TIME NONSTATIONARITY

Lobanova A.G., Gurevich E.V., Georgievskiy D.V., Grek E.A., Molchanova T.G., Shalashina T.L.

State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia, Lobanovaantonina@mail.ru

ABSTRACT

Long-term dynamics of hydrological observations demonstrates that in recent years there have been significant changes in the individual hydrological characteristics regarding to both their increasing, for example, the minimum flow, and decreasing of the spring flood runoff's maximum values. Changes in river flow formation occur because of anthropogenic activities and climate change.

A necessary condition of objective statistical hydrological data processing required for obtaining the correct calculated runoff values are stationary time series analysis and application of compound frequency curves, truncated frequency curves, "distribution of sums" that allow in the best way to describe the non-stationary sequences for engineering-hydrological calculations.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКА ОБЪЕМА ВЕСЕННИХ ПОЛОВОДИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ПО ВОДОМЕРНОМУ ПОСТУ АРЕНИ РЕКИ АРПА

Маргарян В.Г.

Ереванский государственный университет. Географический и геологический факультет. Кафедра физической географии и гидрометеорологии. Ереван, Армения

vmargaryan@ysu.am

В работе исследованы, выявлены и оценены закономерности временного распределения стока весеннего половодья в замыкающем створе реки Арпа (р. Арпа – п. Арени).

Республика Армения (РА) как страна с сухими климатическими условиями подвержена на всей территории страны изменению климата. По оценке Всемирного банка, в регионе Европы и Центральной Азии Армения наиболее чувствительная страна к изменениям климата.

Республика Армения – маловодная страна (среднее годовое значение водных ресурсов на душу населения составляет 2,5 тыс. м^3). В республике чувствуется большой недостаток питьевой воды, а также необходимой воды для орошения, энергетики и коммунально-бытовых нужд, который увеличивается с каждым годом. К этому добавляется также неравномерное пространственное и временное распределение водных ресурсов республики. Реки Армении, в том числе и Арпа, по характеру внутригодового распределения стока в основном относятся к рекам с весенним и весенне-летним половодьем. Последнее является одной из основных фаз режима рек, поскольку за это время проходит около 60-65% общего объема стока за год. Таким образом, наблюдается несоответствие между имеющимися запасами водных ресурсов и их потребностью, что и создает неблагоприятные условия для удовлетворения потребности всех видов водопотребителей.

Следовательно, чрезвычайно важно изучение и оценка величин объема весеннего половодья, особенно в условиях изменения климата. Цель работы – выявить и оценить особенности формирования стока весеннего половодья в замыкающем створе реки Арпа (р. Арпа – п. Арени), а также особенности изменения стока в условиях изменения климата.

Для достижения этой цели были собраны, обработаны и оценены гидрологические и метеорологические элементы изучаемого речного бассейна; проанализированы и оценены особенности колебаний объема весеннего половодья реки Арпа в створе п. Арени; оценены и спрогнозированы изменения объема весеннего половодья при глобальном изменении климата.

В бассейне р. Арпа гидрологические и метеорологические исследования проводятся, начиная с 30-х гг. XX века. В качестве исходного материала использованы ежедневные данные наблюдений за расходом воды р. Арпа – п. Арени, атмосферными осадками и температурой воздуха на метеорологических станциях Арени и Джермук [[Гидрография …, 1981; Гидрологический ежегодник (ГЕ), 1936–1977; Государственный водный …, 1987; Ежегодные данные …, 1978–2002; Методические указания …,1981; Ресурсы поверхностных …, 1973; Margaryan, 2011a]. Для решения этих задач теоретической и информационной основой является исследование [Margaryan, 2011б; Маргарян, 2014; Методические указания …, 1981; Шагинян, 1981].

Важными метеорологическими факторами формирования объема весеннего половодья являются температура воздуха и атмосферные осадки. В формировании объема весеннего половодья велика роль осадков, выпавших в виде снега. Характер таяния снега весной обуславливает также величину и срок прохождения максимального стока.

Река Арпа является левым притоком р. Аракс. Длина реки – 128 км, площадь водосбора 2630 км^2 (на территории РА – 92 км и 2080 км^2 соответственно). Воды реки используются с целью орошения и в гидроэнергетических целях. Значительная часть ее вод по туннелю Воротан-Арпа-Севан (120–150 млн м^3) втекает в оз. Севан. Средний многолетний расход воды у п. Арени равен 13,1 м^3/с

За время весеннего половодья в изучаемом створе (р. Арпа – п. Арени) в среднем проходит около 60–65% годового стока(табл. 1). Средний объем весеннего половодья – 274 млн м^3. Половодье сменяется летне-осенней и зимней меженью, за время которой проходят остальные 35–40% стока.

Условия формирования половодья от года к году изменяются в зависимости от метеорологических факторов. Так, при дружном развитии синоптических процессов, обусловливающих значительное повышение температуры воздуха, происходит таяние

Таблица 1. Распределение стока по сезонам года р. Арпа – п. Арени

I–III	IV–VI	VII–IX	X–XII	ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ IV–IX	СРЕДНИЙ ГОДОВОЙ СТОК
Объем стока, млн м^3					
59,5	244,1	41,4	57,3	285,5	402
Доля годового стока, %					
15	61	10	14	71	100

Таблица 2. Средние и экстремальные величины характеристик весеннего половодья на р. Арпа – п. Арени

ВЕСЕННЕЕ ПОЛОВОДЬЕ						МАКСИМАЛЬНЫЙ РАСХОД			
СРЕДНЯЯ ДАТА НАЧАЛА (ДЕНЬ, МЕСЯЦ)		ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ, ДЕНЬ		СЛОЙ СТОКА		СРЕДНИЙ		АБСОЛЮТНЫЙ	
начало	конец	подъема половодья	спад половодья	мм	% от годового	м^3/с	(день, месяц)	м^3/с	(день, месяц, год)
20.03	29.06	49	52	146	65	109	09.05	199	18.04.1988

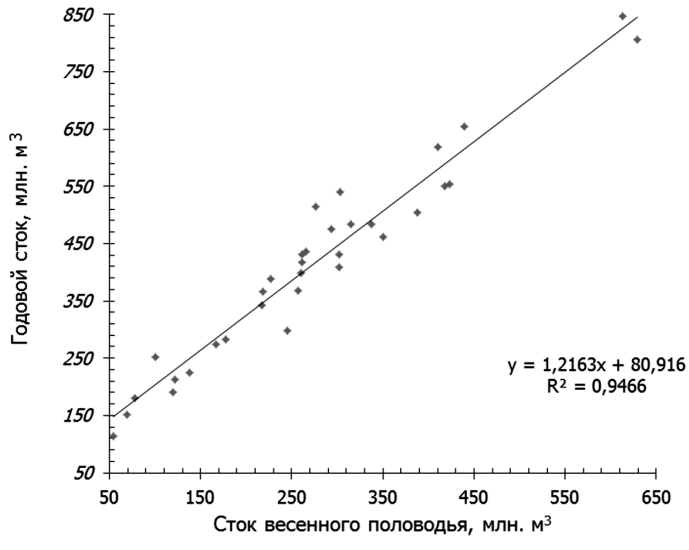


Рис. 1. Корреляционая связь между стоком годового весеннего половодья и годовым стоком

запасов снега одновременно в нескольких высотных зонах и на сравнительно больших площадях. В этих случаях половодье обычно протекает бурно, отличается высоким подъемом уровня воды и проходит в более или менее короткие периоды времени, имея, как правило, одну волну с резко выраженным интенсивным подъемом и более плавным спадом. При затяжной весне со слабым развитием синоптических процессов сход снежного покрова происходит медленно, талые воды в русла рек поступают с перебоями, создаются условия для потерь талой воды, что обусловливает низкое растянутое половодье с несколькими волнами [Шагинян, 1981].

Весеннее половодье имеет вид хорошо выраженной волны, сформированной талыми снегами, дождевыми и подземными водами. Подъем проходит интенсивно и сопровождается отдельными значительными пиками. Продолжительность периода подъема половодья в изучаемом створе в среднем составляет 49 дней. Спад половодья, в результате выпадения дождей и притока подземных вод, характеризуется наличием длинного шлейфа. Спад половодья более продолжительный, растянутый и происходит очень медленно и плавно. Продолжительность периода спада половодья в среднем составляет 52 дня (табл. 2).

Весеннее половодье обычно заканчивается в конце июня – середине июля. Средняя продолжительность половодья – 101 день (колеблется в пределах 2,5–4,0 месяцев).

На территории Республики Армения годовая водность рек бассейна Аракс тесно связана со сто-

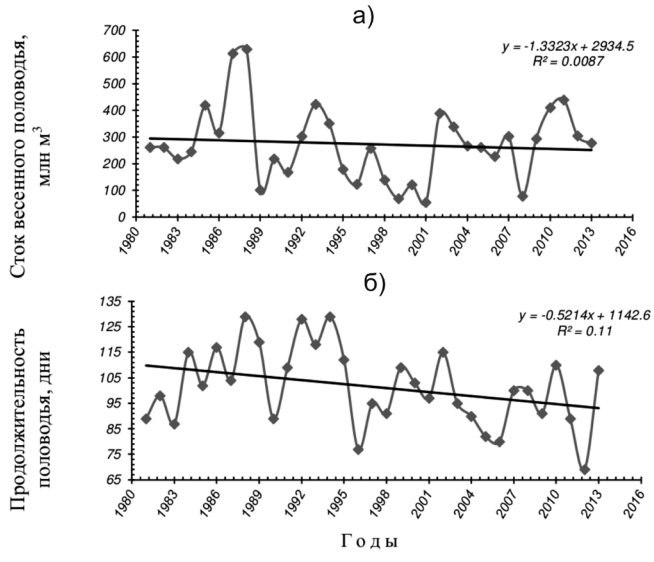


Рис. 2. Линейные тренды в зависимостях стока весеннего половодья (а) и его продолжительности (б)

Таблица 3. Средние многолетние фактические значения объемов стока весеннего половодья и их измененные величины в контексте глобального потепления климата, где $\sum X_{XI-III}$ – количество осадков на метеостанции Джермук за период ноябрь – март, t_{IV} – средняя температура воздуха за апрель

УРАВНЕНИЕ	СЦЕНАРИЙ	ОБЪЕМ СТОКА, МЛН М^3	ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ ОБЪЕМА СТОКА	
			МЛН М^3	%
$W = 1{,}08\sum X_{XI-III} - 24{,}2\, t_{IV} + 4{,}54$	норма	274	0	0
	$t + 1{,}5;\ 0{,}9X$	199	-75	-27
	$t + 2{,}0;\ 1{,}1X$	260	-14	-5
	$t + 2{,}0;\ 0{,}85X$	168	-106	-39

ком весеннего половодья. Это характерно и для изучаемого створа реки Арпа (рис. 1).

На изучаемой территории максимальные расходы воды преимущественно проходят в период весеннего половодья. Наибольший максимальный расход, наблюдавшийся 18 апреля 1988 г. в створе п. Арени, составил 199 м^3/с, а до строительства Кечутского водохранилища 12 мая 1960 г. по реке прошло 280 м^3/с воды.

В результате исследований выявлено, что в замыкающем створе Арпы существует тенденция уменьшения максимальных расходов воды, объема весеннего половодья и его продолжительности (рис. 2).

С целью оценки воздействия климата на выше указанные изменения рассмотрена также динамика изменения атмосферных осадков и температуры воздуха. Выяснилось, что на указанных выше метеорологических станциях за обсуждаемый период преимущественно наблюдается тенденция роста температуры воздуха и количества осадков.

Прогноз изменений объема стока весеннего половодья рассчитывался по трем сценариям:

1) $t + 1{,}5;\quad X - 0{,}1X;$

2) $t + 2{,}0;\quad X + 0{,}1X;$

3) $t + 2{,}0;\quad X - 0{,}15X,$

где t и X – современные оценки температуры и осадков.

Для получения прогнозных характеристик стока использована эмпирическая зависимость объема стока половодья от осадков холодного периода и температуры апреля (табл.3).

Как следует из таблицы 3, для разных сценариев наблюдается различная степень изменения стока. При этом, минимальные изменения стока наблюдаются в случае второго сценария, максимальные – в случае третьего сценария.

Отметим, что изменение стока оценивалось только на основе фактических данных метеостанции Джермук, расположенной в верхнем течении реки Арпа.

В результате анализа данных наблюдений за температурой воздуха на метеостанции Джермук выяснилось, что имеется тенденция повышения температуры, особенно в зимний период. Это же относится и к количеству осадков в эти месяцы ($\sum X_{XI-III}$).

Отсюда следует, что на рассматриваемой территории наиболее реалистичным является 2-ой сценарий изменения климата. Это значит, что при сохранении имеющейся тенденции изменения климата, в замыкающем створе р. Арпа к концу века ожидается понижение стока весеннего половодья в среднем на 3–10% по сравнению с его нормой за 1981–2013 гг.

В изучаемом речном створе понижение стока – результат как изменения климата, так и деятельности человека. Следовательно, необходимо запланировать, разработать и осуществить соответствующие мероприятия и программы по смягчению и адаптации водного хозяйства к последствиям изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гидрография Армянской ССР. – Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1981. – 177 с. (на армянском яз.)

Гидрологический ежегодник. 1936–1977 гг.

Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том XIII, Армянская ССР. – Л., Гидрометеоиздат, 1987. – 304 с.

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод и суши. 1978-2002 гг.

Margaryan V.G. Spring Floods Capacity and Peak Discharge Forecasting of Arpa River at the Areni Observation Post. In: Our Water – Our Life – The Most Valuable Resource. – Proceedings of the 64th CWRA National Conference, St. John's, Canada, 2011a. – P. 257.

Маргарян В.Г. Закономерности пространственно-временного распределения стока р. Арпа во время многоводного периода. – В кн.: Изменения климата и риски стихийных бедствий в горных районах. Материалы Международной конференции "Mountain Hazards 2011", Душанбе, Таджикистан, 2011б. – С. 32.

Маргарян В.Г. Проблемы использования и охраны водных ресурсов в регионе Вайоц Дзор. – В кн.: –. КАЗАНТИП-ЭКО-2014. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения: сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции, Харьков, июнь 2014 г. В 2 т. Т. 2 / ГП "УкрНТЦ "Энергосталь". – Х.: НТМТ, 2014. – С. 251–258.

Методические указания по ведению Государственного водного кадастра. Раздел 1, Поверхностные воды, вып. 4, составление и подготовка к печати изданий серии 3. Многолетние данные. Часть 1, Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 80 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 9, бассейн р. Аракса, вып. 2, /Под ред. А.П. Муранова. – М. Гидрометеоиздат, 1973. – 472 с.

Шагинян М.В. Основные закономерности формирования элементов стока рек Армянской ССР и методика их прогнозирования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 176 с.

DYNAMICS OF CHANGES AND EVALUATION OF VOLUME SPRING FLOODS OF ARPA RIVER AT THE GOUGE STATION ARENI IN A CHANGING CLIMATE

Margaryan V.

Yerevan State University, Yerevan, Armenia, vmargaryan@ysu.am

ABSTRACT

The paper investigated, identified and assessed temporal distribution patterns of spring flood runoff on the gauge station Areni on the Arpa River.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ВЫСОТУ ПАВОДКА 2013 ГОДА В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ АМУР

Махинов А.Н., Ким В.И.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск,

amakhinov@mail.ru

Дается характеристика основных гидротехнических сооружений на берегах, в пойме и русле на участке нижнего течения реки Амур. Рассматривается их влияние на высоту, продолжительность, скорость подъема уровней воды с учетом особенностей геоморфологического строения и современной направленности развития долины Амура. Наибольшее влияние на высоту паводка оказали сужения пойм у мостовых переходов вблизи Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре. Оно проявилось по-разному в зависимости от расположения данных сооружений относительно городов.

Наиболее значительные гидротехнические сооружения в нижнем течении Амура, оказывающие влияние на гидрологический режим и русловые процессы реки, в основном расположены в окрестностях гг. Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре. Последствия их строительства рассматривались в ряде работ [Махинов и др., 2011, Ким, Махинов, 2005].

В районе Хабаровска такими объектами являются:

1. Переливные дамбы в истоках второстепенных проток Пемзенская и Бешеная.
2. Глухая насыпь железнодорожной магистрали Москва-Владивосток, пересекающая пойму на всю ее ширину в районе моста через р. Амур.
3. Польдер на острове Большой Уссурийский.
4. Берегозащитные сооружения на левом берегу р. Амур между истоками проток Пемзенская и Бешеная, на правом берегу р. Амур в районе пос. Уссурийский, в протоках Амурская (в черте города) и Казакевичева.

В районе г. Комсомольск-на-Амуре к наиболее значимым гидротехническим сооружениям относятся:

1. Глухая насыпь железной дороги Комсомольск-на-Амуре – Советская Гавань, расположенная на пойме р. Амур.
2. Польдер на острове Широхонда.
3. Набережная г. Комсомольск-на-Амуре.

Сужения русла р. Амур в районах мостовых переходов (Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре) являются наиболее существенным фактором повышенного уровня воды в окрестностях этих городов во время крупных паводков. Длина мостового перехода у Хабаровска составляет 3890,5 м, у Комсомольска-на-Амуре – 1435,3 м. Ширина потока при прохождении экстремального паводка в районе г. Хабаровска сократилась в 2,8 раза, а в районе г. Комсомольска-на-Амуре – почти в 4 раза. Железнодорожная насыпь Транссибирской магистрали в районе Хабаровска, проходящая по пойме Амура, не имеет отверстий для стока воды. Перекрыв всю пойму, она создала подпор, который способствовал дополнительному подъему воды в районе города. Этот антропогенный фактор обусловил увеличение уровня воды в черте города примерно на 50–60 см [Махинов, 2014, Махинов и др., 2014].

В Комсомольске-на-Амуре мост расположен выше города, и он не создал условия для подпора воды в пределах городской территории. Однако высокий подъем воды был обусловлен накоплением водных масс перед мостом и последующим их быстрым сбросом, о чем свидетельствует особенно большой суточный подъем воды в этом городе, составившем за двое суток (с 18 по 20 августа) 65 см.

Исключительно высокие уровни реки Амур в районе г. Комсомольск-на-Амуре были обусловлены строительством моста с полным перекрытием левобережной поймы, вследствие чего создались условия для значительного подпора выше города при высоких расходах воды. Вторым важным фактором является особенность геоморфологического строения долины Амура на этом участке. Сразу ниже моста долина реки резко сужается и мощный поток, проходящий под мостом с высокой скоростью, привел к значительному заполнению долины непосредственно ниже моста.

Некоторую роль в чрезмерно высоком уровне воды в районе Хабаровска сыграл польдер площадью около 61 кв. км, расположенный на острове Большой Уссурийский, а также противопаводковые дамбы на китайском берегу в районе г. Фуюань, расположенного в 60 км выше по течению от

г. Хабаровск. Подъем уровня воды за счет влияния данного фактора в целом невелик, но он проявился на локальных участках непосредственно ниже данных сооружений. Так, например, при прорыве дамбы у г. Фуюань, в районе Хабаровска наблюдалось ежесуточное снижение скоростей подъема уровней воды на 5–7 см в течение пяти дней. Следовательно, выведение значительных участков поймы из режима затопления, оказывает заметное влияние на уровень паводков в реке, что необходимо учитывать при решении задач по защите земель и хозяйственных объектов в пойме Амура.

Берегозащитные дамбы, сооруженные на российском берегу, вследствие незначительной протяженности сыграли незначительную роль в повышении уровней воды в р. Амур. Результаты проведенных обследований протоки Пемзенская показали, что в районе полузапруды в результате паводка произошел довольно значительный размыв правого берега.

Кроме антропогенного фактора на высоту паводка в нижнем течении Амура оказали особенности динамического состояния русла, обусловленные особенностями геоморфологического развития долины. В нижнем течении на протяжении более 1200 км от места впадения в нее р. Сунгари до устья Амур характеризуется длительным положительным балансом стока наносов. Это явление получило название направленная аккумуляция наносов [Махинов и др., 1994].

В соответствии с общим значительным накоплением наносов в днище долины Амура в ее нижнем течении дно реки, пойма, уровень озер, высотные отметки паводков одинаковой обеспеченности становятся выше относительно окружающей местности – подножий склонов долины или примыкающих к пойме реки древних аккумулятивных равнин. Вследствие эффекта направленной аккумуляции затапливалась не только пойма, но и обширные территории за ее пределами. Ширина потока достигала местами 50 км. При этом следует учитывать, что осадконакопление в пределах поймы идет неравномерно. На осередках и низких островах за один паводок обычно накапливается слой наносов толщиной в 30–40 см, а местами происходит даже размыв пойменных отложений. В паводок 2013 г. максимальная толща отложений в прирусловой части поймы составила около одного метра.

Наиболее надежные количественные данные о скорости повышения поверхности дна долины, полученные на основе расчетов по данным измерений стока наносов на постах наблюдений Росгидромета в Хабаровске, Комсомольске-на-Амуре и Богородском, имеются для участка реки Амур в пределах Среднеамурской низменности. Расчеты показывают, что, по сравнению с крупным наводнением 1897 года, в паводок 2013 года уровень воды на этом отрезке реки при равных расходах располагался на 20 см выше. Это дополнительное повышение уровней воды пришлось на территорию, на которой расположены наиболее крупные населенные пункты в долине нижнего течения реки Амур – Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре.

В результате подпора воды выше мостовых переходов в руслах и на поймах рек активизировались аккумулятивные процессы, вызвавшие увеличение размеров и быстрое смещение существовавших и вновь образованных кос (протоки Пемзенская, Бешеная, Старый Амур и др.). В районе г. Комсомольск-на-Амуре у приверха острова, расположенного напротив центральной части города, образовались две довольно крупные песчаные косы, которые будут иметь тенденции к дальнейшему росту.

Таким образом, наряду с природными факторами определенную роль в высоком подъеме воды во время паводка 2013 г. на некоторых участках Амура сыграла хозяйственная деятельность – протяженные берегозащитные дамбы, польдеры, мосты, другие линейные сооружения в долине Амура, а также лесоразработки и пожары в бассейнах рек. В то же время, мощный поток с высокими скоростями течения воздействовал на гидротехнические сооружения и в некоторых случаях привел к их частичному разрушению или создал угрозу для их устойчивости при последующих паводках. В некоторых местах берегозащитные дамбы в окрестностях Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре, выполненные в виде каменных набросок, под воздействием паводка были подвержены размыву, в результате чего возросла угроза их разрушения в будущем. Особенно в опасном состоянии находятся полузапруды в истоках проток Пемзенская и Бешеная. Тела полузапруд деформированы и их центральные части сместились вниз по течению на десятки метров.

Для снижения пиковых уровней воды при прохождении паводков низкой обеспеченности необходимо проектирование и строительство водопропускных дюкеров в телах железнодорожных насыпей, пересекающих пойму Амура в районе Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре. Для этого следует провести предварительные исследования по расчету пропускной способности дюкеров и устойчивости насыпей при пропуске паводковых вод. Необходимым также представляется сохранение паводкорегулирующей роли поймы Амура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ким В.И., Махинов А.Н. Гидрологический режим р. Амур в пределах Хабаровского водного узла //Материалы научной конференции "Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов". – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2005. – С. 92–94.

Махинов А.Н. Основные факторы формирования катастрофических наводнений в бассейне реки Амур в 2013 году //Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: БПИ ДВО РАН, 2014. – Вып. 6. – С. 435–442.

Махинов А.Н., Ким В.И., Воронов Б.А. Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия // Вестник ДВО РАН, 2014. – №2. – С. 5–14.

Махинов А.Н., Ким В.И., Чалов Р.С., Чернов А.В. Изменение русловых процессов реки Амур в районе Хабаровска в результате строительства полузапруд в протоках Пемзенская и Бешеная //Сборник докладов конференции с международным участием "Регионы нового освоения: ресурсный потенциал и инновационные пути его использования", 19–22 сент. 2011 г., Хабаровск: [Электронный ресурс] – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. – С. 56–58.

Махинов А.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Направленная аккумуляция наносов и морфология русла Нижнего Амура //Геоморфология, 1994. – №3. – С. 70–78.

ASSESSMENT OF HYDRAULIC STRUCTURES IN FLOOD HEIGHT 2013 IN DOWNSTREAM AMUR

Mahinov A.N., Kim V.I.

Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia, amakhinov@mail.ru

ABSTRACT

The characteristic of the main hydro-technical utilities on the banks, in the floodplain and stream of the Lower Amur River is given. The influence of the utilities on the height, duration and rate of water levels rise in view of the geomorphological features and modern trends of development of the Amur River valley. The height of the flood level is greatly influenced by narrowing floodplains near bridges in the vicinity of Khabarovsk and Komsomolsk-on-Amur. It depends on the location of the facilities in relations to the cities by different ways.

ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕЛЬТАХ КАК ИНДИКАТОРЫ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЖИМА РЕК И МОРЕЙ

Михайлова М.В.[1], Михайлов В.Н.[2]

[1] Институт водных проблем РАН, Москва

mv.mikhailova@gmail.com

[2] Московский государственный университет, Москва

Рассмотрены закономерности и методы анализа, расчета и прогноза воздействия многолетних изменений стока воды и наносов рек и морского режима на гидролого-морфологические процессы в речных дельтах. Показано, что эти процессы не только являются следствием изменения режима рек и морей, но и могут служить их эффективными индикаторами.

Речные дельты – уникальные географические объекты, обладающие богатыми природными ресурсами, широко используемыми различными отраслями хозяйства.

Главные природные особенности этих объектов обусловлены их положением между речными бассейнами и приемными водоемами (океанами, морями, озерами). Эта особенность дельт, в свою очередь, предопределяет, во-первых, сильную зависимость природного облика дельт и происходящих здесь специфических гидролого-морфологических дельтовых процессов (совокупности изменения строения и гидрологического режима дельт) от внешних речных и морских факторов, во-вторых, значительную изменчивость строения и режима дельт, в-третьих, их большую экологическую уязвимость.

Речные дельты быстро и чутко реагируют на естественные и антропогенные изменения режима рек и морей. Уже давно подмечено, что речные дельты наиболее активно выдвигаются в моря в более холодные и влажные климатические периоды и замедляют это выдвижение или даже размываются волнением и отступают в более теплые и сухие. Известно также, что в прошлом дельты многих рек Европы заметно выдвинулись в море из-за увеличения стока наносов рек в результате усилившейся эрозии в своих бассейнах, вызванной вырубкой лесов и распашкой земель.

Начиная с середины XX в. отмечено почти повсеместное изменение строения и режима дельт. Активизировались процессы размыва морского края дельт, затопления дельт, деградации их ландшафта. Практически не осталось дельт, активно выдвигающихся в море.

В докладе на обширном материале по дельтам рек мира, собранных авторами, исследуются основные закономерности совместного влияния естественных и антропогенных многолетних изменений речного стока и морских факторов на строение и режим речных дельт. В этих исследованиях широко используются полученные при участии авторов уникальные данные о недавних изменениях дельт рек, впадающих в Каспийское море [Устья рек…, 2013].

ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА РЕК И МОРЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДЕЛЬТЫ

Основное воздействие на строение и режим дельт оказывают многолетние изменения стока воды и наносов рек и среднего уровня морей.

Согласно [Dai et al., 2009; IPCC…, 2013], в современных условиях на изменения водного стока рек мира влияют как обусловленные потеплением климата разнонаправленные изменения атмосферных осадков в разных районах, так и крупномасштабный забор воды на орошение в засушливых районах. Положительные тренды в изменениях водного стока рек в 1948–2004 гг. отмечены в высоких широтах (например у сибирских рек), а отрицательные – в средних и низких широтах. Из 200 самых крупных рек, впадающих в океаны и связанные с ними моря, только у 19 рек (9,5%) выявлено статистически значимое увеличение водного стока, а у 45 рек (22,5%) – уменьшение. У остальных 136 рек статистически значимые тренды в изменениях водного стока не обнаружены [Dai et al., 2009]. По данным [IPCC…, 2013], выявленные в XX в. тенденции в изменениях водного стока рек мира сохранятся и в XXI в. Согласно прогнозам ГГИ и ГГО, в XXI в. водный сток сибирских рек будет продолжать увеличиваться, а южных рек (Дона, Кубани и, возможно, Волги) немного уменьшится.

Многолетние изменения водного стока рек (вне зависимости от их причин) оказывают на речные дельты заметное воздействие, подтвержденное наблюдениями и гидравлическими расчетами [Михайлов, Михайлова, 2013]. Уменьшение водного стока реки (более частый случай) ведет к уменьшению

обводнения дельты, усилению проникновения в ее рукава подпора со стороны моря, приливных и нагонных волн, интрузии морских осолоненных вод, к перераспределению стока в более глубокие рукава. Увеличение водного стока реки приводит к изменению режима дельт противоположного характера.

Более существенны произошедшие в последние полвека изменения стока наносов рек. По данным [Walling, Fang, 2003], из 145 крупных рек мира у 68 рек (46,9%) обнаружено заметное уменьшение стока взвешенных наносов и лишь у 7 рек (4,8%) – увеличение; у 70 рек заметных изменений стока наносов не выявлено. Согласно [Syvitski et al., 2005], главная причина уменьшения стока наносов рек мира – отложение наносов в водохранилищах, где задерживается 26% стока наносов (20% – в крупных водохранилищах, еще 6% – в многочисленных малых). По оценкам авторов доклада, сток наносов Волги, Дона, Дуная, Куры, Енисея, Миссисипи, Колумбии сократился в 1,5–3 раза, Кубани, Сулака, Тибра – в 8–10 раз, Колорадо, Нила, Эбро – в 125, 240 и 245 раз соответственно. Установлено, что степень уменьшения стока наносов в устье любой реки тем больше, чем больше объем водохранилища и чем ближе к морю оно находится.

Уменьшение стока наносов рек – одна из основных причин, нарушающих баланс наносов в устьях рек и приводящая к размыву их морского края, что в ряде случаев усугубляется повышением уровня моря, просадкой грунта и усилением морского волнения. Если уменьшение стока наносов рек замедляет выдвижение дельт в моря или вызывает их отступание, то более редкие случаи возрастания стока наносов приводят к ускорению выдвижения дельт.

Происходящие в последнее столетие изменения морского режима более разнообразны. Прежде всего, это эвстатическое повышение уровня Мирового океана и связанных с ним морей. Согласно [IPCC..., 2013], с 1900 по 2010 г. средний уровень океана в основном в результате таяния покровных ледников и теплового расширения морской воды повысился почти на 20 см. По прогнозам, к концу XXI в. уровень океана по разным сценариям может повыситься на 0,3–0,8 м [IPCC..., 2013], а по некоторым расчетам – и на 1 м и более. В береговых зонах, включая дельты, рост уровня моря часто усугубляется сильной просадкой грунта, обусловленной как естественным уплотнением молодых рыхлых морских и дельтовых отложений, так и антропогенными факторами (например откачкой нефти, газа, пресных подземных вод).

Как показывают наблюдения, проведенные с участием авторов в устьях рек, впадающих в Каспий, а также гидравлические расчеты [Устья рек..., 2013; Михайлов, Михайлова, 2013], повышение уровня моря оказывает существенное воздействие на дельты. К нему относятся: затопление части низменной приморской зоны дельты; проникновение в рукава подпора; усиление распространения в рукава дельты приливов и нагонов, а также осолоненных морских вод; рассредоточение стока по пространству дельты с увеличением доли стока в малых рукавах; осолонение поверхностных и подземных вод; деградация дельтового ландшафта и водно-болотных угодий.

Об опасности затопления дельт, вызываемого повышением уровня моря, говорится в ряде зарубежных публикаций, однако, другие последствия повышения уровня моря, о которых сказано выше, в зарубежной литературе практически не рассматриваются.

Помимо повышения уровня моря на речные дельты во второй половине XX в. заметное воздействие стали оказывать еще два фактора [IPCC..., 2013]: вызванное потеплением климата смягчение ледового режима Северного Ледовитого океана (уменьшение площади, занятой к концу лета морскими льдами); активизация как внетропических, так и тропических циклонов (ураганов и тайфунов) и увеличение частоты и силы, обусловленных ими штормовых нагонов. Обе эти причины приводят и будут приводить в XXI в. к усилению воздействия волнения на морские берега, в том числе и дельтовые.

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ДЕЛЬТЫ СТОКА НАНОСОВ РЕК И ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ МОРЕЙ

Выявление закономерностей совместного воздействия стока наносов рек и изменения уровня морей на строение и режим дельт приобретает особую актуальность в настоящее время в связи с ожидаемыми в XXI в. дальнейшим антропогенным сокращением стока взвешенных и влекомых наносов рек W_R и повышением среднего уровня океанов и морей $\Delta H_м$. С целью изучения упомянутой проблемы авторами на основе использования уравнения баланса наносов в устье реки [Михайлова, 2006, Михайлов, Михайлова, 2013; Устья рек..., 2013] разработаны приемы расчета изменения строения дельт для трех случаев: стабильного ($\Delta H_м \sim 0$), повышающегося ($\Delta H_м > 0$) и понижающегося ($\Delta H_м < 0$) уровня моря.

В первом случае выдвижение дельты в море зависит в основном от стока наносов реки, глубины взморья и воздействия волнения. Во втором случае главную роль играет соотношение между интегральным за период повышения уровня моря стоком дельтоформирующих наносов $W_{д.н}$ и объе-

мом подпорной призмы $W_{п.п}$ на поверхности дельты, обусловленной повышением уровня моря. Величина $\Sigma W_{д.н}$ выражается в объемных единицах и вычисляется по данным о W_R с учетом коэффициента k (доли дельтоформирующих наносов в стоке взвешенных и влекомых наносов реки), равного от 0,2 до 0,5, и плотности дельтовых отложений, обычно составляющей от 1100 до 1300 кг/м^3. Объем $W_{п.п}$ определяют по формуле $W_{п.п} = 0{,}5\ \Delta H_м\ F_{зат}$, где $F_{зат}$ – площадь потенциального затопления дельты при повышении уровня моря на $\Delta H_м$ (для малых дельт множитель 0,5 не нужен). При соотношении $\Sigma W_{д.н} < W_{п.п}$ дельта при повышении уровня моря полностью или частично затопляется, при $\Sigma W_{д.н} > W_{п.п}$ дельта, несмотря на повышение уровня моря, продолжает выдвигаться в море. Изложенный метод анализа проверен авторами по данным о частичном затоплении дельт Урала, Сулака и Куры в период повышения уровня Каспийского моря на 2,35 м в 1978–1995 гг. [Устья рек…, 2013].

В условиях значительного повышения уровня моря и небольшого стока наносов рек после их зарегулирования водохранилищами в рассматриваемый период упомянутые дельты в результате затопления существенно уменьшили свою площадь: дельта Урала с 522 до 350 км^2 (на 172 км^2, или 33%), дельта Сулака с 70,6 до 45,1 км^2 (на 25,5 км^2, или 36%), дельта Куры с 189 до 111 км^2 (на 78 км^2, или 41%).

Процесс постепенного затопления упомянутых дельт хорошо отражают эмпирические обратные связи между площадями дельт F и уровнем Каспия $H_м$ вида $F = -aH_м + b$ с высокими абсолютными значениями коэффициентов корреляции (не менее –0,95). Эти же зависимости оказались применимы и для периода понижения уровня Каспия после 1995 г.

Процессы затопления упомянутых дельт могут служить аналогами при оценке реакции дельт рек мира с небольшим стоком наносов на ожидаемое в XXI в. повышение уровня Мирового океана и связанных с ним морей. Дельта Волги, как установлено в [Устья рек…, 2013], таким аналогом быть не может. Причина – аномальное сопряжение Волги и Каспия, обусловленное существованием обширного и очень мелководного устьевого взморья.

Подпор от поднявшегося на 2,35 м уровня Каспия постепенно распространился вдоль Урала, Сулака и Куры в межень приблизительно на 240, 40 и 130 км соответственно. Эти расстояния обратны величинам уклонов водной поверхности в реках до начала подъема уровня моря.

Характерный результат совместного воздействия разного по величине стока наносов рек и одинакового повышения среднего уровня моря – это развитие Новой дельты Сулака и Новой дельты Терека. Эти две небольшие дельтовые лопасти сформировались после искусственного вывода вод Сулака и Терека соответственно в 1957 и 1978 гг. по прорезям в Средний Каспий.

За 1978–1995 гг., когда уровень моря повысился на 2,25 м, площадь Новой дельты Сулака в результате затопления морем и волнового размыва сократилась с 7,4 до 2,4 км^2. Новая дельта Терека в это же время продолжала выдвигаться в море и увеличила свою площадь с 1,4 до 4,8 км^2.

Чтобы объяснить различия в развитии обеих дельт, авторы рассчитали и сравнили объемы подпорных призм $W_{п.п}$ и интегрального стока дельтоформирующих наносов за 1978–1995 гг. $\Sigma W_{д.н}$. В итоге для Новой дельты Сулака величина $\Sigma W_{д.н}$ оказалась заметно меньше объема $W_{п.п}$, а для Новой дельты Терека величина $\Sigma W_{д.н}$ оказалась намного больше объема $W_{п.п}$. Это и объясняет различия в изменениях обеих дельт. Особенности процессов в Новой дельте Терека могут служить аналогами возможных в будущем изменений в дельтах других незарегулированных рек мира с большим стоком наносов.

При анализе динамики дельт в третьем случае (при понижении уровня моря) важное значение приобретает расчленение величины реального выдвижения дельты в море ΔL или ΔF на две составляющие – активное, обусловленное отложением речных наносов, и пассивное, вызванное обнажением части дна взморья, легко рассчитываемое по данным о его рельефе. Для расчета величин активного выдвижения дельт рек, впадающих в Каспийское море в периоды падения его уровня, авторы применяли два метода. При первом из реальной величины выдвижения дельты, определенной путем сравнения топографических карт или космических снимков, вычитали рассчитанную величину пассивного выдвижения. При втором использовали представленные в графической или аналитической форме связи вида $\Delta F / \Delta t = a\Delta H_м / \Delta t + b$. Равенству $\Delta H_м / \Delta t = 0$ соответствует величина активного выдвижения дельты.

С целью анализа совместного воздействия на развитие дельт сокращения стока наносов реки и морских факторов авторы разработали специальный метод. Он заключается в построении по данным наблюдений графической зависимости вида $\pm\Delta F / \Delta t = aW_R + b$. Здесь $\pm\Delta F / \Delta t$ – среднегодовая интенсивность результирующего изменения площади дельты (разности между площадью ее выдвижения и площадью отступания), W_R – среднегодовая величина стока взвешенных и влекомых наносов реки. Приравнивая $\Delta F / \Delta t$ к 0, можно получить приближенную критическую величину стока наносов ре-

ки, при котором общее выдвижение дельты в море сменится ее общим отступанием. Применение этого подхода позволило определить критические величины W_R и установить, что для дельт многих рек мира к настоящему времени фактический сток наносов уменьшился ниже критического и дельты сменили выдвижение на отступание.

Таким образом, в докладе рассмотрены основные закономерности реакции речных дельт на крупномасштабные изменения внешних речных и морских факторов. При известных (прогнозируемых) изменениях этих факторов (прежде всего стока наносов рек и уровня моря) ожидаемые гидролого-морфологические процессы в дельтах также могут быть предсказаны. В то же время, эти процессы в дельтах, зафиксированные во время полевых наблюдений или с помощью космических снимков, могут стать эффективными индикаторами воздействующих на них изменений речных и морских факторов. Такой подход актуален, например, при оценке изменений режима неизученных рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Михайлов В.Н., Михайлова М.В. Физические основы гидрологических и морфологических процессов в речных дельтах // Вестник РФФИ, 2013. – №2 (78). – С. 26–33.

Михайлова М.В. Баланс наносов в устьях рек и формирование дельт при повышении и понижении уровня моря // Водные ресурсы, 2006. – Том 33. – №5. – С. 567-579.

Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления / Под ред. В.Н. Михайлова. – М.: ГЕОС, 2013. – 703 с.

Dai A., Qian T.T., Trenberth K.E., Milliman J.D. Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004 // Journal of Climate, 2009. – Vol. 22. – P. 2773–2792.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1535 p.

Syvitski P.M., Vörösmarty C.J., Kettner A.J., Green P. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean // Science, 2005. – Vol. 308. – P. 376–380.

Walling D.E., Fang D.. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers // Global and Planetary Change, 2003. – Vol. 39. – №1. – P. 111–126.

HYDROLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PROCESSES IN DELTAS AS INDICATORS OF LONG-TERM CHANGES IN REGIME OF RIVERS AND SEAS

Mikhailova M.V.[1], Mikhailov V.N.[2]

[1] Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, mv.mikhailova@gmail.com

[2] Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Regularities and methods of analysis, calculation and prediction of the impact of long-term changes in water runoff and sediment load and the sea regime on the hydrological and morphological processes in river deltas are considered. It is shown that these processes are not only the consequence of changes in regime of rivers and seas, but also can serve as their effective indicators.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА СРЕДНИХ И МАЛЫХ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ ЯМБУРГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Никонов А.И.[1], Салтанкин В.П.[2], Шаповалова Е.С.[1]

[1] Институт проблем нефти и газа РАН, Москва

[2] Институт водных проблем РАН, Москва

esshap@gmail.com

На основе фактических наблюдений на территории Ямбургского газоконденсатного месторождения проводится анализ состояния сети малых и средних рек, изменения их водности в течение года. Анализируются факторы, оказывающие влияние на температурные условия грунтов речных долинных комплексов. Отмечается, что для малых рек, промерзающих полностью зимой, не характерен большой перенос руслового аллювия даже при максимальных расходах воды, несмотря на роль их отепляющего воздействия на мерзлые породы. Основным русловым процессом в таких реках в период весенне-осеннего функционирования является вертикальное углубление русла за счет переноса и переотложения оттаивающего руслового аллювия.

Распространение многолетнемерзлых пород (ММП) влияет на изменение русловых процессов в сравнении с географическими зонами, где ММП отсутствуют. Как правило, качественная и количественная оценка масштабов этих изменений затруднена из-за ограниченности данных наблюдений за мерзлотно-обусловленными процессами, связанными с формированием структуры русла и движением речных наносов, а также из-за отсутствия методик их исследования. Актуальность данного исследования определяется выявлением главных факторов деформации русел средних и малых рек криолитозоны, закономерностей изменения термодинамического состояния ММП с отепляющим влиянием на них водных потоков и оценки пространственно-временных воздействий на природные и природно-техногенные объекты данных территорий.

Деятельность текучих вод является основным рельефообразующим процессом большей части арктических равнин в голоцене и на современном этапе. Расположение речной сети в их пределах, в основном, унаследовано от плиоцена. Небольшие абсолютные отметки (перепада высот) в пределах морских аккумулятивных равнин обусловили малые уклоны рек. Для низменных территорий исследуемого района малых и средних рек они изменяются от $1 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-4}$. Площадь их водосбора составляет от 100 до 1000 км^2.

На рассматриваемой территории осадков выпадает около 300–400 мм в год. Основное их количество приходится на тёплое время года: до 200 мм осадков выпадает летом в виде дождя, чуть менее приходится на осень и весну. Зимой же выпадает менее 100 мм осадков. Поэтому средняя толщина снежного покрова составляет 50 см и менее. На водораздельных пространствах за счет преобладающих сильных ветров, сдувающих снег, его толщина уменьшается до 5–10 см. Влияние отрицательных температур воздуха в сентябре и октябре приводит к тому, что к концу октября полностью происходит промерзание сезонно талого слоя (СТС) и его смыкание со слоем ММП. Бурное снеготаяние начинается на водораздельных пространствах, откуда вешние воды начинают стекать по склонам в речные долины и озерно-болотные котловины, являясь отепляющим фактором. Водоупором для талых вод исследуемых территорий является подошва СТС, которая в начале снеготаяния находится в мерзлом состоянии и представлена земной поверхностью [Соколов, 1964].

В летний и осенний периоды основное питание рек связано с дождевыми осадками, их дополнительное питание происходит за счет увеличения толщины дренажного слоя (СТС) при оттаивании почв и песчано-глинистых пород. Дополнительный сток, небольшой по своим объёмам, может формироваться и за счет таяния высокольдистых пород СТС. К сожалению, данные балансы для этих территорий не исследованы.

Болотные массивы протаивают обычно не более чем на 0,3–0,5 м, суходолы, представленные суглинками, на 0,7–1,0 м, песчаные отложения до 1,5 м [Бейром, 1969].

В среднем, распределение стока по сезонам для рек исследуемой территории характеризуется сле-

дующими показателями: весна – 25%, лето – 55% и осень – 20%.

Ширина долин средних рек изменяется от 700–500 до 300–100 м, а малых рек от 50–70 до 5–10 м.

Дополнительного питания подземным стоком для рек рассматриваемой территории не происходит, т.к. под ними не формируются сквозные талики в ММП. По данным [Романовский, 1983] их формирование возможно для рек (например, Обь, Таз и т.п.), ширина русла которых соизмерима с мощностью ММП.

Для средних и малых рек, промерзающих полностью в зимнее время, прохождение волны весеннего половодья не приводит к поступлению наносов с водораздельных пространств, т.к. СТС ещё находится в мерзлом состоянии. Особенности процессов денудации и образования наносов для данных рек криолитозоны в период половодья и паводков определяются условиями формирования температурного поля на земной поверхности.

В связи с этим проанализируем факторы, оказывающие влияние на температурные условия грунтов долинных комплексов, такие как:

– растительные сообщества;
– литологический состав размываемых отложений;
– тепловое воздействие водного потока;
– толщина снежного покрова.

Для малых и средних рек важным фактором является задернованность поверхности долинного комплекса, т.к. закрепление растительных сообществ в их пределах приводит к уменьшению глубины оттаивания по сравнению с участками, лишенными таковой, а, следовательно, к устойчивости от размывания берегов и пойменных уровней.

Попадание песчаных отложений на участки высокой поймы, заросших растительными сообществами, во время весеннего половодья, способствует уменьшению альбедо поверхности и быстрому прогреванию этих уровней, что, в свою очередь, способствует увеличению величин СТС, а при больших толщинах песчаных отложений – к их деградации и захоронению органики.

На более крутых участках долин в зимнее время снежный покров является минимальным или вообще может отсутствовать, что приводит к быстрому промерзанию этих участков долинных комплексов и слабой размываемости отложений при весенних паводках. Увеличение оттаивания этих отложений, как по глубине, так и по расстоянию от бровки долин, происходит за счет дренирования в реки талых вод при оттаивании мерзлых пород СТС и дренированию в этом слое дождевых осадков [Коротаев, 1992].

Всё выше сказанное позволяет сделать вывод о том, что в период летне-осенних паводков происходит размыв оттаявших объемов дисперсных пород пойменных уровней и высоких склонов долин, где преобладающим процессом деформации русла становится боковая эрозия, формирующая основные объемы твердых наносов. Процессы вертикальных деформаций русел средних и малых рек имеют ограничения за счет небольшой глубины оттаивания донных отложений, промерзающих в зимнее время, и в пределах долинного комплекса за летне-осенний период приводят к небольшому углублению русла, а следовательно к небольшим объёмам формирования наносов.

Участок высокой поймы, заросший кустарничковой и травянистой растительностью подвержен воздействию песчаных наносов, попавших туда в период половодья. Максимальные расходы воды в половодье на малых и средних реках на заросших склонах не приводят к разрушению промерзших пород высокой поймы,т.к. в противном случае данный процесс приводил бы к уничтожению корневой системы травяного и кустарникового покрова.

На более крутых участках склонов долин, где за счет термоэрозионных процессов (солифлюкция) формирование почвенного покрова не образуется, песчано-глинистые породы в летний период подвергаются большему прогреву и глубине протаивания по сравнению с задернованной поверхностью. Поэтому, в летне-осенний период происходит их размыв и формирование эрозионных ниш и, как следствие, обрушение верхних блоков пород и дальнейший их размыв и перераспределение наносов в русловой части реки. Данные условия приводят к развитию боковой эрозии, которая является преобладающей для средних рек.

На малых реках большая часть бортов русла задернована. Это означает, что при высоких уровнях воды почвенный покров в весеннее время не размывается и лишь на небольших участках его отсутствие заметно в пределах склонов, подверженных термоэрозионному сползанию. В данном случае задернованность бортов долины не позволяет быстро протаивать расположенным под ним песчано-глинистым отложениям, имеющим большую льдистость и для малых рек в сравнении со средними.

Для малых рек, промерзающих полностью зимой, не характерен большой перенос руслового аллювия даже при максимальных расходах воды, несмотря на их отепляющее воздействие на мерзлые породы. Основным русловым процессом в таких реках весной и осенью является вертикальное углубление русла за счет переноса и переотложения оттаивающего руслового аллювия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бейром С.Г. Особенности подземных вод по географическим зонам Западной Сибири // Мат-лы к симпозиуму IV научн. совещ. Географов Сибири и Дальнего Востока Вып. 2. – Новосибирск, 1969.

Коротаев В.Н. Специфика дельтообразования в устье рек арктической зоны / Рациональное природопользование в криолитозоне: Сб. науч. Тр./Научный совет по криологии Земли. – М.: Наука, 1992. – С.80–86.

Романовский Н.Н. Подземные воды криолитозоны. – М., 1983. – 231 с.

Соколов А.А. Гидрография СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1964. 534 с.

ASPECTS OF HYDROLOGICAL REGIME GENERATION OF SMALL AND MEDIUM RIVERS IN PERMAFROST ZONE (BY THE EXAMPLE OF YAMBURG FIELD)

Nikonov A.I.[1], Saltalkin V.P.[2], Shapovalova E.S.[1]

[1]Oil and Gas Research Institute RAS, Moscow, Russia

[2] Water Problems Institute, Moscow, Russia

esshap@gmail.com

ABSTRACT

The paper considers the problem of comprehensiveness formation of water regime of rivers under permafrost. Based on actual observations on the territory of Yamburg gas condensate field, the analysis of the state of a network of small and medium-sized rivers, regime change in their water content during the year. The factors affecting the soil temperature conditions of the river valley systemsare analizing.. It is noted that for small rivers, completely freezing in winter, characterized by a large transfer channel alluvium even at maximum water flow in spite of the role of their warming impact on the frozen rock. The main channel processes in these rivers during the spring and autumn operation is a vertical deepening of the channel due to the transfer and redeposition thawing channel alluvium.

АНАЛИЗ ПОДВЕРЖЕННОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМУ РИСКУ В РЕЗУЛЬТАТЕ НАВОДНЕНИЙ РЕГИОНОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Падалко Ю.А.

Институт степи УрО РАН, Оренбург

yapadalko@gmail.com

Рассматриваются подверженность риску наводнений и анализируются их социально-экономические последствия по регионам степной зоны Российской Федерации.

Большая временная изменчивость стока в степной зоне является причиной сосредоточения населения в поймах рек и создания многочисленных гидротехнических сооружений для регулирования стока с целью устойчивого водообеспечения экономики. С другой стороны, эта изменчивость обуславливает появление гидрологического риска во время прохождения паводков и весенних половодий. Степень риска по регионам степной зоны варьируется в зависимости от социально-экономического развития территории и физико-географических условий (особенностей гидрологического режима и ландшафта территории).

Весной происходит быстрое стаивание снежного покрова, сформировавшегося за холодный период года, что создаёт неравномерность в сезонном стоке рек. Низкая летняя межень способствует развитию обширной сети искусственных водоёмов и каскадов водохранилищ для сельскохозяйственных, промышленных, энергетических и транспортных потребностей.

Наводнения в регионах степной зоны РФ создают значительную угрозу населению и хозяйству. На территории России из более 6000 затопляемых населённых пунктов, 2318 поселений расположены в регионах степной зоны. По числу пострадавших в результате наводнений по всем субъектам РФ на регионы степной зоны приходится 54% населения.

Согласно подсчётам численности населения в зоне опасности возникновения чрезвычайных гидрологических ситуаций (в результате наводнений и аварий на ГТС) по субъектам Российской Федерации, выполненной ВНИИ ГОЧС [Шахраманьян и др., 1998], наибольший потенциальный риск (по численности населения в зоне опасности) отмечается в регионах, имеющих высокогорные ландшафты с интразональными реками, характеризующимися значительными объёмами стока (Ставропольский край, Краснодарский край – р. Кубань и Алтайский край – р. Обь). В группу с повышенным риском также входит Самарская область.

Несколько иначе выглядит картина с реальной ситуацией затопления (подтопления), вызванного весенним половодьем на большей части степного пространства, а также паводками в южных предгорных районах (рис. 1, 2), по данным информационной базы МЧС России [ФГИС ТП, 2014].

При сопоставлении данных о количестве населения, проживающего в зоне опасности (риск) и пострадавшего от затопления (зафиксированного в статистической отчетности), наблюдается существенное различие (за исключением некоторых регионов). Различия в численности населения по регионам объясняются разностью в подходах к оценке риска и полевых наблюдений, а также в определении термина “пострадавший”. Согласно определению, которое приводится в государственном стандарте по безопасности в чрезвычайных ситуациях РФ [ГОСТ Р 22.0.02-94], под пострадавшим в ЧС понимается “человек, поражённый, либо понёсший материальные убытки в результате возникновения чрезвычайной ситуации”. В том числе сюда включается косвенный ущерб, связанный с нарушением жизнедеятельности населённых пунктов, затопление хозяйственных объектов. Поэтому наибольшее количество пострадавших фиксируется в регионах с высокой хозяйственной освоенностью территории, большой плотностью населения и большой долей городского населения.

Дополнительно необходимо отметить количество затопляемых (подтопляемых) населённых пунктов (рис. 2).

По количеству населённых пунктов в зоне затопления лидирует Краснодарский край – 308 ед., из которых 65 ед. затапливаются водами реки Кубань, а остальная часть её – притоками и малыми горными реками, впадающими непосредственно в море. Далее необходимо отметить Воронежскую (286 на-

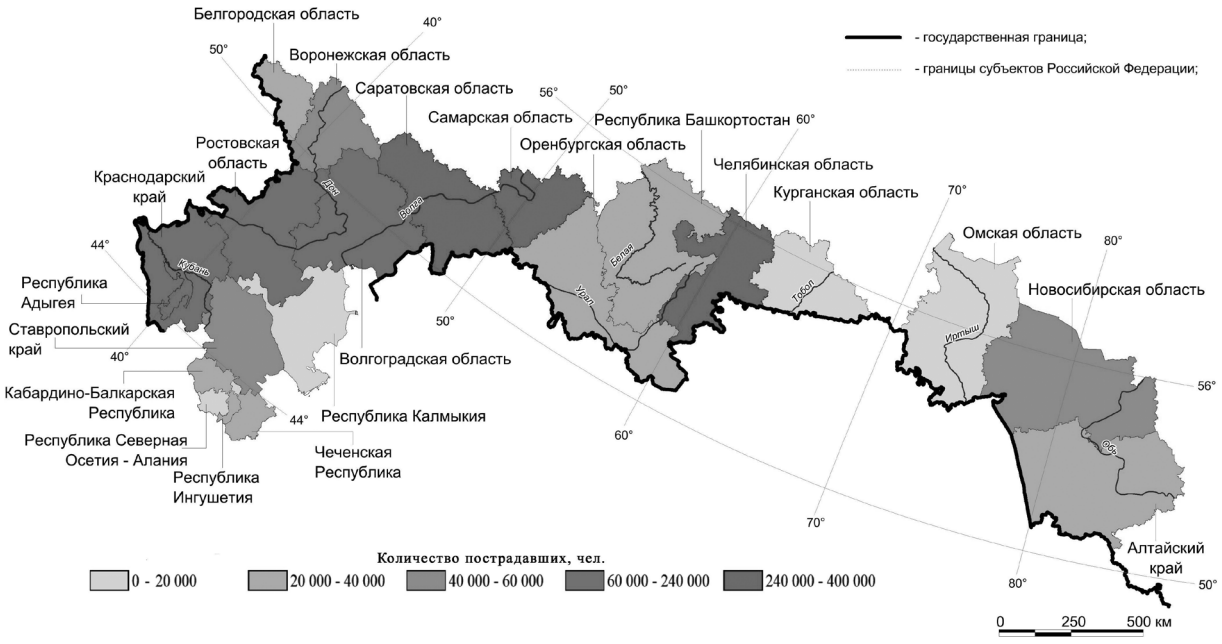


Рис. 1. Количество пострадавших от затопления (подтопления) в регионах степной зоны Российской Федерации

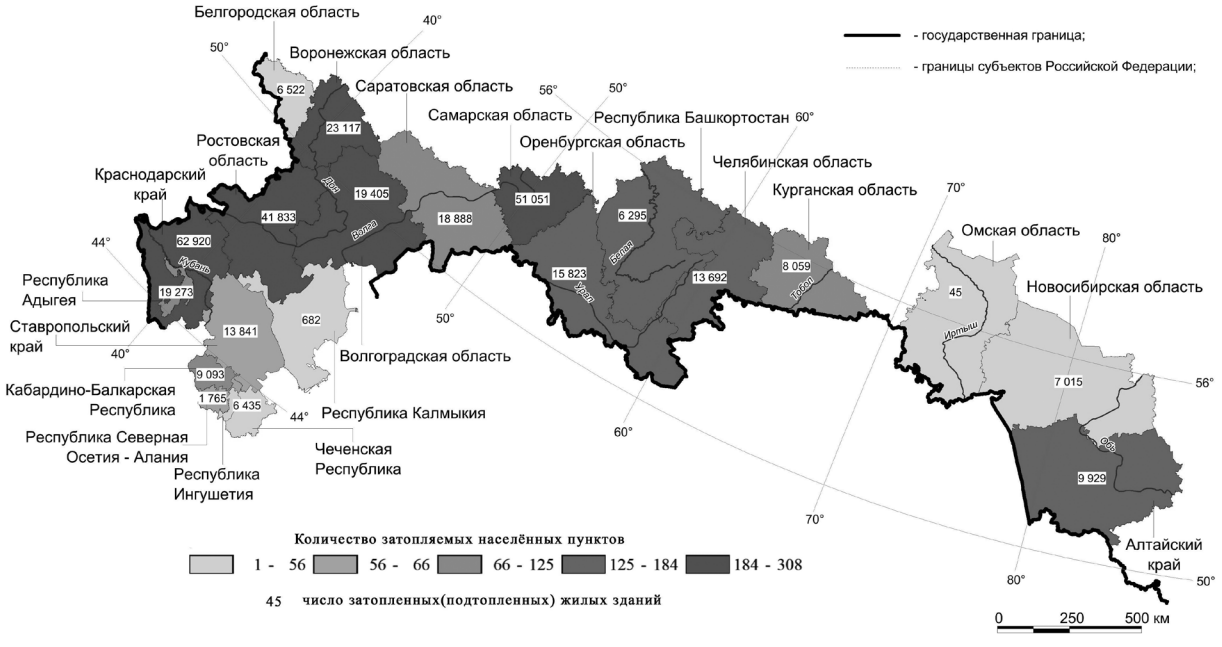


Рис. 2. Количество затопляемых населённых пунктов и жилых зданий по регионам степной зоны Российской Федерации

селённых пунктов) и Ростовскую (198 населенных пунктов) области, расположенные в бассейне реки Дон. В Ростовской области более 100 населённых пунктов подтапливается Цимлянским водохранилищем. Аналогичная ситуация в Волгоградской области связана с эксплуатацией Волжской ГЭС, что приводит к подтоплению 70 населённых пунктов. В Самарской области 104 из 198 населённых пунктов подтапливаются при подъеме уровня Куйбышевского водохранилища.

На южном Урале и Алтайском крае в основном преобладают населённые пункты, затапливаемые в результате весеннего таяния снега, роль природно-техногенных наводнений здесь незначительна. В горных и предгорных районах имеют место летне-осенние дождевые паводки.

Помимо анализа природных рисков, а также причиняемого ущерба, связанного с затоплением, и его структуры, важно определить комплекс социально-экономических показателей, отражающих подверженность и уязвимость населения и хозяйства от наводнений. Актуальность такого исследования связана также с принятым постановлением правительства РФ "Об определении границ зон затопления, подтопления" и подготовкой законопроекта "О страховании жилья", которые направлены на оптимизацию государственных расходов для покрытия ущерба в результате чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Шахраманьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А. Оценка природной и техногенной безопасности России: теория и практика. – М., 1998. – 218 с.

Федеральная государственная информационная система территориального планирования (ФГИС ТП) Режим доступа http://fgis.minregion.ru/fgis/ (16.09.2014)

ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий – Введ. 1996-01-01. – М., 1995. – 16 с.

ANALYSIS OF EXPOSURE TO SOCIAL AND ECONOMIC RISKS FROM FLOODS IN REGIONS OF STEPPE ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Padalko Yu.A.

Institute of the steppe, Ural Branch of the RAS, Orenburg, Russia, yapadalko@gmail.com

ABSTRACT

The exposure to risk of flooding and examines their social and economic impacts by region steppe zone of the Russian Federation are considered.

ОПАСНЫЕ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В XX–XXI СТОЛЕТИЯХ НА РЕКАХ СЕВЕРНОЙ И ЦЕТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Семенов В.А.

ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск

semven@meteo.ru

Приводятся сведения о региональных особенностях изменения годового, сезонного и экстремального стока воды рек России и сопредельных территорий в прошлом веке и начале текущего столетия. Выделены районы уменьшения годового стока, увеличения частоты опасных наводнений, экстремальных маловодий рек при современных изменениях климата.

По данным с начала гидрологических наблюдений на реках с мало нарушенным гидрологическим режимом оцениваются пространственно-временные изменения годового, сезонного и экстремального стока воды рек на территории России и, по литературным сведениям, на реках сопредельных государств. Оценка влияния последствий изменений климата на опасные гидрологические явления (наводнения, маловодья) основывается на данных гидрометеорологических наблюдений, имеющихся в ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД" Росгидромета за 1991–2010 гг.

Средний годовой и сезонный сток. В результате анализа данных гидрологических наблюдений за весь имеющийся период и за 1951–1980 гг. установлено, что в среднем годовом стоке рек рассматриваемой территории преобладало отсутствие изменений [Семенов, Алексеева,1989; Семенов, 1990]. На реках европейской части территории (ЕЧТ) значимые положительные изменения годовых величин стока наблюдались только на реках Полярного Урала и Предуралья (бассейны Камы, Печоры), а на юге ЕЧТ также в бассейнах горных и предгорных рек Прикарпатья, периферийных западных и северных районов Кавказа. Для остальных рек ЕЧТ было характерно отсутствие значимых изменений или уменьшение годовых величин стока. В стоке рек бассейнов Днепра и Дона были наиболее выражены отрицательные тенденции и отклонения среднего за 30-летний период от нормы (по данным наблюдений до 1960 г.) достигали 20%.

На азиатской части территории (АЧТ) в изменениях среднего стока наблюдались широтные различия, проявляющиеся в том, что к северу от 55° с.ш. и на восток до 155° в.д, преобладали положительные изменения годового стока, а южнее – отсутствие изменений или они были отрицательными. Наиболее выраженные отрицательные изменения годового стока были характерны для

Таблица. Изменения среднего годового стока рек России за 1993–2010 гг., км^3/год

РЕКА – ПОСТ	СРЕДНЕЕ МНОГОЛЕТНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ (НОРМА)	СРЕДНИЙ ЗА 1993–2010 ГГ.	РАЗНИЦА МЕЖДУ СРЕДНИМ И НОРМОЙ (– УМЕНЬШЕНИЕ)	ИЗМЕНЕНИЕ,% (ПРИ ЗНАКЕ – УМЕНЬШЕНИЕ)
Кама – Гайва	50,3	51,9	1,6	3,2
Печора – Усть-Цыльма	107	112	5	4,7
Урал – Кушум	9,69	9,9	0,20	2
Кубань – Армавир	5,22	5,8	0,59	11
Терек – Владикавказ	1,10	1,11	0,01	1
Сулак – Миятлы	5,61	5,26	–0,35	–6,2
Обь – Барнаул	46,6	48,1	1,4	3
Томь – Томск	33,4	33,4	0	0
Енисей – Красноярская ГЭС	89,1	101	11,9	13
Селенга – Кабанск	25,3	24,9	–0,4	–1,6
Лена – Кюсюр	527	552	25	4,7
Колыма – Усть-Среднекан	23,1	24,2	1,1	4,8
Амур – Хабаровск	269	226	–43	–16
Камчатка – Долиновка	7,77	9,1	1,33	17

Примечание. По рекам Урала и Северного Кавказа приведены восстановленные данные, заимствованные из [Водный кадастр…, 1993–2010].

рек юга Дальнего Востока (бассейн Амура), Забайкалья (бассейн Селенги).

Для рек горных районов АЧТ различия в изменениях годового стока усложнялись орографией местности, влияющей на распределение атмосферных осадков и соотношение источников питания рек. Для рек ледниково-снегового питания (с долей ледникового более 20%) и периферийных, западных склонов Памиро-Алая, Тянь–Шаня, Джунгарского Алатау, Алтая были характерны положительные изменения стока, а на реках снегового и снего-дождевого питания внутригорных районов значимых изменений в стоке не наблюдалось или они были отрицательными [Семенов, 2000, 2007].

В последние десятилетия произошли существенные региональные изменения годового стока, которые на большей части территории России были положительными, в том числе для рек южных, преимущественно горных районов (Таблица).

Наиболее неблагоприятными последствиями изменений годового стока в последние десятилетия является сохранение и даже усиление тенденций его уменьшения в южных районах (бассейны рек Амура, Селенги), а на казахстанской части территории Алтая – в бассейне Иртыша [Чигринец и др., 2013].

Наибольшее влияние в умеренных и высоких широтах Евразии изменения климата оказывают на изменения сезонного, месячного и экстремального стока рек: на северной половине территории преобладают положительные изменения стока в холодный период года, а в южных районах России преобладают отрицательные изменения. В период половодья на большей части ЕЧТ России и сопредельных стран наблюдалось уменьшение стока [Проблемы …, 2015].

Изменения максимального и минимального стока и их негативные последствия. Анализ трендов в данных наблюдений на гидрологических постах на реках России за период с 80-х годов XX в. и начало XXI столетия свидетельствует о том, что для большинства рек субарктического пояса на азиатской территории характерны положительные изменения максимальных расходов воды, а на европейской территории преобладает уменьшение или отсутствие их изменений. В средних широтах азиатской территории тоже преобладало увеличение максимальных расходов воды, а на северных и средних широтах европейской части территории – их уменьшение. На равнинных реках южной территории России (Европейская часть, Дальний Восток, Забайкалье) преобладало отсутствие изменений и уменьшение максимальных расходов воды.

Отрицательными последствиями изменения максимальных расходов воды является увеличение частоты опасных наводнений. Районами увеличения частоты опасных наводнений являются: территория Дальневосточной климатической области; горная климатическая область Сибири (Алтай, Саяны); Северный Кавказ, Высокогорный Кавказ и Закавказье (российская часть Причерноморья); Уральская климатическая область; Северная климатическая область.

В изменениях минимальных летних расходов воды почти на всей европейской территории, кроме некоторых рек Северного Кавказа и рек Кольского полуострова, преобладали отрицательные тенденции, а на реках азиатской территории, уменьшение минимального летне-осеннего стока наблюдалось на реках южных районов Сибири, Дальнего Востока и Камчатки.

В зимний период преобладало увеличение минимального стока, особенно на реках высоких и средних широт азиатской территории, но уменьшение на реках южных районов, особенно Забайкалья, некоторых реках юга Западной Сибири, Приморья. На всей европейской территории России, наоборот, преобладало увеличение минимального стока или отсутствие его изменений.

За 20-летний период (1991–2010 гг.) на реках России Росгидрометом было зафиксировано более 100 экстремальных маловодий с учтённым ущербом, из них 44 – в период 2006–2010 гг. Маловодья бывают преимущественно в южной части азиатской территории (юг Западной Сибири, Забайкалье, бассейн р. Амур, реки Камчатки), но в последние годы бывают также на средних широтах Сибири и Дальнего Востока. Наметилась тенденция увеличения повторяемости маловодий в первом десятилетии XXI века и на реках некоторых районов европейской части территории России. Наибольшее увеличение маловодий произошло на реках равнинных территорий Южного Федерального округа и Поволжья (Адыгея, Астраханская, Самарская, Саратовская области), в бассейнах рек Дон, Днепр, Южный Буг [Проблемы…, 2015]

Одной из причин более частой повторяемости в последние годы погодных ситуаций, способствующих опасным наводнениям и маловодьям, является наблюдающаяся смена направлений атмосферной циркуляции [Проблемы …, 2015].

При ожидаемых изменениях климата, география рисков опасности от экстремальных наводнений и маловодий может расшириться.

Работа выполнена при финансовой поддержке Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований, проект №13-05-41172.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: материал Междунар. науч. конф., Минск, 5–8 мая 2015 г. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2015. – 337 с.

Семенов В.А., Алексеева А.К. Региональные особенности климатических изменений стока рек СССР // Метеорология и гидрология. – М. Московское отделение гидрометеоиздата, 1989. – №9. – С. 91–97.

Семенов В.А. Сток рек засушливых территорий. – М: Гидрометеоиздат, 1990. – 160 с.

Семенов В.А. Особенности климатически обусловленных изменений стока рек с ледниковым и снего-дождевым питанием в горных приморских и континентальных районах // Материалы гляциологических исследований, 2000. – Вып. 89. – С. 82–88.

Семенов В.А. Ресурсы поверхностных вод гор России и сопредельных территорий. – Горно-Алтайск: РИО Горно-алтайского госуниверситета, 2007. – 147 с.

Чигринец А.Г., Чигринец Л.Ю., Долбешкин М.В. Водные ресурсы основных правобережных притоков Иртыша и тенденции их изменения. //Гидрометеорология и экология. Ежеквартальный научно-технический журнал. – Алматы, 2013. – №2 (69). – С. 115–123.

HAZARDOUS AND UNFAVORABLE HYDROLOGICAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE IN THE 20th–21st CENTURIES ON RIVERS OF NORTHERN AND CENTRAL ASIA

Semyonov V.A.

RIHMI-WDC, Obninsk, Russia, semven@meteo.ru

ABSTRACT

Information is provided on regional features of the annual, seasonal and extreme runoff on rivers of Russia and adjacent territories at the end of the 20th-beginning of the 21st centuries. Areas are identified showing a decrease in the annual runoff and increased frequency of hazardous floods and extreme low water periods due to the current climate change.

АНАЛИЗ РЕГИОНАЛЬНЫХ УГРОЗ УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ

Сивохип Ж.Т.

Институт степи УрО РАН, Оренбург

Проведен анализ региональной специфики водопользования в трансграничном бассейне реки Урал. Проблемы устойчивого использования водных ресурсов в исследуемом регионе многообразны и обусловлены взаимодействием природных и антропогенных факторов. В условиях пространственно-временной изменчивости речного стока одним из способов решения проблем водопользования является регулирование стока.

В условиях антропогенного преобразования природной среды, сопровождающегося ухудшением геоэкологической ситуации, одной из актуальных задач современного общества является достижение сбалансированной структуры природопользования. При этом особо важное значение имеет водопользование, структура и региональная специфика которого определяют разнообразные аспекты социально-экономического развития территорий. Кроме проблем водопотребления в национальных речных бассейнах, актуальной и многоаспектной остается проблема трансграничного вододеления в пределах международных речных бассейнов, особенно это важно для стран или регионов, расположенных в зоне транзитного речного стока.

Решение задач устойчивого водопользования в трансграничных речных бассейнах осложняется межгосударственными разногласиями в сферах водного законодательства, государственного контроля за водными ресурсами, информационной политики и др. Для активизации институционального сотрудничества в сфере управления водопользованием в трансграничных бассейнах мировым сообществом были приняты базовые международные документы – Хельсинские правила использования вод международных рек (1966); Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 1992). В целом, за последние 50 лет зафиксировано 1228 совместных инициатив по использованию трансграничных водотоков и международных озер, в том числе подписано 150 соглашений об использовании вод, которые делают международные отношения в области управления водными ресурсами более устойчивыми [Данилов-Данильян и др., 2010].

Значительную актуальность проблемы водопользования приобретают в водно-дефицитных условиях и в регионах с развитым промышленным и сельскохозяйственным производством. В пределах Российской Федерации подобное сочетание является характерным для бассейна трансграничной реки Урал, территория которого относится к регионам с высоким природно-ресурсным потенциалом и интенсивным аграрно-промышленным развитием.

Для успешного решения межгосударственных вопросов устойчивого водопользования в бассейне р. Урал необходимо учитывать региональные аспекты водопотребления, и в первую очередь, в пределах регионов, расположенных в активной водосборной зоне. Такие индустриально развитые регионы как Республика Башкортостан и Челябинская область имеют самую низкую долю в общей площади исследуемого бассейна (12 и 6% соответственно), но их роль в формировании общей эколого-гидрологической ситуации в бассейне значительна. В частности, в пределах Республики Башкортостан формируются значительные объемы речного стока трансграничного бассейна – 4,4 км^3/год (для сравнения – в Оренбургской области – 5,7 км^3/год).

Кроме общих проблем устойчивого водопользования, характерных для трансграничных бассейнов постсоветского пространства, в исследуемом регионе можно отметить целый ряд природных и социально-экономических особенностей, которые определяют развитие современных региональных угроз для устойчивого водопользования.

Региональная структура водопользования в трансграничном бассейне р. Урал сформировалась в условиях крайне неравномерного распределения водных ресурсов, обусловленного физико-географическими особенностями водосборной территории. В частности, зона наиболее активного водосбора р. Урал располагается в верхней лесостепной части бассейна. Кроме того, в пределах отдельных гидрографических звеньев трансграничного бассейна отмечается пространственная дифференциация водности, обусловленная азональными факторами. В многолетнем разрезе распределение речного стока также неравномерно – расходы р. Урал в многоводный год могут многократно превышать расходы в маловодный.

Значительная пространственно-временная изменчивость сезонного стока в бассейне р. Урал обусловливает проявление таких гидрологических явлений как маловодье и многоводье. Низкая водность или полное прекращение стока является характерной чертой гидрологического режима малых водотоков степной зоны. Следует отметить, что полное прекращение стока отмечается и на реках с площадью водосбора более 2000 км^2 (притоки р.Урал – рр. Большой Кумак, Орь, Жарлы, Губерля и др.). Ключевое значение маловодья для устойчивого водопользования определяется не только его сезонной эколого-гидрологической актуальностью в степных регионах, но и тем, что в периоды низкой водности (прежде всего многолетней) обостряются социально-экономические и экологические ущербы [Алексеевский и др., 2011]. В условиях трансграничного речного стока именно маловодные периоды максимально обостряют напряженность водопользовательских интересов в регионах трансграничного бассейна р. Урал.

Общеизвестно, что пространственная специфика гидрологических максимумов (многоводья) на степных реках определяется зональным распределением гидроклиматических показателей в сочетании с морфометрическими особенностями речной сети. Для речных экосистем степной зоны весеннее половодье является необходимым гидрологическим явлением, обеспечивающим промывной режим поймы, но, в социально-экономическом аспекте, многоводье обусловливает развитие чрезвычайных гидрологических ситуаций. Проблема усугубляется заселением затапливаемых участков поймы без учета многолетней изменчивости максимальных уровней воды при весеннем половодье, а также возведением в пойме транспортных коммуникаций с малой водно-пропускной способностью.

В условиях дефицита водных ресурсов, неравномерности их пространственного распределения, значительных многолетних и сезонных колебаниях речного стока актуальным является вопрос гарантированного водообеспечения отраслей экономики и населения. В 1932 г. Гипроводом была начата разработка схемы комплексного использования водных ресурсов бассейна р. Урал, предусматривающей вопросы регулирования стока для водообеспечения формировавшихся промышленных центров на базе рудных месторождений Южного Урала [Боскис и др., 1934]. Помимо существующих водохранилищ, планировалось создание Губерлинского вдхр. (объемом 535 млн м^3) на р. Урал, Мало-Чураевского (Кувандыкского) (640 млн м^3) и Нижне-Сакмарского (2520 млн м^3; у г. Оренбурга) на р. Сакмара. Для создания водного пути от Каспийского моря до г. Орска на всем протяжении планировалось создание системы сплошного шлюзования низконапорными плотинами для обеспечения глубин 1,8–2,0 м. Поставленные задачи по гарантированному водообеспечению были решены частично – к настоящему времени в бассейне р. Урал насчитывается 18 крупных и средних водохранилищ, суммарным объемом более 5,5 млн м^3. Максимальной степенью регулирования стока характеризуется верхнее течение главной реки и крупные правые притоки (рр. Сакмара, Большой Юшатырь, Таналык).

После 1990-х гг. эколого-гидрологические аспекты регулирования стока в верхнем течении бассейна актуализировались геополитическими трансформациями на постсоветском пространстве и проблемами вододеления в новых социально-экономических условиях. В частности, несмотря на интенсивный забор воды из р. Урал в пределах Республики Казахстан, причины ухудшения водохозяйственной обстановки связывают с неправомерным режимом и эксплуатацией Ириклинского водохранилища, в пределах Российской Федерации [Абдрахимов и др., 2009, Давлетгалиев, 2011].

Также актуальной проблемой для трансграничных речных бассейнов, расположенных в пределах степной зоны, является обеспечение устойчивого водопользования для нужд сельского хозяйства в условиях пространственной неоднородности водных ресурсов и значительной плотности сельского населения. Как известно, сельское хозяйство (прежде всего, орошаемое земледелие) является одним из основных водопотребителей, определяющим величину безвозвратного изъятия водных ресурсов. В 1980-е гг. только в пределах нижнего течения р. Урал, на 800-км участке от г. Уральск до устья, насчитывалось 50 водозаборных каналов, включая оросительные каналы из рукава Кушум, с суммарным водозабором 35,7 м^3/с [Абдрахимов и др., 2009].

Помимо перечисленных проблем водопользования в бассейне р. Урал, одной из угроз водно-экологической безопасности остается антропогенная трансформация состава поверхностных и подземных вод. Формирование качества воды в бассейне р. Урал происходит в условиях резкой пространственной неоднородности по видам и степени антропогенной нагрузки на различные компоненты ландшафтов.

Согласно проведенному анализу региональных угроз устойчивого водопользования, становится очевидно, что в процессе осуществления водохозяйственной деятельности в трансграничном

бассейне р. Урал возникают конфликты интересов, источники которых различны – потребительское водопользование, регулирование стока, сброс сточных вод и загрязнение органическими веществами, интенсивный вылов биологических ресурсов и др. В связи с этим, в трансграничном бассейне р. Урал назрела необходимость разработки концептуальной программы, основанной на комплексном управление природопользованием.

Статья подготовлена в рамках проекта РНФ №14-17-00320 “Разработка интегральных показателей, необходимых для оптимизации структуры земельного фонда и модернизации природопользования в степных регионах РФ”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абдрахимов Р.Г., Чигринец А.Г. Проблемы оценки влияния хозяйственной деятельности на сток рек Западного Казахстана // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2009. – №1. С. 18-22.

Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Христофоров А.В. Мониторинг гидрологических процессов и повышение безопасности водопользования. – М.: Геогр. фак. МГУ, 2011. – 408 с.

Боскис С.Г., Троцкий М.Н. Перспективы комплексного использования водно-земельных ресурсов бассейна реки Урал. – М.;Ташкент: “Сазгипровод”, 1934. – 271 с.

Давлетгалиев С.К. Поверхностные водные ресурсы рек Жайык-Каспийского бассейна в границах Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2011. – №1. – С. 56–66.

Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – М.: Науч. мир, 2010. – 232 с.

REGIONAL ANALYSIS THREATS TO SUSTAINABLE WATER USE IN TRANSBOUNDARY BASINS OF THE URAL RIVER

Sivokhip Z.T.

Institute Steppe UB of, RAS, Orenburg, Russia, sivohip@ mail.ru

ABSTRACT

The analysis of the regional particularities in the transboundary water basin of the Ural River. The sustainable use of water resources in the study area are diverse and caused by the interaction of natural and anthropogenic factors. In the context of spatial and temporal variability of river flow, one way to solve problems is to regulate the water flow.

МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ СЕЗОННЫХ ОСАДКОВ КАК ФАКТОР ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ РОССИИ

Фролов Д.М.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

denisfrolovm@mail.ru

Сопоставляются минимумы сумм сезонных осадков на расположенных в бассейнах рек метеостанциях с соответствующими маловодьями в этих бассейнах.

Маловодье или низкая межень, согласно [Критерии …, 2003], есть понижение уровня воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений и предельных навигационных уровней на судоходных реках и озерах в конкретных пунктах в течение не менее 10 дней, и представляет собой один из видов гидрологических опасных явлений. Частота этих опасных явлений в последние годы на реках России увеличилась в южных районах, наблюдаются они и в северных областях.

В данной работе на примере бассейна реки Печоры, рек территории Тюменской области и Ставропольского края проанализированы сведения о сезонных суммах осадков и маловодьях в 1991–2012 годах. Детально были рассмотрены три маловодья: на реке Печора в августе 2011 года, реках территории Тюменской области в октябре 2005 года, и на реках Ставропольского края в июле 1994 года. Информационной основой для анализа послужили сведения об атмосферных осадках и стоку рек в маловодные периоды, приведенные на сайте ВНИИГМИ-МЦД [Специализированные ….]. Соответствующие минимальные суммы осадков на расположенных в бассейнах рек метеостанциях Нарьян-Мар, Сыктывкар, Ставрополь, Тобольск были сопоставлены со стоком этих маловодий. Рассматривались четыре сезона: зима (ноябрь-март), весна (апрель-май), лето (июнь-август) и осень (сентябрь-октябрь), и гидрологический год (с ноября по октябрь).

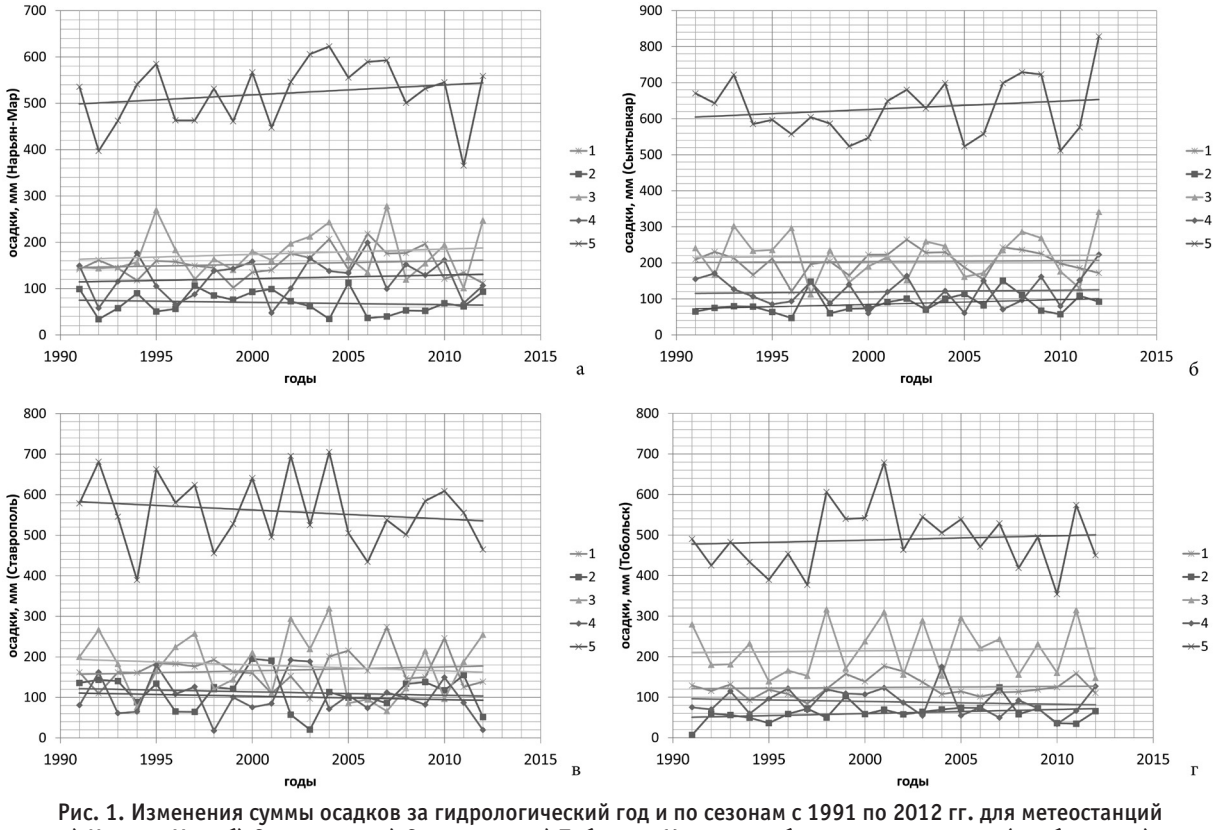


Рис. 1. Изменения суммы осадков за гидрологический год и по сезонам с 1991 по 2012 гг. для метеостанций а) Нарьян-Мар, б) Сыктывкар, в) Ставрополь, г) Тобольск. Условные обозначения: 1 – зима (ноябрь-март), 2 – весна (апрель-май), 3 – лето (июнь-август), 4 – осень (сентябрь-октябрь), 5 – год (ноябрь-октябрь).

Изменения сумм осадков за весь гидрологический год и по сезонам с 1991 по 2012 гг. для метеостанций Нарьян-Мар, Сыктывкар, Ставрополь, Тобольск представлены на рисунке 1. Там же проведены трендовые линии.

Несмотря на нарастающий тренд годовых осадков (более 2 мм/год) в Нарьян-Маре и Сыктывкаре, минимальные годовые суммы осадков в Нарьян-Маре (менее 400 мм по сравнению со средним значением 521 мм) наблюдались в 1992 и 2001 году – в начале и конце рассматриваемого периода. Минимальные годовые суммы осадков в Сыктывкаре (чуть более 500 мм по сравнению со средним значением 629 мм) наблюдались регулярно во второй половине периода – в 1994, 2000 и 2005 году. Тренд годовых сумм осадков в Ставрополе – отрицательный (менее –2,2 мм/год), и минимумы осадков (менее 500 мм по сравнению со средним значением 560 мм) наблюдались достаточно регулярно в течение всего наблюдаемого периода. В Тобольске наблюдался положительный тренд годовых сумм осадков (около 1 мм/год), а минимумы (менее 400 мм при среднем значении осадков 489 мм) наблюдались в первой (1995, 1997 год) и второй (2010 год) половинах рассматриваемого периода.

Максимальные вариации сумм осадков за весь гидрологический год для периода с 1991 по 2012 составили в Нарьян-Маре, Сыктывкаре, Ставрополе и Тобольске 193, 252, 273 и 229 мм/год, соответственно.

При анализе изображенных на рисунке графиков изменения суммы осадков для сезонов было отмечено, что наиболее низкий за период 1991–2012 гг. минимум летней суммы осадков на станции Нарьян-Мар и второй по значимости минимум летних осадков на станции Сыктывкар в 2011 году соответствуют маловодью в августе 2011 года на реке Печора. В 2011 году в Нарьян-Маре также наблюдается минимум осенней и всей годовой суммы осадков. Наиболее низкий за период 1991–2012 летний минимум в Сыктывкаре был отмечен в 1997 году, но тогда маловодье зафиксировано не было, возможно в связи с тем, что в 1997 году наблюдался абсолютный максимум весенних осадков и средний уровень зимних осадков, которые насытили подземные воды и обеспечили большое грунтовое питание рек.

Один из минимумов суммы осенних осадков на станции Тобольск соответствует маловодью в октябре 2005 года в Тюменской области. Наиболее низкий за период 1991–2012 минимум осенних осадков на этой станции был отмечен 2010 году. Тогда же был минимум весенних, летних и абсолютный минимум годовых осадков на этой станции, но маловодье в тот год зафиксировано не было.

Наименьший минимум летних осадков (максимальное отклонение от тренда) на метеостанции Ставрополь в 1994 году соответствует маловодью в июле 1994 года в Ставропольском крае. В этот год на этой станции отмечаются также минимумы сумм осенних и весенних осадков, что дает соответствующий абсолютный минимум суммы годовых осадков.

Таким образом, сопоставление минимумов суммы осадков соответствующих гидрологических сезонов (60% и менее от средних сезонных значений) на расположенных в бассейнах рек метеостанциях Нарьян-Мар, Сыктывкар, Ставрополь, Тобольск соответствующим маловодьям в 2011, 2005 и 1994 году в этих бассейнах позволяет сделать вывод, что межгодовые вариации экстремальных значений сезонных осадков являются фактором возникновения маловодья.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГО и РФФИ (проект №13-05-41172).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения. Руководящий документ 52.04.563-2002. Дата введения 2003-07-01

Специализированные массивы для климатических исследований [Электронный ресурс] / Авт. В.М. Веселов, А.А. Коршунов, И.Р. Прибыльская. Режим доступа: http://meteo.ru/, свободный.

INTERANNUAL VARIATIONS OF SEASONAL PRECIPITATIONS AS A FACTOR OF INITIATION OF LOW WATER LEVEL ON THE RIVERS OF RUSSIA

Frolov D.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, denisfrolovm@mail.ru

ABSTRACT

Coincidence of sum of seasonal precipitation minimum on situated in the river basins meteorological stations with corresponding low water levels on these basins are determined.

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОПАСНЫХ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ РОССИИ

Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Крыленко И.Н., Сазонов А.А.

МГУ имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, Москва

frolova_nl@mail.ru

С учетом особых климатических условий России безопасность населения и хозяйства нередко лимитирована опасными ледовыми явлениями. В зависимости от масштаба рассматриваемой территории для оценки опасности ледовых явлений могут быть использованы как комплексные методики балльных оценок, учитывающие самые различные факторы природной опасности и социально-экономической уязвимости, являющиеся составляющими природного риска, так и подробные гидрологические, картографические и социально-экономические исследования формирования опасного процесса и возникающего от него ущерба. Примеры решения такого рода задач приведены для конкретных участков рек Северной Двины и Томи.

Для большей части территории России ледовые явления в той или иной форме наблюдаются ежегодно, их продолжительность составляет пять и более месяцев. К опасным ледовым явлениям относятся: образование внутриводного льда и шуги, зажоры, раннее появление льда и установление ледостава на низких уровнях, наледи, промерзание, низкая толщина и прочность льда в период ледостава, густой ледоход при высоких уровнях воды, заторы, навалы льда, позднее вскрытие и очищение на низких уровнях воды [Агафонова, Фролова, 2009]. Со сроками и продолжительностью ледовых явлений связаны многие виды хозяйственной деятельности – условия навигации, нормальное функционирование водозаборов, ледовых переправ, дорог и т.д. Часто речь идет не об исключительном воздействии ледовых явлений, а о неблагоприятном сочетании опасных проявлений водного, ледового режима и русловых процессов.

Различные мероприятия и технические решения позволяют успешно бороться с ледовыми затруднениями. Одним из факторов, определяющих ущерб, является повторяемость опасного события. Значения в пределах естественных колебаний ожидаемы и учитываются при проектировании. Но в современных условиях опасность ледовых явлений нередко меняется. Эти изменения возникают под действием естественных (прежде всего климатических) и антропогенных факторов.

Изменения ледового режима являются, прежде всего, функцией метеорологических факторов и характеристик водного режима реки. Для оценки наблюдаемых изменений ледового режима рек Европейской территории России (ЕТР) были использованы данные по 300 гидрологическим постам за два периода: 1940–1975 и 1976–2010 гг. В целом величина изменений растет с юго-запада на северо-восток территории. Для севера ЕТР, бассейна Камы и Урала смещение средних сроков ледовых явлений не превышает 5 суток, изменение толщины льда составляет до 10%. Изменение повторяемости заторов и зажоров, если и происходит, то обусловлено, прежде всего, антропогенными факторами. Для бассейна Волги (за исключением бассейна Камы) смещение сроков ледовых явлений составило 10-15 суток, средняя толщина льда уменьшилась на 30-40%. Для рек Нижней Волги резко сократилась повторяемость заторов в период весеннего вскрытия рек. Для большинства рек бассейна Дона средняя продолжительность ледостава и периода с ледовыми явлениями сократилась на 20–25 дней, толщина льда – на 40–50%. Для рек Западной Сибири смещение сроков ледовых явлений составило 3–6 суток, изменение средней толщины льда для юга территории равно 10–15 см, для севера – 5–10 см [Алексеевский, Мокшанов, 2014].

При незначительных изменениях все чаще наблюдаются неблагоприятные сценарии прохождения весеннего ледохода, сопровождаемые опасными ледовыми явлениями, прежде всего длительными заторами льда. Смещаются сроки установления ледостава и вскрытия рек, при этом продолжительность замерзания и очищения ото льда растягивается. Неустойчивая погода в период очищения ото льда приводит к повторному ледообразованию. Меняется состав ледового материала, все чаще в весенний период наблюдается шугоход и образование заторно-зажорных явлений. Смещаются сроки очищения рек ото льда, снижается повторяемость

весеннего ледохода, лед все чаще тает на месте. Самые значительные изменения ледового режима рек в пределах Европейской территории выражаются в отсутствии устойчивого ледостава, а длительные оттепели делят период с ледовыми явлениями на обособленные части. В долгосрочной перспективе потепление климата может привести к значительному сокращению периода с ледовыми явлениями [Frolova et al, 2014].

Изменение ледовой опасности происходит и под действием антропогенных факторов. Во-первых, это расширение хозяйственной деятельности человека. Речь идет о появлении новых для данной территории видов хозяйственной деятельности, о смене категории земель и целевого их назначения, о разрастании в пространстве освоенных территорий. Новых опасных ледовых явлений при этом не возникает, но потенциальная ледовая опасность становится реальной. Так для территории в районе г. Томск, затопления поймы, на которой ранее не было столь массовой застройки и сколько-нибудь значимых гидротехнических сооружений, при ледовых заторах случались регулярно, но не приводили к таким катастрофически последствиям, как весной 2010 г. [Агафонова и др., 2012].

Другим антропогенным фактором являются мероприятия и гидротехническое строительство, активно влияющее на ледовый режим и приводящее к появлению раннее не наблюдаемых опасных явлений. Речь идет о строительстве плотин ГЭС, мостовых переходов, сбросе теплых промышленных вод, противозаторных мероприятиях (ледорезных, взрывных и ледокольных работах), различных мероприятиях, приводящих к русловым деформациям и т.д.

В зависимости от масштаба рассматриваемой территории для оценки опасности ледовых явлений могут быть использованы как комплексные методики балльных оценок, учитывающие самые различные факторы природной опасности и социально-экономической уязвимости, являющиеся составляющими природного риска, так и подробные гидрологические, картографические и социально-экономические исследования формирования опасного процесса и возникающего от него ущерба.

В первом случае комплексную оценку опасности целесообразно выполнять на основе косвенных показателей, характеризующих вероятность возникновения опасного процесса и степень уязвимости территории. Смысл этой процедуры состоит в создании тематических картографических обобщений, характеризующих пространственное изменение количественных показателей опасных природных процессов на конкретной территории. Они отражают условия и факторы опасных гидрологических явлений, вероятность их возникновения, характеристики уязвимости населения, социальных и производственных объектов, оценки возможного среднего ущерба от их воздействия [Фролова и др., 2014].

Оценки потенциальной опасности ледовых явлений основываются на учете продолжительности осенне-зимних и весенних ледовых явлений, когда возникают максимальные затруднения при организации работ на реках. В пределах Европейской территории России (ЕТР) она может достигать до 50 и более дней. Еще один показатель опасности ледовых явлений – повторяемость формирования максимального годового уровня воды в период с ледовыми явлениями. На севере страны эта величина составляет 50% и более, на юге – 5-10%. Максимальные годовые уровни воды не всегда приводят к затоплению освоенных территорий. Их потенциальная угроза возрастает, если они наблюдаются в период весенних ледовых явлений. Обобщение имеющихся материалов показало, что ущербы от затопления освоенных территорий в период с ледовыми явлениями больше по сравнению с наводнениями в период открытого русла. Они возрастают при увеличении толщины льда перед вскрытием реки и повторяемости выхода воды на пойму – факторов, которые определяют возможные ледовые нагрузки на сооружения в пределах поймы. Влияние ледовых заторов на потенциальный ущерб от затопления освоенной местности зависит от вероятности затопления поймы в период образования затора и глубины затопления поймы при максимальном заторном уровне воды 1% обеспеченности. Для построения карт характеристик ледового режима рек ЕТР, отражающих степень опасности для различных отраслей хозяйства, в работе использованы данные приблизительно по 200 гидрометрическим постам с периодом наблюдений 1970–2008 гг. Для интегральной оценки опасности ледовых явлений могут быть привлечены данные о численности находящегося в зоне проявления опасных гидрологических процессов населения и количестве крупных населенных пунктов, наличии социальных и производственных объектов на берегах рек, их назначении и т. д. Пример такой оценки приведен для севера Европейской территории России в работе [Агафонова, Фролова, 2009].

Интегральные оценки опасности гидрологических явлений позволяют сравнивать регионы между собой, однако при переходе на локальный уровень требуются более детальные методы исследований, позволяющие учесть особенности водно-

го, ледового и руслового режимов конкретного участка реки. Подобного рода исследования проведены авторами для участков рек Северная Двина (от слияния Сухоны и Юга до устья Вычегды, где расположены города Великий Устюг, Красавино, Котлас) и Томь (район расположения г. Междуреченск при слиянии рек Томи и Усы) при оценке опасности заторных наводнений.

В основу математической модели затопления положены двумерные уравнения Сен-Венана. Система уравнений Сен-Венана наиболее пригодна для рассматриваемого класса задач, поскольку она учитывает реальную батиметрию русла и топографию поймы, позволяет получать распределение расходов по рукавам многорукавного русла, определять значения скоростей и глубин потока в любой точке плана. Моделирование выполнялось на основе программного комплекса "STREAM-2D" [Беликов и др., 2005]. Дискретизация двумерных уравнений произведена на треугольно-четырехугольной сетке, адаптированной к русловой сети. Исходными данными являлись: результаты экспедиционных изысканий, промеры глубин; уклоны водной поверхности; измеренные расходы воды и скорости течения, морфометрические створы через долины рек, положение и высотные отметки дорожных насыпей, наличие водопропускных отверстий, топографические карты масштаба 1 : 100000, 1 : 25000, 1 : 50000, данные режимных наблюдений за многолетний период; космические снимки за период половодья и межени, социально-экономическая информация по оценке ущерба и стоимости защитных сооружений [Frolova et al, 2015]. На основе имеющихся данных наблюдений за 1896–2013 гг. были рассчитаны максимальные уровни стокового и заторного происхождения и максимальные расходы воды 1 и 5% обеспеченности на границах рассматриваемых участков. Для калибровки были проведены расчеты для различных сценариев, связанных с прохождением максимальных расходов воды и формированием заторов льда, в том числе по данным наиболее катастрофического наводнения 1998 г. на Северной Двине и 1977 г. на Томи. В случае формирования заторов льда в модели учитывалось место образования затора и его продолжительность; коэффициент шероховатости льда на участке затора; уменьшение средней глубины потока за счет заполнения русла льдом. Проведенные расчеты показали, что используемая модель движения воды адекватно отражает реальную картину затопления и может применяться для оценки возможного затопления исследуемой территории при различных гидрологических ситуациях. Для оценки качества моделирования были использованы авторские методики верификации модели на основе космических снимков различного типа и разрешения. В результате моделирования для каждого из сценариев (для современных условий и с учетом возможного сооружения берегозащитных дамб) были получены отметки водной поверхности, скорости течения в каждой точке плана расчетной области, продолжительность и глубина затопления. Моделирование показало, что уровни воды, формирующиеся за счет стока в период половодья 1% обеспеченности, могут превышать меженные на 6–7 м. В случае формирования заторов льда максимальные уровни могут увеличиваться еще на 2–3 м.

При расчетах экономический ущерб от затопления территории был подразделен на прямой и косвенный. Используемая в российской практике методика оценки экономического ущерба от затоплений была скорректирована в зависимости от имеющейся статистической информации и экономико-географических особенностей территории [Методика, 2005]. Расчеты позволили оценить общий потенциальный ущерб в зоне возможного затопления. Например, для случая наводнения 5% обеспеченности в районе г. Великий Устюг получилось, что 70% всех затрат – стоимость восстановления жилья и компенсации населению; 20% – затраты на восстановление объектов производственной сферы; 10% – затраты на восстановление объектов социальной инфраструктуры. Однако, сравнение затрат на ликвидацию последствий наводнения и затрат на строительство защитных дамб показывает, что проекты строительства противопаводковых дамб для городов, расположенных, например, на берегах Северной Двины, достаточно эффективны лишь при очень высоких наводнениях (1% обеспеченности). Коэффициент эффективности (соотношение годового ущерба со стоимостью защитных сооружений) равен в этом случае примерно 4–5.

Тщательный анализ современных тенденций изменения ледового, водного и руслового режимов, использование ГИС-технологий и методов математического моделирования затопления пойменно-русловых комплексов позволил актуализировать предложения по предотвращению затопления населенных пунктов и провести их критическую оценку, разработать рекомендации по целому ряду направлений, грамотное сочетание которых позволяет подготовить единую программу по снижению негативного воздействия вод на население и хозяйство.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00155).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Влияние ледового режима рек севера Европейской территории России на гидроэкологическую безопасность в условиях изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2009. – №4. – С. 55–61.

Агафонова С.А., Беркович К.М., Рулева С.Н., Сурков В.В., Фролова Н.Л. Современные особенности морфологии русла и процессов заторообразования на реке Томь // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2012. – №6. – С. 21–33.

Алексеевский Н.И., Мокшанов А.М. Ледовый режим рек Западной Сибири // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей, 2014. – Т.1. – С. 297–309.

Беликов В.В., Зайцев А.А., Милитеев А.Н. Математическое моделирование сложных участков русел крупных рек // Водные ресурсы, 2002. – Том 29. – №6. – С. 698–705.

Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий / А.Н. Шпагина, С.Ю. Питерская, А.В. Федорова – ФГУП "ВИЭМС". М., 2005.

Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Завадский А.С., Крыленко И.Н. Оценка опасности гидрологических явлений на региональном и локальном уровнях // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление". – 2014. – №3. – С. 58–74.

Frolova N.L., Kireeva M.B., Nesterenko D.P., Agafonova S.A., Tersky P.N. Up-to-date climate forced seasonal flood changes (the case study for European part of Russia) // IAHS Publ., 2014. – №363. – P. 113–118.

Frolova N.L., Agafonova S.A., Krylenko I.N., Zavadsky A.S. An assessment of danger during spring floods and ice // Proc. IAHS., 2015. – №92. – P. 1–5.

PRESENT-DAY FEATURES OF HAZARDOUS ICE PHENOMENA ON THE RUSSIAN RIVERS

Frolova N.L., Agafonova S.A., Krylenko I.N., Sazonov A.A.

Department of Hydrology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, frolova_nl@mail.ru

ABSTRACT

In Russia, due to climatic conditions, safety of the population and the economy is often limited by dangerous ice phenomena. Current climatic conditions, in varying degrees, affect all the characteristics of ice regime of rivers. Changes of these characteristics have been analyzed in detail for the rivers of European Russia. It has been shown that the changes results from complex interaction of meteorological and hydrological conditions. The degree of danger of ice phenomena for the population and economy depends on anthropogenic factors.

Depending on the extent of the territory the assessment of the hydrological phenomena danger can be fulfilled through comprehensive score methods taking into account a variety of factors of natural hazards and socio-economic vulnerability which are components of natural risks, or through detailed hydrological, cartographic and socio-economic studies of the formation of dangerous process and damage arising from it. The example of solution of the task of this sort for specific river rich is given.

ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА И СЕЗОННОГО СТОКА РЕК ЕТР И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ

Фролова Н.Л.[1], Киреева М.Б.[1], Джамалов Р.Г.[2], Рец Е.П.[2], Телегина Е.А.[2]

[1] МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра Гидрологии суши, Москва

[2] Институт водных проблем РАН, Москва

kireeva_mb@mail.ru

В работе исследуются современные изменения характеристик стока за различные фазы водного режима, их динамика сопоставляется с характеристиками экстремальности гидрологических явлений.

ВВЕДЕНИЕ

Возникновение экстремальных гидрологических условий связанных как с высокой, так и с низкой водностью обуславливает риски и экономические потери, связанные с водопользованием. Подобные гидрологические события, чаще всего имеют довольно редкую повторяемость и обычно охватывают большие территории, приводя к экономическим ущербам сразу в нескольких отраслях хозяйства. Только за последние 5 лет наблюдалось три подобных ситуации: это маловодья 2010 и 2014 годов, экстремальное половодье в Центральном регионе в 2013 году. В целом в России, согласно данным Росгидромета, число опасных гидрологических событий увеличилось вдвое со 150–200 в начале 1990-х до 350–450 к концу 2000-х годов. Потенциальный ущерб каждого опасного явления может составлять до 100-120 млрд. рублей по данным ВНИИГМИ–МЦД. В соответствии с этим, изучение условий и предпосылок возникновения экстремальных гидрологических событий является одной из актуальных задач российской гидрологии. Европейская часть России охватывает огромную территорию, площадью около 4 млн км^2. К этому региону относятся бассейн Волги, Дона, Северной Двины, Печоры, Урала и проч. В анализе использовались данные наблюдений на 300 гидрологических постах, расположенных преимущественно на средних, незарегулированных реках. Такие водосборы отражают зональные условия и могут быть приняты в качестве репрезентативных.

ИЗМЕНЕНИЯ СЕЗОННОГО СТОКА

Экстремальные гидрологические события тесно связаны с трансформацией водного режима рек в условиях изменения климата. В настоящее время соотношение стока за различные периоды года сильно меняется.

Пространственно-временной анализ данных наблюдений показал, что эти изменения выражаются в увеличении стока маловодного и сокращении стока многоводного периода. Так, например, меженный сток рек бассейна Дона увеличился в среднем почти в два раза [Dzhamalov et. al., 2013]. Схожая ситуация характерна для Оки и Верхней Волги, где рост расходов в межень составляет 50–70%. В бассейне Камы изменения менее значимы и составляют 15–30%. Для северных рек, таких как Северная Двина и Печора, увеличение стока в маловодный период проявляется менее явно и составляет от 5 до 15%. В бассейне Мезени и Невы эти изменения почти не прослеживаются [Dzhamalov et al., 2014].

Одновременно с увеличением стока в зимний и летний период происходит резкое сокращение стока половодья. Снижение объема половодья наиболее ярко проявляется именно в тех регионах, где минимальный сток более всего растет. В бассейне Дона половодье слабо выделяется среди многочисленных зимних и весенних паводков, а максимальные расходы сокращаются вдвое [Киреева, Фролова, 2013]. Деградация половодья происходит и в бассейне Волги, где максимальные расходы уменьшаются на 20–40%. Таким образом, происходит выравнивание внутригодового распределения стока, растет коэффициент естественной зарегулированности. Более подробно изменения половодья рек европейской России рассмотрены в [Frolova et al., 2014]. Основной из задач данной работы было выявление влияния изменений водного режима на возникновение экстремальных гидрологических событий.

ОЦЕНКА ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Для объективной оценки степени влияния гидрологического события на экономику в мировой практике часто используются интегральные критерии. Они

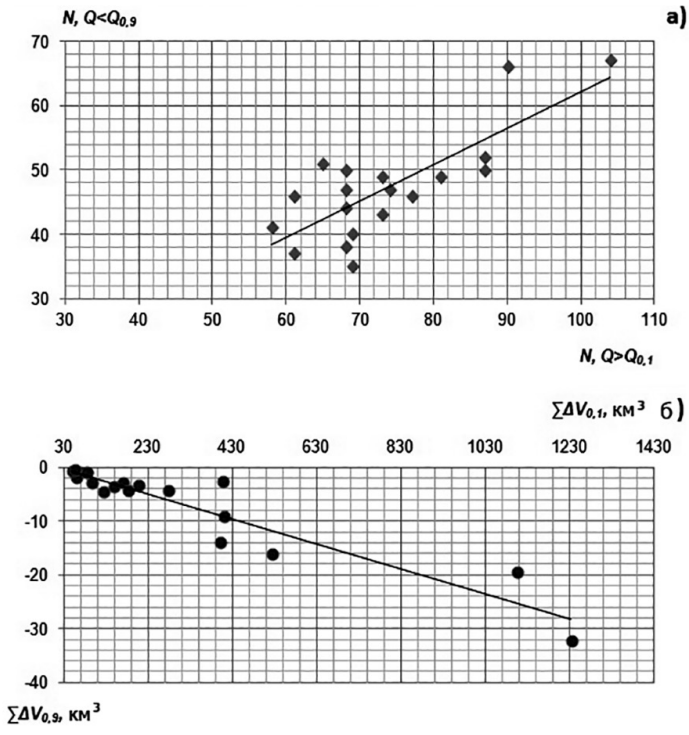


Рис. 1. Связь числа маловодных и многоводных периодов (а) и зависимость объемов дефицитов и избытков (б)

основаны на выборе "пороговых" значений характеристики, с которыми сравниваются наблюденные величины. По разнице этих значений определяется мера влияния события на жизнь людей, оценивается частота возникновения подобных ситуаций, масштаб явления. При этом чаще всего учитывается не только превышение наблюденных значений над пороговыми, но и длительность этого превышения. По результату расчетов определяется общий дефицит или избыток воды. Этот объем соотносится с продолжительностью явления, характеризуя некий интегральный показатель "суровости" события. В данной работе в качестве пороговых значений были приняты расходы воды 10% и 90% обеспеченности, соответственно. Для проведения анализа на Европейской территории России среди 300 репрезентативных бассейнов было выбрано 19 гидрологических постов с площадью более 20 тысяч квадратных километров и расположенных в разных географических зонах. Анализ проводился на основе среднемесячных значений стока.

Модули стока, соответствующие верхним пороговым значениям в целом меняются в соответствии с зональными изменениями стока. Наибольшие величины наблюдаются на северо-востоке Европейской России в бассейнах рек Уса и Печора – 49 и 42 л/с·км^2, соответственно, а также в бассейне р. Вишера – 42 л/с·км^2. В среднем для рек севера значение модуля стока 10% обеспеченности составляет от 20 до 30 л/с·км^2 и уменьшается с северо-востока на юго-запад. В примыкающих с юга бассейнах Верхней Волги, Оки и Угры пороговые значения снижаются до 12–16 л/с·км^2. Реки бассейна Камы имеют существенно более высокие пороговые значения модуля стока – в среднем около 20–23 л/с·км^2. Минимальные значения характерны для бассейна Дона, особенно для р. Медведица (до 4 л/с·км^2). В пространственном распределении нижнего порогового значения наблюдается схожая картина. Модуль стока 10% обеспеченности более 2 л/с·км^2 характерен для рек севера ЕТР. В бассейнах Верхней Волги и Оки он снижается до 1,7 л/с·км^2, а Ветлуги и Мокшы – до 1 л/с·км^2. В бассейне Камы наблюдается увеличение показателя до 1,6–1,7 л/с·км^2. В бассейне Дона значение модуля стока 10% обеспеченности снижается до 0,5 – 1 л/с·км^2.

Для северных рек количество превышений верхнего порогового значения составляет от 60 до 75 случаев, в бассейне Оки, Мокши и Угры – около 70. В бассейне Камы оно возрастает, достигая 80–87 случаев. В бассейне Дона количество превышений составляет около 65 случаев. Число дефицитов наоборот увеличивается с 35–40 на севере до 50–60 на юге. Интересным фактом является то, что количество экстремально маловодных и экстремально многоводных периодов связано между собой: чем больше на реке наблюдается экстремально низких месячных расходов, тем больше на ней наблю-

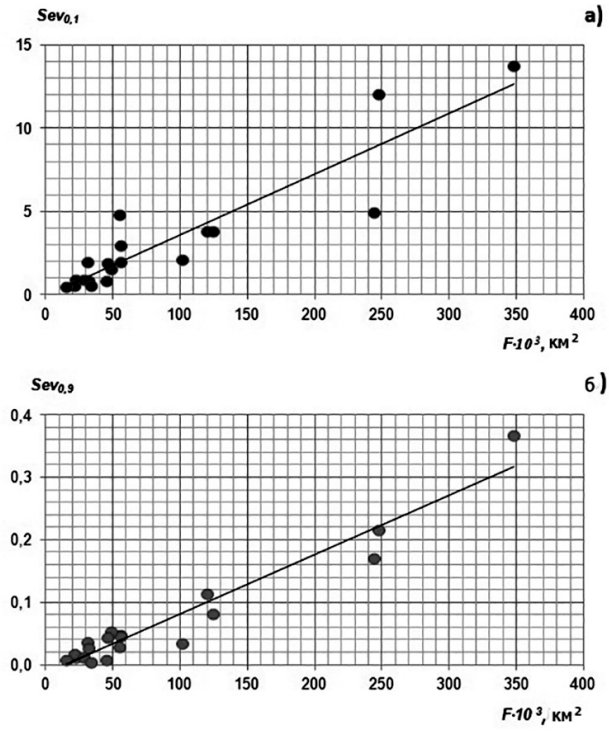


Рис. 2. Связь показателя суровости маловодий (а) и экстремально высоких многоводных периодов (б)

дается и экстремально высоких расходов – рисунок 1 а. Объем дефицитов четко связан с объемом превышений пороговых значений, коэффициент корреляции зависимости на рисунке 1 б составляет более 0,9. Таким образом, каждая река, обладая своими особенностями водного режима, имеет некую общую характеристику "экстремальности", характеризующую как количество маловодий, так и количество многоводий. Чем большей "экстремальностью" обладает водный режим реки, тем чаще на ней формируются как аномально низкие, так и аномально высокие периоды водности.

В мировой практике в подобных оценках часто используется так называемый показатель "суровости" (Sev). Он представляет собой отношение дефицита или избытка воды к продолжительности этого явления:

$$Sev_i = \Delta V_i / T \qquad (1)$$

где Sev_i – показатель суровости на обеспеченность I, ΔV – объем дефицита или избытка, км^3, T – продолжительность аномально низких или высоких значений водности, сут.

По полученным данным были рассчитаны значения суровости для условий избытка и дефицита воды. При экстремально высоких значениях расходов воды суровость для исследуемых рек меняется от 0,55–0,57 в бассейне Дона и Верхней Волги до 13,7 в бассейне Северной Двины. Наблюдается зависимость показателя от площади водосбора – рисунок 2 а. С увеличением площади водосбора "суровость" довольно быстро растет. При экстремально низких значениях расходов воды суровость изменяется от 0,1 в бассейне Верхней Волги и Дона до 0,37 в бассейне Северной Двины. Зависимость носит также прямой характер – чем больше площадь водосбора, тем больше суровость маловодий, наблюдающихся на реке, что видно на рисунке 2 б.

Для отдельных районов прослеживается тенденция к группировке лет наиболее экстремальной водности во времени. Так, в бассейнах северных рек, наиболее жесткие маловодья случались в 1938–1945 гг., а экстремально многоводными были 1965–1975 гг. Дефицитные периоды наблюдались на этих реках и в 2000-х годах. В бассейне Верхней Волги экстремально маловодными были 1945, 1950, 1967–1969 гг., а многоводными – 1966, 1974, 1947–58 гг. Но последний год, когда возникал дефицит – 1977. Притоки Волги ведут себя несколько иначе. На Оке, Угре, Мокше маловодья в основном, наблюдались в 1937–1939 гг., а многоводный период был в 1958, 1970, 1979–1981 гг., последние дефициты наблюдались здесь в 1973–1975 гг. (кроме р. Мокша, которая тяготеет к рекам бассейна Камы). На реках бассейна Камы маловодья наблюдались в 1920–1940 годах, а многоводными были 1960–1970 годы и начало 1990-х годов. Маловодья здесь случались в основном в 1920-1940 гг. Однако, даже в последние годы

(в 2006, 2008), наряду с 1976-1977, кое-где наблюдаются дефициты.

Исключительно интересна динамика показателей экстремальности во времени. Для северных рек характерно плавное увеличение объемов превышений над пороговыми значениями, и сокращение объемов дефицитов. При этом частота возникновения экстремальных расходов воды сокращается с 80–100% в начале наблюдений до 20–30% на настоящий момент. Чаще всего дефициты, например на Северной Двине, наблюдались в 30–40-х годах, после чего началось устойчивое снижение частоты маловодий, при этом продолжительность дефицитов, наоборот увеличилась с 1–2 месяцев до 3, а иногда и 4-х, а объем уменьшился. На реках Онега и Мезень тенденции сильно отличаются от других рек. Здесь происходит сокращение объемов превышений и увеличение объемов дефицитов. В бассейне Верхней Волги наблюдается иная картина. Здесь происходит заметное снижение объемов превышений и одновременное снижение объемов дефицитов – водный режим заметно выравнивается. На востоке региона – в бассейне Камы, иная картина, схожая с тенденциями на севере ЕТР: происходит плавное увеличение объемов превышений и снижение объемов дефицитов, меженный период становиться менее глубоким, а половодный, наоборот увеличивается в объеме. Южная часть ЕТР, бассейн Дона и Оки, демонстрирует наиболее явные изменения. Объемы превышений сокращаются в разы, а дефициты вообще перестают возникать, начиная с 1975–77 гг.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги, следует сказать, что согласно проведенным расчетам, возникающие в настоящее время экстремальные гидрологические события не являются исключительными. За период многолетних наблюдений встречаются случаи более глубоких маловодий. Для всех рек европейской части России характерно сокращение дефицитных периодов. Для большинства рек бассейна Волги и Дона с 1970-х годов дефицитов вообще не наблюдается. Если говорить об экстремально высокой водности, то для Северных рек и бассейна Камы частота и суровость таких событий увеличиваются, в то время как для юга и центра региона, наоборот, сокращается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №14-17-00700).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Current changes in river water regime in the Don River Basin // Water Resources J., 2013. – 40. – P. 573–584.

Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Rets E.P. Present-day surface and subsurface water resources of European Russia: conditions, use and forecast // IAHS Publ. J., 2014. – №363. – P. 215–220.

Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2013. – №1.– С. 60–76.

Frolova N.L., Kireeva M.B., Nesterenko D.P., Agafonova S.A., Tersky P.N. Up-to-date climate forced seasonal flood changes (the case study for European part of Russia) //IAHS Publ. J., 2014. –№363. – P. 113–118.

WATER REGIME AND SEASONAL FLOW CHANGES AND THEIR IMPACT ON THE EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS

Frolova N L.[1], Kireeva M. B.[1], Dzhamalov R. G.[2], Rets E. P.[2], Telegina E.A.[2]

[1] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

[2] Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia

kireeva_mb@mail.ru

ABSTACT

This paper investigates the current changes in the characteristics of flow for the various phases of the hydrological regime, their dynamics compared with the characteristics of hydrological extremes.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ АМУРСКИХ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫДАЮЩИХСЯ ПАВОДКОВ В БАССЕЙНЕ АМУРА

Шалыгин А.Л.

ФГБУ "ГГИ", Санкт-Петербург

andrew_shalygin@mail.ru

Анализ пространственного распределения вероятностей максимальных уровней и расходов воды, а также объемов наиболее выдающихся паводков на Амуре и в его бассейне показал, что на экстремальность наводнений на Амуре влияют не только и не столько максимальные расходы и уровни паводков на его притоках, но, главным образом, объемы этих паводков в результате большой их продолжительности.

Наиболее выдающиеся паводки с измеренными характеристиками на большинстве рек Амурского бассейна произошли в 1958, 1959, 1984 и 2013 гг. По многолетним рядам наблюдений были определены вероятности максимальных уровней и расходов воды, а также объемов этих паводков, на Амуре и в его бассейне, и построены карты пространственного распределения этих вероятностей, что позволило сделать выводы об условиях формирования опасных наводнений на Среднем Амуре, в г. Хабаровске и на Нижнем Амуре в зависимости от характеристик паводков на Верхнем Амуре и р. Зея.

В **1958 г.** (рис. 1) водность рек бассейна Амура, за исключением Сунгари и Уссури, была выше нормы, как по максимальным уровням, так и по объемам паводка. Основной паводок сформировался на р. Шилка с обеспеченностями максимальных уровней менее 1% (1 раз в 100–150 лет). Объемы паводка на Шилке и на Аргуни имели обеспеченность 7–8%, после их слияния на Верхнем Амуре обеспеченность максимальных уровней составила менее 1%, а объемов паводка – около 1%.

Далее паводок продвигался по Верхнему Амуру с аналогичными параметрами вплоть до Благовещенска. На Среднем Амуре паводок постепенно снижался (обеспеченность увеличивалась от 1,5 до 8% в районе Хабаровска). На Зее, Бурее, Сунгари и Уссури высоких паводков не наблюдалось, поэтому на Нижнем Амуре паводок окончательно потерял силу.

В **1959 г.** (рис. 2) водность рек бассейна Амура, за исключением Аргуни и Сунгари, была выше нормы, как по максимальным уровням, так и по объемам паводка. Экстремально высоких уровней воды не наблюдалось, однако, за счет продолжительности паводков на Верхнем Амуре и в бассейне р. Зея у г. Благовещенска, образовалась паводочная волна с обеспеченностями 2–5% как по максимальным уровням, так и по объему. По Среднему Амуру волна паводка продвигалась, не снижая высоты и объема за счет большого количества воды, поступающей от Буреи и многочисленных левобережных притоков. На Нижнем Амуре экстремальность высоты паводочной волны сохранилась.

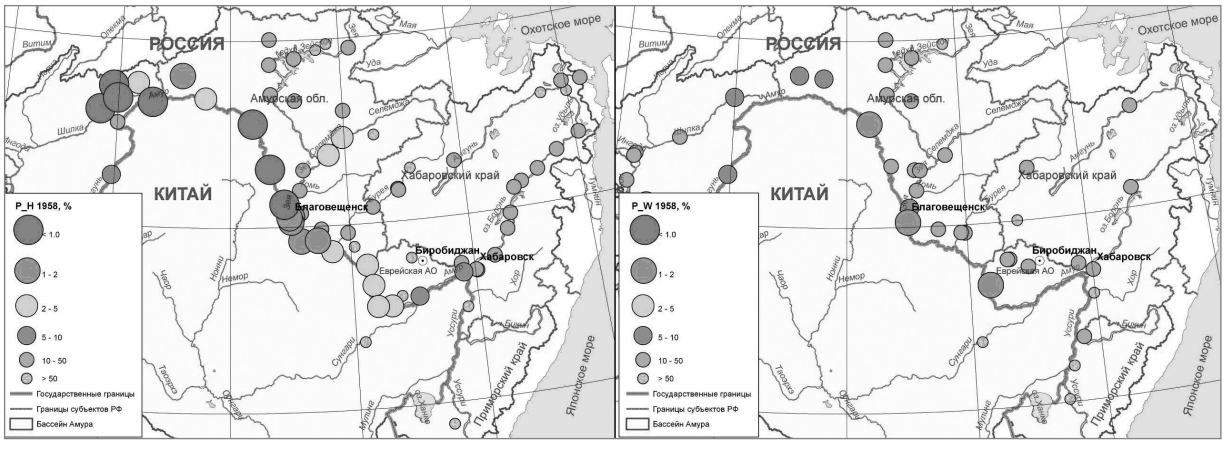


Рис. 1. Распределение обеспеченностей максимальных уровней воды (слева) и объемов паводка (справа) по территории Амурского бассейна в 1958 г.

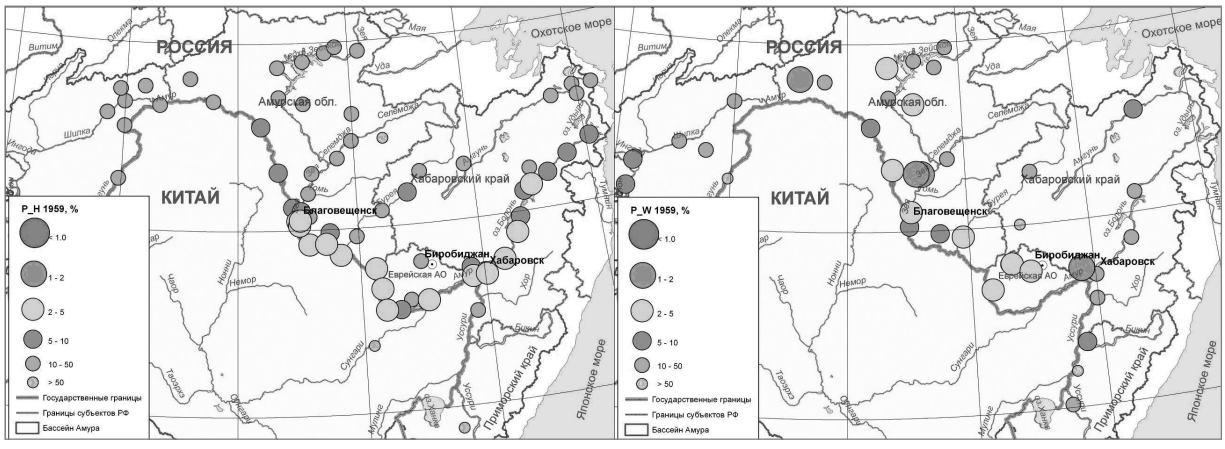


Рис. 2. Распределение обеспеченностей максимальных уровней воды (слева) и объемов паводка (справа) по территории Амурского бассейна в 1959 г.

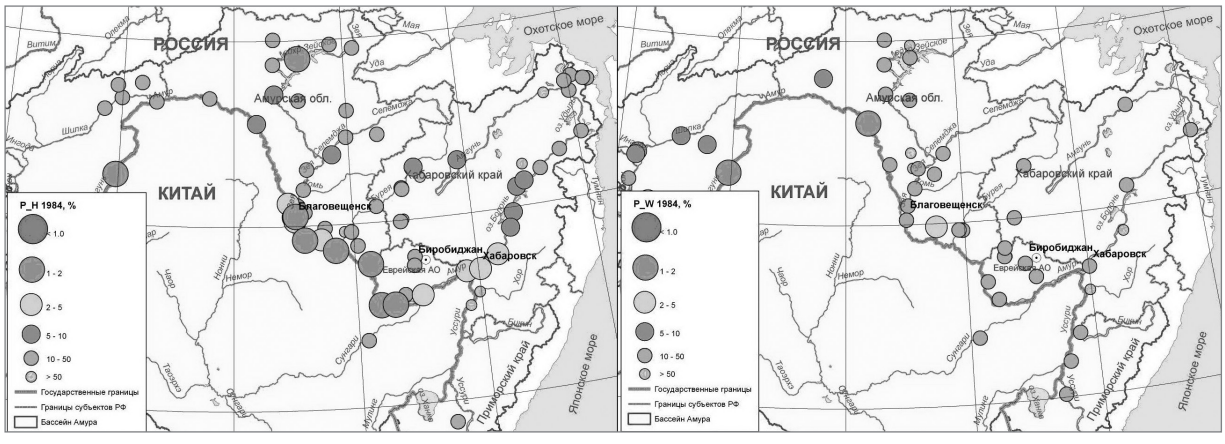


Рис. 3. Распределение обеспеченностей максимальных уровней воды (слева) и объемов паводка (справа) по территории Амурского бассейна в 1984 г.

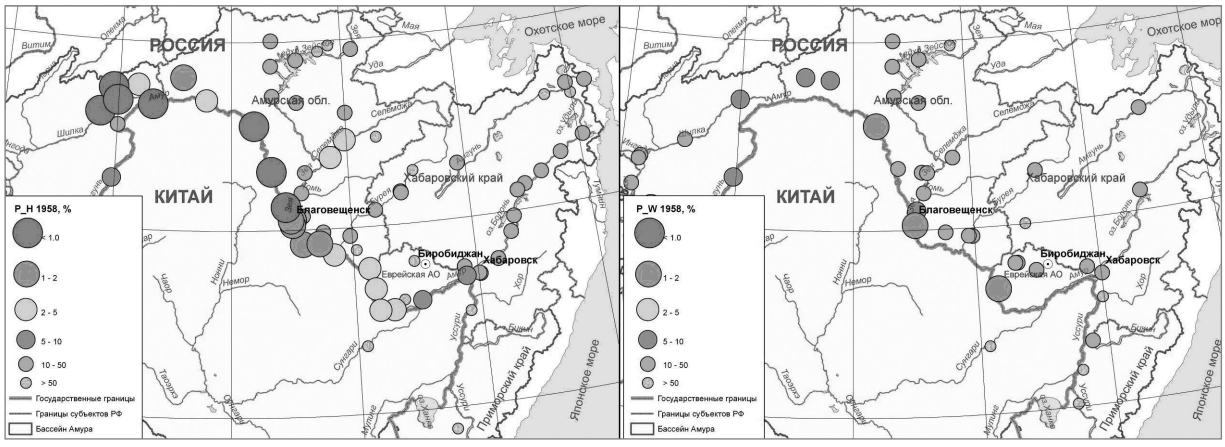


Рис. 4. Распределение обеспеченностей максимальных уровней воды (слева) и объемов паводка (справа) по территории Амурского бассейна в 2013 г.

В **1984 г.** (рис. 3) водность практически всех рек бассейна Амура была выше нормы, как по максимальным уровням, так и по объемам паводка. В зоне формирования стока Амура паводок характеризовался большой высотой только на Аргуни, ряде притоков Зеи и Амгуни. Объем паводка всего Верхнего Амура, включая Аргунь и Шилку, был весьма высоким; на других притоках, включая Зею, он незначительно превышал норму. В результате на Верхнем Амуре образовалась паводочная волна с обеспеченностью 5–10% по высоте и 1–2% по объему. В Благовещенске высота паводка характеризовалась обеспеченностью около 2%, которая далее продвигалась по Среднему Амуру с обеспеченностями 1–2%, а на

Нижнем Амуре постепенно снижалась в зону обеспеченности по высоте 5–10%. Объем паводка в Амуре при этом не был экстремальным.

В **2013 г.** (рис. 4) водность практически всех рек бассейна Амура была выше нормы как по максимальным уровням, так и по объемам паводка. Катастрофический паводок 2013 года в зоне формирования стока Амура характеризовался большой, хотя и не экстремальной высотой на реках Аргунь, Шилка, Зея и Сунгари. Объем же паводка на Верхнем Амуре, в бассейне Зеи и ряда других правобережных притоков Амура был экстремально большим и характеризовался обеспеченностями менее 1%. В результате у Благовещенска сформировалась паводочная волна с обеспеченностями по высоте 2–5%, а по объему – менее 1%.

По мере продвижения по Среднему Амуру экстремальность высоты паводка возрастала. После впадения Сунгари, на которой паводок был экстремальным по объему, но в пределах обеспеченностей 5–10% по высоте за счет регулирования стока китайскими водохранилищами, высота паводка резко увеличилась до обеспеченностей около 0,5% в Хабаровске и 0,5–1,0% далее по Нижнему Амуру.

Резюмируя результаты анализа экстремальности прошедших в XX веке и в 2013 г. паводков в бассейне Амура, можно сделать следующие выводы по особенностям формирования выдающихся наводнений в различных частях бассейна:

1) Наводнения на Амуре формируются главным образом на 6-ти его главных притоках (основной зоне формирования стока) – реках Аргунь, Шилка, Зея, Бурея, Сунгари и Уссури. Чем большее количество из этих притоков имеет значительно повышенную водность, тем выше паводок на Амуре.
2) На экстремальность наводнений на Амуре влияют не только максимальные расходы и уровни паводков на его притоках, но и объем этих паводков в результате большой их продолжительности.
3) Наводнения в г. Благовещенске формируются в результате паводков на Верхнем Амуре и в бассейне Зеи, при этом они могут быть обусловлены как большой высотой уровня кратковременных паводков, так и большим объемом продолжительных паводков при относительно небольшой высоте. Экстремальность наводнений здесь увеличивается в случаях синхронного прохождения паводков по Верхнему Амуру и Зее.
4) Для формирования опасных наводнений на Среднем Амуре, в г. Хабаровске и на Нижнем Амуре обязательным условием является образование паводочной волны большого объема на Верхнем Амуре и/или р. Зея. Такие паводки даже при относительно невысоких максимальных расходах и уровнях (1959 и 1984 гг.) вызывают подъем уровней воды на Среднем Амуре и в Хабаровске до экстремально опасных значений, которые могут сохраняться и на Нижнем Амуре. При экстремально высоких по расходам и уровням, но кратковременных паводках с относительно невысоким объемом на Верхнем Амуре и в бассейне р. Зея (1958 год) высота паводка на Среднем Амуре постепенно снижается и не вызывает наводнений в Хабаровске и на Нижнем Амуре (при отсутствии высоких паводков на притоках Среднего Амура). К опасному повышению уровня воды в г. Хабаровске и на Нижнем Амуре не привел также экстремально высокий паводок на р. Сунгари в 1998 г. ввиду невысокой водности в остальной части бассейна.
5) В 2013 г. паводки сформировались на 4-х из 6-ти основных притоков Амура – реках Аргунь, Зея, Сунгари и Уссури. Максимальные расходы и уровни не были выдающимися (обеспеченности от 2 до 7%); объемы же паводков, особенно на реках Зея и Сунгари, оказались экстремально высокими. Совпадение этих факторов явилось одной из причин катастрофического наводнения на большей части бассейна Амура.

FACTORS OF EXTREME FLOODS FORMATION ON THE AMUR RIVER BASED ON SPATIAL ANALYSIS OF PROBABILITIES OF FEATURES OF EXTREME FLOODS IN THE AMUR BASIN

Shalygin A.L.

State Hydrological Institute, St.Petersburg, Russia, shalygin@ggi.nw.ru

ABSTRACT

Analysis of spatial distribution of probabilities of the maximum levels and water discharges, as well as of the volumes of most outstanding floods on the Amur river and its basin has shown that extremality of floods on the Amur river depends not on the maximum levels and discharges of floods on its tributaries, but mainly, on great volumes of these floods as a result of their long duration.

ПОДСЕКЦИЯ 2.2

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

СУБРЕГИОНАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО СТЕПЕНИ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Белоусова А.П., Руденко Е. Э.

Институт водных проблем РАН, Москва

belanna47@mail.ru

Предложена методика субрегионального районирования степени устойчивости подземных вод к техногенной нагрузке (водоотбору) на территории Российской Федерации и в отдельных ее субъектах.

Задачей районирования является установление степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке на территории РФ и отдельных её субъектов. Решение подобной проблемы (от большого к малому) целесообразно осуществить путем районирования территории, методики различных видов (географического, геолого-гидрогеологического и др.) разработаны и широко применяются для различных научных и практических целей.

Основные положения районирования:

– масштаб районирования порядка 1: 40 000 000, субрегиональное мелкомасштабное районирование носит обзорный характер о состоянии пресных подземных вод на территории России;
– исходные материалы для районирования: ежегодные данные мониторинга за подземными водами Федерального агентства по недропользованию;
– таксономия районирования: формируется по принципу географического, геолого-гидрогеологического и административного. Выделяются провинции, области и районы;
– объектами районирования являются Российская Федерация, федеральные округа и субъекты РФ;
– главным природным объектом районирования являются питьевые подземные воды;
– основными характеристиками для выделения объектов районирования являются индикаторы и индексы, характеризующие степень воздействия и устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке. За основу при формировании структуры индикаторов устойчивости ресурсов подземных вод взяты, разработанные ранее, подходы к формированию индикаторов устойчивости качества подземных вод [Белоусова 2001, Белоусова 2006].

Методика субрегионального районирования территории по степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке.

Рассмотрим некоторые подходы к районированию степени воздействия техногенной нагрузки на ресурсы подземных вод и степени их устойчивости под воздействием этой нагрузки. Таксонометрия районирования будет формироваться от субрегионального до субъектного уровней, для расчетов индикаторов и индексов использовались данные [Информационный бюллетень, 2011].

Предлагаем следующие градации (таксоны) районирования [Белоусова и др., 2015].

Провинция – характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по отношению к средним показателям по Российской Федерации.

Внутри этой градации выделяются следующие:

Субпровинция (субпр) – характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по федеральным округам (окр) по отношению к средним показателям по Российской Федерации (РФ).

Предлагаем следующее ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод: **I** – слабое воздействие (0,0–0,5); **II** – среднее воздействие (0,5–1,0); **III** – высокое воздействие (1,0–1,5); **IV** – очень высокое воздействие (от 1,5 и более). В скобках количественные значения индексов из [Белоусова и др., 2015]).

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке: А – очень высокая устойчивость (0,0–0,5);

B – высокая устойчивость (0,5–1,0); C – средняя устойчивость (1,0–2,5); D – слабая устойчивость (2,5–5,0).

Надпровинция (надпр) – характеристика степени воздействия (ИВ) и состояния (ИС – устойчивости) ресурсов подземных вод по субъектам федерации (суб) по отношению к средним показателям по Российской Федерации ($ИВ_{надпр}$ = = $ИВ_{суб}/ИВ_{РФ}$).

Ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод ($ИВ_{надпр}$ = $ИВ_{суб}/ИВ_{субпр}$): I – слабое воздействие (0,0–1,0); II – среднее воздействие (1,0–2,5); III – высокое воздействие (2,5–5,0); IV – очень высокое воздействие (более 5,0).

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке ($ИС_{надпр}$ = $ИС_{суб}$ / $ИС_{субпр}$): a – очень высокая устойчивость (0,0–1,0); b – высокая устойчивость (1,0–5,0); c – средняя устойчивость (5,0–10,0); d – слабая устойчивость (более 10,0).

Подпровинция (подпр) – характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по субъектам федерации по отношению к средним показателей по федеральным округам к средних по Российской Федерации, т.е. к индексу по субпровинции.

Ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод ($ИВ_{подпр}$ = $ИВ_{суб}$/ $ИВ_{субпр}$): *I* – слабое воздействие (0,0–1,0); *II* – среднее воздействие (1,0–2,5); *III* – высокое воздействие (2,5–5,0); *IV* – очень высокое воздействие (более 5,0).

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке ($ИС_{подпр}$ = $ИС_{суб}$ / $ИС_{субпр}$): *a* – очень высокая устойчивость (0,0–1,0); *b* – высокая устойчивость (1,0–5,0); *c* – средняя устойчивость (5,0–10,0); *d* – слабая устойчивость (более 10,0).

Область (обл) – характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод по субъектам федерации по отношению к средним показателям по федеральным округам.

Ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод ($ИВ_{обл}$ = $ИВ_{суб}/ИВ_{окр}$): 1 – слабое воздействие (0,00–0,25); 2 – среднее воздействие (0,25–0,50); 3 – высокое воздействие (0,50–0,75); 4 – очень высокое воздействие (0,75–1,00); 5 – чрезвычайно высокое (более 1,00).

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке ($ИС_{обл}$ = $ИС_{суб}/ИС_{окр}$): а – очень высокая устойчивость (0,00–0,25); б – высокая устойчивость (0,25–0,50); в – средняя устойчивость (0,50–0,75); г – слабая устойчивость (0,75–1,00); д – чрезвычайно слабая (более 1,00).

Район (рн) – характеристика степени воздействия и состояния (устойчивости) ресурсов подземных вод среди субъектов РФ.

Ранжирование по **степени воздействия** на ресурсы подземных вод ($ИВ_{рн}$ = $ИВ_{суб}$): *1* – слабое воздействие (0,00–0,25); *2* – среднее воздействие (0,25–0,50); *3* – высокое воздействие (0,50–0,75); *4* – очень высокое воздействие (0,75–1,00); *5* – чрезвычайно высокое (более 1,00).

Ранжирование по **степени устойчивости (состояния**) ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке ($ИС_{рн}$ = $ИС_{суб}$): *а* – очень высокая устойчивость (0,00–0,25); *б* – высокая устойчивость (0,25–0,50); *в* – средняя устойчивость (0,50–0,75); *г* – слабая устойчивость (0,75–1,00); *д* – чрезвычайно слабая (более 1,00).

Таким образом, завершающим объектом субрегионального районирования будет являться субъект РФ. На карте субрегионального районирования и в экспликации к ней субъект РФ будет иметь следующее обозначение – код (например, *субъект Московская область и г. Москва*): [(II-D) (II-d) (*II-b*)] [2-a] [*2-в*]. Расшифровка этого кода следующая: в первой квадратной скобке приведена характеристика **провинции**, внутри этой скобки в первой круглой скобке дана характеристика ***субпровинции***: рассматриваемый субъект находится в ЦФО, который характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и слабой степенью их устойчивости к этой нагрузке по сравнению со средними показателями по РФ; во второй круглой скобке дана характеристика ***надпровинции***: рассматриваемый субъект характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и слабой степенью их устойчивости к этой нагрузке по сравнению со средними показателями по РФ; в третьей круглой скобке дана характеристика ***подпровинции***: рассматриваемый субъект характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и высокой степенью их устойчивости к этой нагрузке по сравнению со средними показателями по федеральному округу и РФ; во второй квадратной скобке дана характеристика **области**: рассматриваемый субъект характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и очень высокой степенью их устойчивости к этой нагрузке по сравнению со средними показателями по ФО; в третьей квадратной скобке дана характеристика **района**: рассматриваемый субъект характеризуется средней степенью воздействия на подземные воды и средней степенью их устойчивости к этой нагрузке по сравнению с другими субъектами РФ.

Результаты субрегионального районирования устойчивости ресурсов подземных вод к техногенной нагрузке.

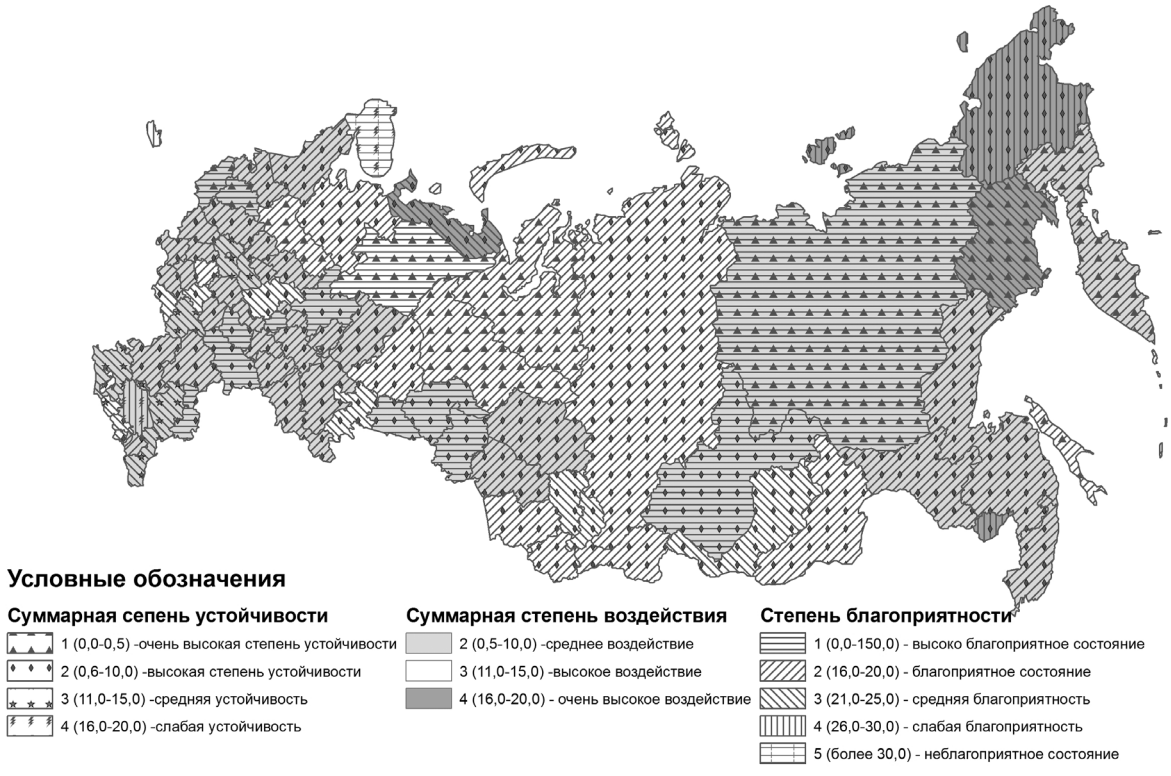


Рис. 1. Карта субрегионального районирования РФ по степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке

Следующим шагом субрегионального районирования является построение карты, обобщающей результаты районирования. Для этого проведены дополнительные исследования.

1. Определены базовые индикаторы:
   – суммарные индикаторы воздействия и состояния для субпровинции [Белоусова и др., 2015];
   – суммарные индикаторы воздействия и состояния для всех субъектов РФ (районов) [Белоусова и др., 2013].
2. Рассчитаны значения индикаторов воздействия и состояния для надпровинции и подпровинции и области [Белоусова и др., 2015].
3. Установлены коды районирования для каждого объекта (таксона) районирования от субпровинции до района.
4. Определены степени воздействия и устойчивости ресурсов подземных вод для каждого объекта районирования.
5. Определены суммарные субрегиональные индикаторы воздействия и устойчивости (состояния). Для этого введены весовые значения каждого выделенного индикатора объекта субрегионального районирования от субпровинции до района. Рассчитаны отдельно суммарные субрегиональные индикаторы воздействия и устойчивости по кодам каждого субъекта.
6. Определен интегральный субрегиональный индикатор благоприятности состояния ресурсов подземных в каждом субъекте РФ путем сложения суммарных субрегиональных индикаторов воздействия и устойчивости по кодам субъектов.
7. Установлена степень суммарного воздействия и устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенному воздействию и, в зависимости от этого, установлена степень благоприятности состояния ресурсов подземных вод в каждом субъекте:

Суммарная степень воздействия: 1 – 0,0–0,5 – слабое воздействие; 2 – 0–10,0 – среднее воздействие; 3 – 11,0–15,0 – высокое воздействие; 4 – 16,0–20,0 – очень высокое воздействие.

Суммарная степень устойчивости (состояния): *1* – 0,0–0,5 – очень высокая устойчивость; *2* – 0–10,0 – высокая устойчивость; *3* – 11,0–15,0 – средняя устойчивость; *4* – 16,0–20,0 – слабая устойчивость.

Степень благоприятности состояния: **1** – 0,0–15,0 – высоко благоприятное состояние; **2** – 16,0–20,0 – благоприятное состояние; **3** – 21,0–25,0 – средне благоприятное; **4** – 26,0–30,0 – слабо благоприятное; **5** – более 30,0 – неблагоприятное.

Полученные таким образом характеристики показаны на итоговой карте субрегионального районирования ресурсов подземных вод на территории Российской Федерации (рис. 1).

Заключение. В результате субрегионального районирования получена комплексная характеристика состояния и устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке (водоотбору из водоносных горизонтов) на территории отдельных субъектов РФ по отношению к этим же условиям в целом на территории Российской Федерации и федеральных округов, к которым принадлежат эти субъекты.

Это позволило выделить проблемные субъекты РФ, где необходимо проводить дополнительные исследования по установлению причин сложившейся ситуации. Причинами могут быть как недостатки в оценке ресурсов и запасов подземных вод в отдельных регионах, так и нарушения проектных режимов эксплуатации месторождений и отдельных водозаборов пресных подземных вод (переэксплуатация) и др.

По данным субрегионального районирования к числу проблемных субъектов РФ по степени благоприятности состояния ресурсов подземных вод следует отнести Мурманскую и Калининградскую области, Ставропольский край, Еврейский и Чукотский автономные округа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белоусова А.П. Качество подземных вод: современные подходы к оценке. – М.: Наука, 2001. – 340 с.

Белоусова А.П. Оценка рисков загрязнения подземных вод как одной из характеристик устойчивости их качества //Водные ресурсы, 2006. – Том 33. – № 2. – С. 239–252.

Белоусова А.П., Антонов К.А., Кирьякова Е.А. Динамика устойчивости ресурсов подземных вод России при антропогенном воздействии за период наблюдений 2005–2010 годы // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, 2013. – № 11. – С. 56–72.

Белоусова А.П., Руденко Е.Э. Методика субрегионального районирования территории по степени устойчивости ресурсов подземных вод к антропогенной нагрузке //Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, 2015. – № 1. – С. 12–26.

Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2010 г., вып. 34, Федеральное агентство по недропользованию, Геоинформарк. – М.: 2011. – 208 с.

SUB-REGIONAL ZONING OF GROUNDWATER RESOURCES OF THEIR SUSTAINABILITY AGAINST ANTHROPOGENIC LOAD IN RUSSIA

Belousova A.P., Rudenko E. E.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, belanna47@ mail.ru

ABSTRACT

The technique of sub-regional zoning of the sustainability of groundwater to the anthropogenic load (water intake) is proposed for the territory of Russia.

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОД БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

Бородулина Г.С.

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

bor6805@yandex.ru

Дается характеристика химических типов подземных вод кристаллических пород Карелии в условиях различного водообмена с учетом зональных факторов и геологической структуры.

Гидрогеологическая изученность Карелии остается достаточно слабой и неравномерной, что объясняется в первую очередь тем, что подземные воды как источник водоснабжения на фоне больших ресурсов поверхностных вод до последних лет не привлекали внимания. В настоящее время положение меняется, поскольку поверхностные источники часто не отвечают требованиям к качеству питьевой воды по природным и антропогенным кондициям в отличие от подземных. При оценке перспектив использования подземных вод региона важная роль принадлежит теоретическим аспектам проблемы формирования химического состава подземных вод кристаллических щитов.

Гидрогеохимическая характеристика подземных вод Карелии до последнего времени проводилась по типу водовмещающих пород или геоструктурному принципу [Гидрогеология…, 1977; Иешина и др., 1987; Бородулина, 2004]. Попытки такой систематизации не привели к ожидаемым результатам, так как в одинаковых по составу породах встречаются различные по минерализации и химическому типу подземные воды и наоборот. Водообмен, который является производным ряда многих природных факторов, становится задающим фактором формирования химического состава подземных вод [Шварцев, 1998].

Карелия располагается на восточном склоне Фенноскандинавского щита и его юго-восточной границе с Русской платформой, в пределах которых формируются водоносные системы гидрогеологического массива и артезианских бассейнов. Массив сложен гранито-гнейсовыми комплексами архейского фундамента, на которых залегают вулканогенно-осадочные отложения протерозоя. Основные особенности геологического строения: длительность континентального развития региона, выход на поверхность древних кристаллических пород, перекрытых только маломощным покровом четвертичных ледниковых отложений.

В пределах Балтийского бассейна трещинных вод основной водоносный горизонт, имеющий повсеместное распространение, залегает в верхней трещиноватой зоне кристаллических пород. Наиболее интенсивная трещиноватость кристаллических пород отмечается до глубин 30–40 м, глубже породы становятся слабопроницаемыми, лишь в зонах тектонических нарушений глубина распространения трещиноватости увеличивается до 100–150 м. Фильтрационные свойства трещиноватых пород крайне изменчивы и, как правило, низкие (средние коэффициенты водопроводимости 1–10 $м^2$/сут) [Ресурсы и геохимия…, 1987]. Практически на всей территории развиты грунтовые воды рыхлых отложений четвертичного покрова невыдержанной мощности.

Водоносные горизонты, как правило, гидравлически связаны между собой. Питание подземных вод осуществляется полностью за счет атмосферных осадков. Общие гидрогеологические условия открытого кристаллического массива, характеризующегося отсутствием региональных водоупоров, определяют довольно простую схему движения подземных вод для всех комплексов водовмещающих пород. Водосборы поверхностных и подземных вод совпадают, движение подземных вод направлено от водоразделов к ближайшим поверхностным водотокам и водоемам, где происходит их разгрузка.

В регионе формируются подземные воды различной минерализации и химического состава. Встречаются воды от ультрапресных до солоноватых, величина *pH* колеблется в пределах *pH* 5,4–9,6. Наиболее широко распространены подземные воды гидрокарбонатные кальциево-магниевые, но встречаются гидрокарбонатные натриевые (содовые), гидрокарбонатные магниевые, сульфатные и хлоридно-натриевые. В таблице 1 приведены примеры разнообразных химических типов подземных вод Карелии.

Подземные воды активного водообмена, независимо от генетического типа четвертичных отложений и состава кристаллических пород, – пресные и ультрапресные (0,04–0,2 г/л), как правило, гидрокарбонатные кальциево-магниевые. Высокая степень обогащения вод углекислотой биохимического происхождения (в среднем 13–40 мг/л CO_2 , максимальные значения – до 150 мг/л) обеспечивает кислую среду (в основном *pH* менее 6,5) агрессивную по отношению к первичным алюмосиликатам.

Таблица 1. Химический состав подземных вод

№	МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ, ВОДОПУНКТ	pH	ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ, мкСм/см	ФОРМУЛА ИОННОГО СОСТАВА
1	Беломорский р-н р.Черная, скважина	6,1	58	$\frac{HCO_3 59 Cl 32 SO_4 9}{Na 39 Ca 32 Mg 23 K 5}$
2	Пряжа, скважина	6,59	97	$\frac{HCO_3 83 SO_4 11 Cl 6}{Ca 44 Mg 33 Na 20 K 2}$
3	Пудожский р-н, Аганозеро, родник	9,35	129	$\frac{HCO_3 81 CO_3 10 Cl 5 SO_4 3}{Mg 91 Na 4 Ca 3 K 1}$
4	6 км ЮЗ Петрозаводска, скважина	7,2	259	$\frac{HCO_3 97 SO_4 2 Cl 1}{Ca 44 Mg 37 Na 13}$
5	Петрозаводск, скважина	8,82	371	$\frac{HCO_3 84 SO_4 10 Cl 5}{Na 93 Ca 3 Mg 2 K 2}$
6	Новая Вилга, скважина	8,03	408	$\frac{HCO_3 94 Cl 3 SO_4 3}{Mg 44 Ca 31 Na 23 K 1}$
7	Петрозаводск, скважина	6,94	560	$\frac{HCO_3 70 SO_4 Cl 9}{Ca 45 Mg 44 Na 10 K 1}$
8	Кондопога, скважина	8,02	645	$\frac{HCO_3 67 Cl 31 SO_4 2}{Na 67 Mg 15 Ca 14 K 4}$
9	Заозерье, скважина	7,52	688	$\frac{HCO_3 56 SO_4 32 Cl 10}{Ca 53 Mg 39 Na 5 K 1}$
10	Косалма, скважина	8,75	893	$\frac{HCO_3 55 Cl 34 SO_4 9}{Na 96 Ca 2 Mg 1 K 1}$
11	Повенец, скважина	8,88	277	$\frac{HCO_3 78 Cl 16 SO_4 6}{Na 93 Ca 5 Mg 1}$
12	Прионежский р-н, Маткачи, скважина	8,37	12190	$\frac{Cl 90 SO_4 10}{Na 87 Ca 11 Mg 2}$
13	Марциальные воды, скважина 4	6,08	1200	$\frac{SO_4 86 HCO_3 13}{Mg 37 Fe 32 Ca 29}$
14	Остров Кижи, скважина	7,78	1524	$\frac{SO_4 53 Cl 26 HCO_3 11}{Mg 43 Ca 34 Na 22 K 1}$
16	Заонежье, родник “Соляная яма”	7,14	5320	$\frac{Cl 90 SO_4 6 HCO_3 4}{Na 74 Mg 14 Ca 11}$

Результаты расчета равновесного состояния подземных вод верхней гидрогеохимической зоны показали, что они неравновесны с первичными алюмосиликатами и карбонатами и пересыщены относительно окислов и гидроокислов железа и алюминия, каолинита, монтмориллонита и других вторичных минеральных фаз. На рисунке 1 показана степень ненасыщенности таких вод по отношению к карбонатам в диапазоне *pH* от 5,4 до 7,5. Вероятность осаждения твердой фазы из раствора оценивалась с помощью программы PHREEQC расчетом степени насыщения в форме индекса насыщения, учитывающего активности индивидуальных ионов в растворе [Гаррелс, Крайст, 1968; Parkhurst and Appelo, 1999].

В условиях замедленного водообмена в породах различного возраста и состава нередко формируются гидрокарбонатные натриевые воды (содовые, насыщенные кальцитом). Масштабы образования щелочности в водах замедленного водообмена превышают резерв свободной углекислоты, поэтому величина *pH* с глубиной возрастает. В соответствии с вертикальной зональностью с глубиной увеличивается минерализация подземный вод и изменяется их химический состав: $HCO_3 - Ca - Mg$ воды по мере насыщения раствора кальцием и магнием зачастую сменяются на $HCO_3 - Na$. В пределах Карелии содовые воды встречаются в породах различного состава (диабазы, доломиты, кварцито-песчаники и др.), что подтверждает тезис о несоответствии состава подземных вод и пород. Так, например, содовые воды распространены на северо-восточном побережье Онежского озера в карбонатных породах. Это щелочные или слабощелочные воды, минерализация которых достигает 1 г/л, при этом концентра-

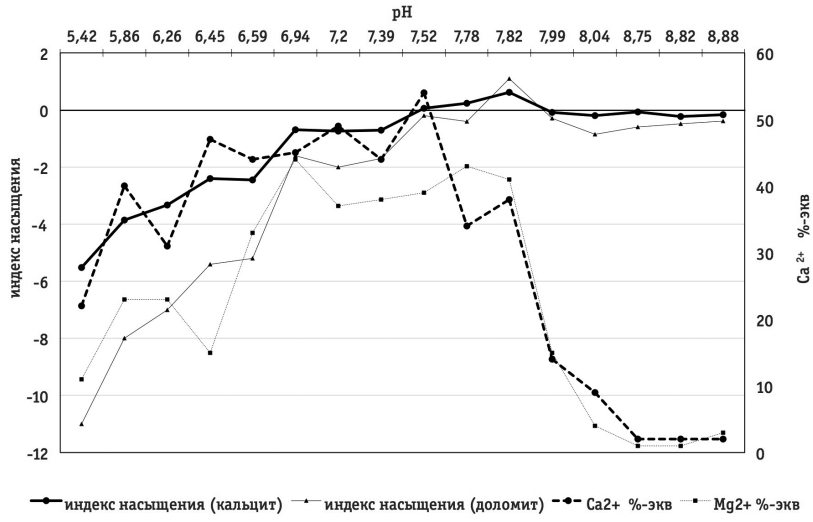


Рис. 1. Изменение индексов насыщения подземных вод карбонатами и относительная концентрация *Mg* и *Ca* в зависимости от величины *pH* (ось *pH* внемасштабная).

ции *Ca* и *Mg* часто составляют всего 1–10 мг/л, а относительное их содержание не превышает единиц процентов (рис. 1, табл. 1). Содообразование – естественный этап развития системы порода-вода, связанный с осаждением карбоната кальция, образованием вторичных продуктов растворения алюмосиликатов [Шварцев, 1998]. Образование содовых в кристаллических массивах – следствие длительного взаимодействия воды с горными породами, и происходит оно либо при нахождении воды ниже местного базиса эрозии, либо при погружении инфильтрационных вод по зонам тектонических нарушений в глубокие части структур. Поэтому состав исходных пород не имеет существенного значения, хотя, чем больше коренные породы содержат натрия, тем при прочих равных условиях больше вероятность формирования содовых вод.

Формирование содовых вод в протерозойских карбонатных породах может происходить, когда вода при движении растворяет кальцит и доломит вплоть до достижения равновесия. Взаимодействуя с другими породообразующими алюмосиликатами, например, плагиоклазами, с которыми вода неравновесна, в раствор будут переходить дополнительные количества кальция, магния и гидрокарбонат-иона, что неизбежно приведет к осаждению кальцита, доломита и накоплению в растворе натрия. Эти теоретические предпосылки полностью подтверждаются описанием карбонатных пород туломозерского комплекса, в составе которых отмечаются новообразованный кальцит и доломит, монтмориллонитовые аргиллиты. Трещины в первичных доломитах иногда полностью выполнены кальцитом.

С термодинамической точки зрения появление содовых вод в кристаллических породах возможно и на небольших глубинах, но повышенная хлоридность подземных вод трудно объяснима. Существует гипотезы как автохтонного [Крайнов, Рыженко, 1999], так и аллохтонного [Lampen, 1992] происхождения *Cl – Na* вод в кристаллических породах щитов. Общим является положение, что разнообразие составов соленых подземных вод щитов – это результат смешения метеорных и глубинных вод в различных пропорциях. Если в верхней гидрогеохимической зоне региона содержание хлор-иона в водах в среднем составляет 5 мг/л, то в вулканогенно-осадочных породах палеопротерозоя отдельными скважинами вскрываются воды с содержанием хлоридов до 3840 мг/л. Это хлоридно-натриевые воды с минерализацией до 7,2 г/л. Абсолютная и относительная концентрация *Cl* и *Na* в них увеличивается с ростом минерализации. Характерной особенностью является высокое содержание в воде гелия (на 2–3 порядка выше равновесного с атмосферой). Хлоридные воды приурочены к надразломным зонам складчато-разрывных дислокаций и, вероятно, связаны с глубинными рассолами, в подтверждение существования которых может служить новые данные о разрезе образований Онежской структуры, включающих мощную толщу каменных солей ятулия [Онежская палеопротерозойская…, 2011]. Здесь находится единственный в Карелии естественный очаг разгрузки солоноватых (4 г/л) хлоридно-натриевых вод. Влияние напорных подземных вод на гидрохимический режим рек этого района проявляется в изменении в меженный период типа воды с гидрокарбонатно-кальциевого на хлоридно-натриевый, как это наблюдалось в р. Антоновщина [Лозовик и др., 2005]. Возможное развитие в пределах Онежской структуры соляных

диапировых структур и влияние современной тектонической подвижности земной коры определяет происхождение соленых подземных вод глубинным источником хлоридов.

В приповерхностных условиях в районах распространения ультраосновных пород (Аганозерско-Бураковский массив) встречаются уникальные маломинерализованные (до 0,2 г/л) щелочные (*pH* 8,3–9,8) гидрокарбонатные магниевые подземные воды (относительное содержание магния достигает 60–90 экв-%). В данном случае химический состав воды контролируется составом породы – локальным распространением серпентинитов с содержанием лизардита 78% и карбонатов 12%.

Гидрогеохимические условия (кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные) определяют уровень содержаний, форму миграции и ассоциации микроэлементов в подземных водах. Изменение гидродинамических, геохимических и биологических условий определяют кислородный режим, который в наибольшей степени влияет на мобилизацию элементов с переменной валентностью. Наибольшую важность среди них имеют железо и марганец, зачастую переходящие в разряд макрокомпонентов, при этом железо формирует свой геохимический тип воды (железистый).

Вертикальная окислительно-восстановительная зональность подземных вод выражается в закономерных изменениях значений *Eh* с глубиной их формирования: от кислородных вод (*Eh* > 250 мВ) к бескислородным и бессульфидным (*Eh* 100 ÷ 250 мВ) и редко сульфидным (*Eh* < 100 мВ) [Крайнов, Швец, 1992]. Эта зональность сопряжена с вертикальной зональностью железосодержащих подземных вод. В соответствии с ней в кислородных водах концентрации железа невелики (< 1 мг/л), вторая зона наиболее благоприятна для существования железа в виде Fe^{2+}. Здесь его концентрации достигают десятков мг/л, максимальная величина – 116 мг/л ("Марциальные воды"). Формирование сульфатных железистых вод на участках распространения шунгитовых пород связаны с окислением наиболее реакционноспособных тонкозернистых сульфидов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00766).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бородулина Г.С. Эколого-геохимические особенности подземных вод Карелии /Автореф. дис., 2004. – 24 с.

Гаррелс Р.М., Крайст Ч.А.. Растворы, минералы, равновесия". – М.: Мир, 1968. – 367 с.

Гидрогеология СССР. Сводный том, вып.3. – М., 1977. – 216 с.

Иешина А.В., Поленов И.К., Богачев М.А., Теруков В.С., Логинова Л.Ф., Перская Е.А., Бородулина Г.С. Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии. –Петрозаводск: Кар.филиал АН СССР, 1987. – 151 с.

Крайнов, С.Р., Швец В.М. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992. – 463 с.

Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н. Происхождение хлоридных подземных вод и рассолов в кристаллических щитах //ДАН, 1999. – Т. 365. – №2. – С. 245–249.

Лозовик П.А., Басов М.И., Зобков М.Б. Поверхностные воды Заонежского полуострова /Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. – Петрозаводск, 2005. – С. 35–47.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. – 431 с.

Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366с.

Parkhurst D.L. and Appelo C.A.J. User's guide to PHREEQC (Version 2) – a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey, Denver, Water-Resources Investigations, 1999. – Report 99-4259.

Lampen P. Saline groundwater in crystalline bedrock – a literature surway. – Helsinki, 1992. – 91 p.

THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER IN CRYSTALLINE ROCKS OF THE BALTIC SHIELD

Borodulina G.S.

Institute of Northern Water Problems Karelian Research Centre of RAS, Petrozavods, Russia, bor6805@yandex.ru

ABSTRACT

The geochemistry of groundwater in crystalline bedrocks of Karelia taking into account the different water exchange, zonal factors, and geological structures is described.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ХИБИНСКОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Гудков А.В.[1], Мазухина С.И.[2], Иванов С.В.[2]

[1]Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты

[2] Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты

mazukhina@inep.ksc.ru

Представлены результаты физико-химического моделирования (ПК Селектор) химического состава подземных вод и данные по содержанию изотопов водорода (δH, ‰) и кислорода (δ^{180}, ‰) в этих же скважинах.

В результате изучения условий формирования природных вод в пределах Хибинского массива в рамках системы "вода-порода" с помощью физико-химического моделирования (ПК Селектор) (Чудненко, 2010) установлена причина некондиционности подземных вод Хибинского массива. Было показано, что время и температура оказывают основное влияние на изменение окислительно-восстановительных условий, которые способствуют содообразованию и связанным с этим резким всплеском концентраций HCO_3^-, фтора, алюминия. (Калинников и др., 2014). Поскольку все воды распространенные в коренных породах и четвертичных отложениях образуют взаимосвязанные водоносные горизонты, эксплуатация водоносных скважин может привести, и приводит, к подсосу некондиционных вод. Анализ концентраций изотопов ^{3}H, ^{3}He, ^{4}He и ^{20}Ne в водах водозабора "Центральный" (южная часть Хибинского массива, Кольский полуостров) показал, что воды являются смесью молодых (более 90%) и древних (менее 10%) вод. Возраст молодой воды, определенный ^{3}H–^{3}He(^{3}H) методом оказался равным 21 ± 1,5 г. Возраст древней воды, оцененный U–Th–^{4}He методом, составляет около 50 тыс. лет. (Гудков и др., 2014). Эти два подхода

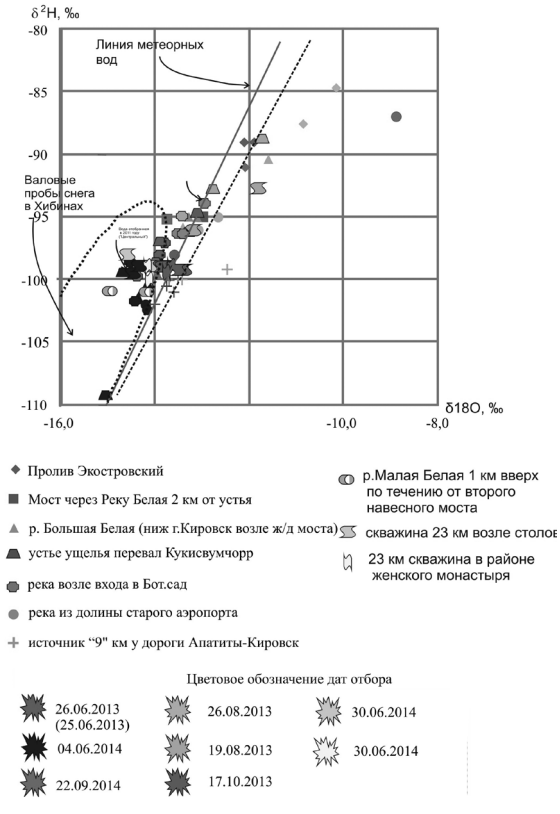


Рис. 1. Пробы поверхностных и подземных вод

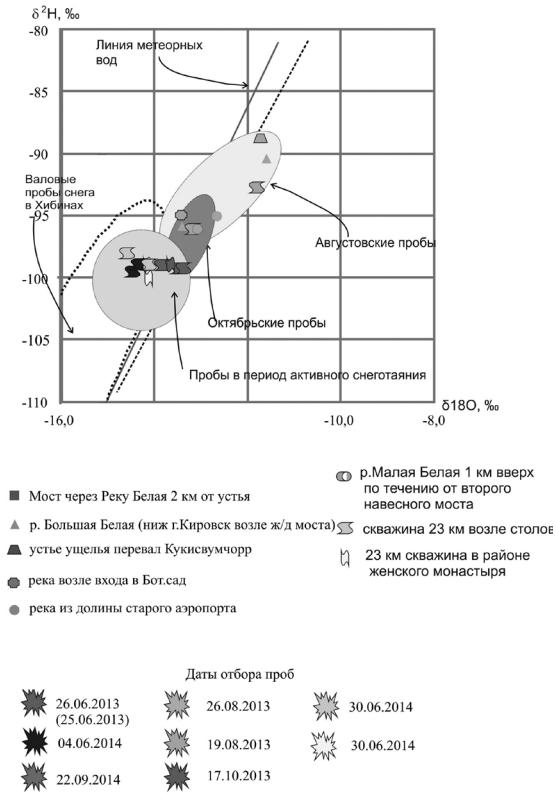


Рис. 2. Сезонное распределение изотопов кислорода и водорода

Таблица 1. Химический состав вод подземных источников

ПАРАМЕТР	23 КМ СТОЛОВАЯ (СКВАЖИНА a)	ЖЕНСКИЙ МОНАСТЫРЬ (СКВАЖИНА b)	Р. МАЛАЯ БЕЛАЯ	РОДНИК "9" (У ДОРОГИ АПАТИТЫ–КИРОВСК)
pH	8,16419	9,2748	7,35752	7,088
Eh	0,722834	0,663708	0,781775	0,8056
T°C	25	25	25	15,5
Al	1,80E-02	1,60E-01	1,80E-02	<0,001
Ca	6,66E+00	3,11E+00	1,04E+00	1,07E+01
Cu	6,40E-03	2,40E-03	1,40E-03	<0,001
Fe	2,00E-02	2,20E-02	6,10E-02	0,001
K	3,15E+00	3,27E+00	1,81E+00	5,79
Mg	1,03E+00	3,30E-01	7,20E-02	1,65
Mn	1,00E-03	7,00E-04	1,50E-03	<0,001
CO_3^{-2}	5,45E-01	4,31E+00	1,81E-02	2,50E-02
HCO_3^-	7,31E+01	4,47E+01	1,66E+01	5,20E+01
NO_3^-	3,60E+00	4,90E+00	4,00E-01	3,40E+00
NH_4^+	2,00E-02	2,00E-02	2,00E-02	
Na	2,41E+01	2,73E+01	5,30E+00	1,10E+01
CO_2	7,62E-01	3,60E-02	1,13E+00	7,63E+00
N_2	1,74E+01	1,63E+01	1,44E+01	1,69E+01
O_2	1,39-8,12	3,81-8,24	8,14E+00	2,98E+00
HSO_4^-	6,47E-06	7,94E-07	5,68E-06	8,75E-05
SO_4^{-2}	1,08E+01	1,73E+01	1,39E+00	1,54E+01
SiO_2	2,54E+00	2,56E+00	3,57E+00	5,67
H_4SiO_4				1,38E+01
Sr	7,00E-02	1,60E-02	6,50E-02	4,95E-03
Zn	4,80E-02	1,02E-02	1,40E-02	<0,001
Ni	1,10E-03	6,00E-04	1,50E-03	<0,001
Cl^-	1,16E+00	2,46E+00	9,90E-01	2,50E+00
Pb	4,00E-04	2,00E-04	3,00E-04	<0,001

могут дополнять друг друга в определении возраста воды и ее химии.

Целью данной работы было сопоставление результатов термодинамического моделирования с данными геохимических работ по изучению особенностей питания подземных источников.

В течении 2012-2015 года (ГИ КНЦ РАН) проводились исследования по содержанию изотопов водорода ($\delta\ ^2H$, ‰) и кислорода (δ^{18} O, ‰) в скважинах в районе "23 км" возле столовой (скважина "a"), и возле женского монастыря (скважина "b"), и исследование вод реки "Малая Белая". Также в разные сезоны (весенний, осенний, летний и зимний) исследовались метеорные воды (снег, дождь), воды открытых водоемов и тающих снежников, находящихся в районах скважин. Результаты представлены на рисунках 1–2. Распределение скважин относительно линии метеорных вод показывает, что воды скважин и воды открытых водоемов, в период активного снеготаяния, имеют практически одни и те же координаты, что указывает на снеговой тип питания (рис. 1).

Сезонные распределения изотопов кислорода и водорода (рис. 2) указывают, что изменения изотопов в скважинах и открытых водоемах меняются аналогичным образом. Их сезонная корреляция не отличается от сезонной корреляции поверхностных вод. В таблице 1 представлены химические анализы подземных источников и результаты моделирования (ПК Селектор) [Чудненко, 2010]. Отбор проб проведен летом 2014 г. Проба "9" (у дороги Апатиты-Кировск) – в апреле 2015 г.

Сравнение представленных данных с результатами мониторинга и моделирования формирования природных вод в пределах Хибинского массива [Мазухина, 2012] приводит к выводам:

– относительно реки Малой Белой концентрации отдельных элементов увеличены в несколько раз, но, в целом, концентрации входят в преде-

лы формирования поверхностных вод как взаимодействие “вода-порода”;

– подземные источники отличаются высокими концентрациями по Na, Ca, K, HCO_3^- (скважины a, b), что может указывать или на очень большие глубины или на влияние антропогенных вод. Близость концентраций основных катионов и анионов (Na^+, K^+, SO_4^{-2}, HCO_3^-) с водами озера Большой Вудъявр, высокие концентрации NO_3^- свидетельствуют о влиянии антропогенно-измененных поверхностных вод на химический состав вод указанных скважин;

– питание родника “9” комплексное – за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока из трещинно-жильных зон разломов, что соответствует результатам В. Н Ананьева (2009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ананьев В.Н. Родники земли Кольской/В.Н. Ананьев. – Мурманск: Кн. изд-во, 2009. – 144 с.

Гудков А.В., Каменский И.Л., Мелихова Г.С.,. Скиба В. И, Токарев И.В., Толстихин И.Н. Тритий–гелий-3 метод и его применение для датирования подземных вод (на примере Кировского горнопромышленногорайона, Мурманская область) //Геохимия, 2014. – №5. – С. 1–8.

Калинников В.Т., Мазухина С.И.. Максимова В.В., Маслобоев В.А., Чудненко К.В. Физико-химические факторы некондиционности химического состава природных вод Хибинского массива //ДАН. 2014. – Т. 458. – №5. – С. 551–554.

Мазухина С.И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. – Апатиты. Изд. Кольского научного центра РАН, 2012. – 173 с.

Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2010. – 287 с.

GEOCHEMICAL GROUNDWATER ASSESSMENT OF THE KHIBINY MASSIF

Gudkov A.V.[1], Mazukhina S.I.[2], Ivanov S.V.[2]

[1] Geological Institute, KSC RAS, Apatity, Russia

[2] Institute of Industrial Ecology Problems of the North, KSC RAS, Apatity, Russia

mazukhina@inep.ksc.ru

ABSTRACT

Presented the results of physical-chemical modeling (Selector software package) of the groundwater chemical composition and data on the content of hydrogen (δ H, ‰) and oxygen (δ180, ‰) isotopes in the boreholes.

ФИЗИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВИРУСНОЙ ИНВАЗИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ДЕГРАДАЦИИ КРИОЛИТОЗОНЫ

Дзюба А. В.

Институт водных проблем РАН, Москва
avdz@mail.ru

Представлена концепция, согласно которой оттаивание многолетнемерзлых пород есть предиктор глобальной вирусной инвазии, а источником ее распространения служат подземные воды криолитозоны.

Подземные воды зоны активного и замедленного водообмена подпитываются атмосферными осадками. Поэтому принято считать, что основные загрязнители – механические, химические, биологические, а также тепловое загрязнение поступают в подземные воды сверху (из тропосферы, поверхностных вод, почвы). Механизмы противоположной направленности, т.е. процессы загрязнения почвы, поверхностной гидросферы и атмосферы, когда источником загрязнения служат подземные воды, до настоящего времени не изучены. Предпосылки и последствия перехода бактерий и вирусов из криосферы в подземную гидросферу, а затем в поверхностные воды и атмосферу, а также их региональные и глобальные транспортные коридоры не описаны. Цель данной работы – описать предпосылки возникновения и механизмы развития глобальной экологической опасности контаминации подземных и поверхностных вод чужеродными для современной биосферы вирусами и микроорганизмами.

Физические предпосылки. Арктическая и субполярная зоны – наиболее климатически уязвимая область Земли. В многолетнем ходе температуры приземного воздуха в последние десятилетия в приполярной зоне Северного полушария наблюдаются положительные тренды 1-го и 2-го порядков, превышающие таковые в других широтных зонах [Дзюба, 2009; Дзюба, Зекцер, 2001; IPCC, 2013]. Особенностью Северного полушария является широкое распространение многолетнемерзлых пород на континентах и на шельфе Арктических морей. Общая площадь распространения материковой многолетней мерзлоты в Северном полушарии в настоящее время составляет около 26 млн км^2. Отмечается сокращение общей площади распространения многолетнемерзлых грунтов [IPCC, 2013]. Согласно результатам, полученным с использованием пяти различных долгосрочных прогнозов изменения климата, в ближайшие 25–30 лет площадь многолетней мерзлоты может сократиться на 10–18%, а к середине столетия на 15–30%, при этом ее граница сместится к северо-востоку на 150–200 километров [Анисимов, 2004]. Глубина сезонного протаивания, в среднем, возрастет на 20% [Дзюба, Зекцер, 2011], а на Арктическом побережье и в отдельных районах Западной Сибири – до 50% [Анисимов, 2004]. В Западной Сибири (Ямал, Гыдан) температура мерзлых грунтов повысится в среднем на 1,5–2°С [Анисимов, 2004; Дзюба, Зекцер, 2011]. В южной периферийной зоне ожидается полная деградация мерзлоты островного распространения.

Биохимические предпосылки. Биологическая активность вирусов проявляется только при наличии гидроксильной группы и в зараженных ими клетках. Существуют две глобальные биохимические формы – клетки, из которых состоит все живое, и вирусы, из которых ничего не состоит, однако они повсюду. До настоящего времени, часто при анализе качества природных вод вирусы рассматриваются как разновидность микроорганизмов. С учетом современных биохимических представлений при различных условиях вирусы представляют собой принципиально разные формы существования материи. Вне биосферы вирусы могут рассматриваться, как химические вещества способные сохраняться миллионы лет. В условиях биосферы вирусы приобретают свойства, которые ставят их в один ряд с живыми микроорганизмами.

Криобиосфера – наименее изученная часть биосферы. Новейшие данные свидетельствуют, что мерзлая часть литосферы не является областью биохимического покоя. Эксперименты с радиоактивно мечеными субстратами, показали, что микроорганизмы не только сохраняют жизнеспособность в мерзлоте, но и способны осуществлять метаболические реакции и репарировать нарушения ДНК [Шатилович и др., 2010]. Для криолитосферы характерно наличие или отсутствие тончайших пленок незамерзшей воды. В первом случае наличие незамерзших пленок воды обеспечивает существование древних экосистем представленных микроорганиз-

Рис. 1. Схема формирования и развития глобального экологического кризиса

мами с предельно низкими скоростями биохимических реакций и активными вирусами. Во втором случае в мерзлых толщах имеются только кристаллизованные не активные вирусы, возраст которых соответствует времени формирования мерзлоты. В обоих случаях пространства, внутри которых находятся древние криобионты и палеовирусы, изолированы от окружающей среды до тех пор, пока криолитообразования физически стабильны. Таким образом, криолитосфера является природным банком жизнеспособных палеобиосистем и биологически не активных вирусов. Микроорганизмы и вирусы криолитосферы соответствуют генетическому разнообразию древних экосистем и чужеродны современной биосфере.

Очевидно, что при потеплении климата и оттаивании многолетнемерзлых пород палеобиота и древние вирусы оказываются в первую очередь в подземных водах криолитозоны. При этом криобионты полностью восстанавливают свою физиологическую активность и заново вовлекаются в биохимические процессы. Вирусы, находящиеся в кристаллическом состоянии, присоединяя группу H – OH, приобретают активность, проявляющуюся на следующих этапах: прикрепление вируса к клетке подземного гидробионта, внедрение в нее, латентная стадия, образование нового поколения вирусов. Внутри клетки начинает синтезироваться ДНК (и) или РНК вируса и образуется множество новых вирусов. В результате в подземном биотопе с огромной скоростью образуются новые поколения древних вирусов и генетически измененных литобионтов.

Длительность пребывания мерзлой толщи непрерывно в мерзлом состоянии различна. В основном, в пределах Северной Евразии и Северной Америки она оценивается от 300 тыс. до 1 млн лет [Faizutdinova et al., 2005]. В районах островной криолитозоны возраст мерзлоты снижается, вероятно, до 10 тыс. лет и менее.

Контаминация подземных вод аллохтонными вирусами способствует вовлечению в экологию вирусов иных хозяев и появлению так называемых “новых-старых” вирусов, свойства которых непредсказуемы как для их прежних хозяев, так и для новых – педо-, терро-, гидро-, и аэробионтов (включая человека).

Схему стадий формирования и развития глобального экологического риска (или, возможно, стресса), представленную на рисунке 1, можно описать следующим образом: 1 – таяние многолетней мерзлоты; 2 – проникновение палеобиоты и древних вирусов в подземные воды, переход вирусов из кристаллического в биологически активное состояние, инфицирование “новыми” вирусами клеток организмов современного биотопа, быстрое размножение “новых вирусов”; 3 – естественная и искусственная разгрузка подземных вод криолитозоны; 4 – попадание палеобиоты и древних виру-

сов в почву, поверхностную гидросферу и атмосферу; 5 – глобальный транзит палеобиоты и вирусов вследствие процессов общей циркуляции атмосферы и гидросферы; 6 – попадание инфицированных педо-, терра-, гидро- и аэробионтов, а также палеобиоты и древних вирусов на территории вне криолитозоны; 7 – кантоминация подземных вод вне криолитозоны; 8 – ивазионное давление, глобальный экологический стресс, предпосылки развития биотического кризиса.

Реализация рассмотренного сценария – возможно одно из основных негативных последствий наблюдаемого в последние десятилетия глобального потепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Анисимов О.А., Лавров, С.А.*2004. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных обьектов ТЭК. //Технологии ТЭК, 2004. – №3. – С. 78–83.

Дзюба А.В. Формализация дальней корреляционной связи североатлантического колебания и температурного режима атлантико-евразийской приполярной зоны. //Метеорология и гидрология, 2009. – №5. – С. 16–33.

Дзюба А.В., Зекцер И.С. Взаимосвязь подземных вод криолитозоны и изменений климата. //Водные ресурсы, 2011. – Т. 38. – №1. – С. 20–29.

Шатилович А.В., Шмакова Л.А., Губин С.В., Гиличинский Д.А. Жизнеспособные простейшие в вечной мерзлоте Арктики. //Криосфера Земли, 2010. – Т. XIV, – №2. – С. 69–78.

Faizutdinova R., Suzina N., Duda V. et al. Yeasts Isolated from Ancient Permafrost. // Life in Ancient Ice. Princeton, Princeton Univ. Press, 2005. – ch. 8. – P. 118–126.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate.: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. – 1535 pp.

PHISICAL AND BIOHEMICAL BACKGROUND VIRUS INVASION OF UNDERGROUND WATER IN PERMAFROST DEGRADATION

Dzyuba A.V.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, avdz@ mail.ru

ABSTRACT

This paper focuses on the concept according to that the thawing permafrost is considered as a global predictor of viral invasion and the source of viral invasion spreading is groundwater of Cryolithozone.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО КРИОЛИТОЭФФЕКТА

Дзюба А. В.

Институт водных проблем РАН, Москва

avdz@mail.ru

Раскрыто понятие и описан физический механизм формирования климатического криолитоэффекта, как суммарного эффекта обратных климатических связей, обусловленных динамикой криолитосферы.

Подземные льды – составная часть подземных вод и, соответственно, подземных водных ресурсов, а также вторая по массе составляющая криосферы после многолетних поверхностных ледниковых покровов. На современном этапе эволюции геологической среды в криосфере содержится около 75% мировых запасов пресной воды, которые в настоящее время не используются и рассматриваются в качестве потенциальных водных ресурсов. Масса подземных вод в виде подземных льдов оценивается $5 \cdot 10^{17}$ кг [Шарбатян, Шумский, 1976], что составляет около $5 \cdot 10^5$км^3 или около 2% массы всей криосферы, включающей в себя также ледниковые покровы и ледники, морские льды, снежный покров, айсберги и атмосферные льды. Подземные льды включают сезонномерзлые и многолетнемерзлые породы (ММП). Среднемноголетняя площадь сезонномерзлых пород около $60 \cdot 10^6$ км^2. Особое значение имеют ММП, площадь распространения которых в глобальном масштабе составляет примерно $32 \cdot 10^6$ км^2. ММП занимают около 25% площади суши Северного полушария (около $26 \cdot 10^6$ км^2), в том числе более чем $11 \cdot 10^6$ км^2 в России, занимая около 65% территории страны [Brown and etc., 1997]. Объем пресной воды, содержащейся в подземных льдах, на порядок превышает величину ежегодного глобального речного стока (примерно $4{,}3 \cdot 10^4$ км^3) и на 2 порядка среднемноголетнюю величину подземного стока в Мировой океан (около $2{,}2 \cdot 10^3$км^3) [Зекцер, 1988]. Ресурсы поверхностных вод и подземных вод зоны активного водообмена метеогенны и, вследствие этого, возобновляемы на интервалах порядка лет и десятилетий. Подземные льды климатогенны и невозобновляемы на рассматриваемых интервалах. По ходу эволюции климата водные ресурсы в виде подземных льдов могут в значительной степени сокращаться или возрастать. Цель настоящей работы описать физический механизм формирования криолитоэффекта, как суммарного эффекта обратных климатических связей различного знака, возникающих вследствие современной динамики криолитозоны.

Механизмы прямых и обратных климатических связей реализуются в сложном взаимодействии. В сильно неравновесных состояниях климатические подсистемы начинают воспринимать те факторы воздействия извне, которые они бы не восприняли в бо-

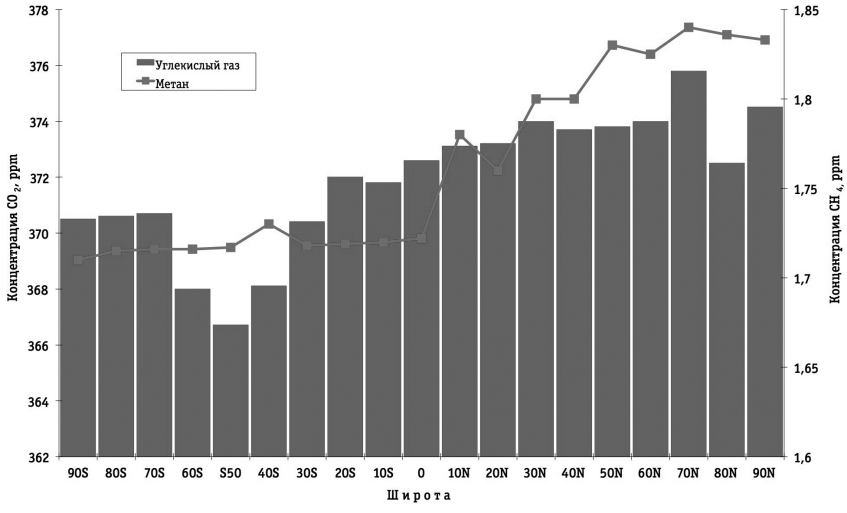


Рис. 1. Изменение по широте концентрации углекислого газа и метана в тропосфере

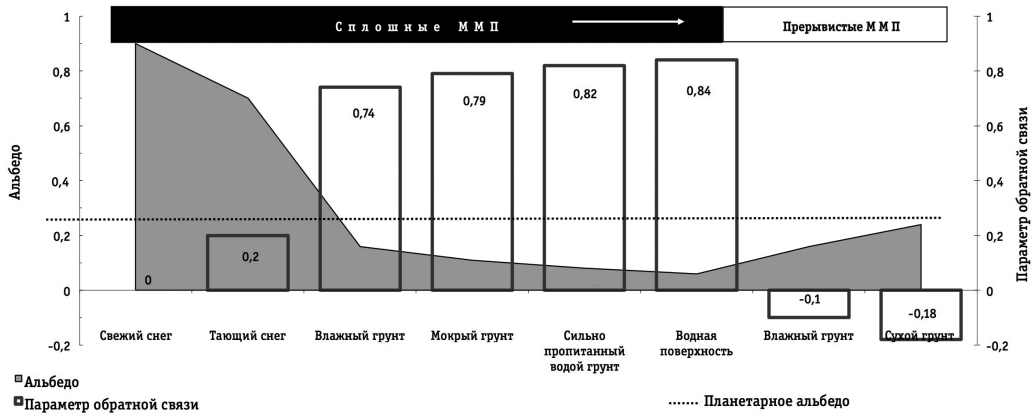


Рис. 2. Альбедо супесчаной подстилающей поверхности разной степени увлажненности и изменение параметра альбедной обратной климатической связи в соответствии с современной динамикой криолитозоны

лее равновесном состоянии. В состояниях, далеких от равновесия, начинают действовать бифуркационные механизмы — наличие кратковременных точек раздвоения перехода к тому или иному относительно долговременному режиму системы — аттрактору. Заранее невозможно предсказать, какой из возможных аттракторов займёт система.

На протяжении последних трех десятилетий в северной приполярной зоне во все сезоны года наблюдается более заметный рост температуры приземного воздуха по сравнению с другими широтными зонами [Дзюба, 2009; Дзюба, Зекцер, 2009; IPCC, 2013].

В атмосфере северных широт наблюдается планетарный максимум концентрации углекислого газа и метана, тогда как антропогенные выбросы этих газов максимальны в умеренных и субтропических широтах Северного полушария (рис. 1).

Основные характеристики криолитозоны Северного полушария чувствительны к современным изменениям климата и, прежде всего, к их термической составляющей [Дзюба, Зекцер, 2009; IPCC, 2013]. Толщина слоя сезонного протаивания многолетнемерзлых пород увеличивается в среднем для разных районов криолитозоны со скоростью около 10 см за 10лет. Средняя скорость повышения температуры мерзлотных грунтов на глубине до 30 м составляет от 0,1 до 0,5°С за 10 лет. Увеличивается продолжительность периода положительных температур приземного воздуха. Наблюдается переход значительных площадей мерзлоты сплошного распространения в прерывистую, а последних в островную при сокращении общей площади многолетнемерзлых грунтов.

Прогрессирующее оттаивание многолетнемерзлых пород сопровождается расконсервацией значительных объемов органических веществ. Это генерирует дополнительную эмиссию метана из водных наземных и подземных экосистем. По нашим оценкам, плотность потока природного биогенного метана в тропосферу вследствие оттаивания многолетнемерзлых пород в приполярной широтной зоне превышает плотности антропогенных и природных потоков метана в других широтных зонах. Возможно, именно, следствием этого является формирование планетарного максимума в широтном распределении концентрации CH_4 в атмосфере в северной приполярной зоне. Глобальное распределение фонового содержания метана в тропосфере соответствует рассчитанным значениям плотности потоков метана в различных широтных зонах.

В районах сплошной криолитозоны на севере Западной Сибири наблюдается переход значительных объемов влаги из твердого состояния в жидкое на поверхности суши и в верхнем слое почвы. Отмечается увеличение площади водного зеркала на подстилающей поверхности. Это вызывает рост испарения и влагосодержания атмосферы, усиление парникового эффекта и дополнительный рост температуры приземного воздуха. Кроме того, уменьшается альбедо подстилающей поверхности, вследствие чего наблюдается рост теплосодержания верхнего слоя почвы, наземных и подземных водных объектов, повышение их собственного излучения и, следовательно, дополнительный рост температуры приземного воздуха (рис. 2).

В южном секторе субарктики (Западной Сибири) в районах прерывистого распространения многолетнемерзлых пород наблюдается обратное – сокращение площадей водного зеркала, иссушение подстилающей поверхности, как следствие, уменьшение испарения и абсолютной влажности воздуха. При этом растет альбедо подстилающей поверхности. Эти эффекты обуславливают снижение температуры приземного воздуха.

Параметр климатической обратной связи – способ количественного описания радиационной реакции климатической системы на изменение приземной температуры, вызванное радиационным воздействием (единицы измерения: Вт/м^2/°С). Этот параметр изменяется обратно пропорционально эффективной чувствительности климата. Формально параметр климатической обратной связи (£) определяется как £ = (ΔQ – ΔF) / ΔT, где Q – среднее радиационное воздействие, T – средняя температура воздуха на поверхности, F – поток тепла в океан, а Δ означает изменение по отношению к невозмущенному климату.

Таким образом, на современном этапе коэволюции климата и человеческой цивилизации криолитоэффект проявляется в одновременном формировании климатических обратных связей разного знака. Знак и величина параметра аддитивного климатического криолитоэффекта (суммарного эффекта обратных климатических связей обусловленных динамикой криолитосферы) является функцией термодинамического состояния криолитозоны. При реализации сценария дальнейшего потепления климата значение параметра отрицательной обратной связи, обусловленной деградацией криолитозоны, будет возрастать, а положительной – снижаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дзюба А.В. Формализация дальней корреляционной связи североатлантического колебания и температурного режима атлантико-евразийской приполярной зоны. //Метеорология и гидрология, 2009. – № 5. – С. 16–33.

Дзюба А.В., Зекцер И.С. Изменения климата и многолетнемерзлые породы: прямые и обратные связи. // Доклады Академии Наук, 2009. – Т. 429, № 3. – С. 402–405.

Зекцер И.С. Вода под водой. – М.: Знание, 1988. – 48 с.

Шарбатян А.А., Шумский П.А. К эволюции криосферы Земли// В кн. Проблемы палеогидрологии. – М:Наука,1976. – С. 143–160.

Brown J., Ferrians O. J., Heginbottom J. A., and Melnikov E. S. Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground Ice Conditions.–Circum Pacific Map Series, 1997.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate.: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. – 1535 pp.

MECHANISM OF FORMATION OF CLIMATE EFFECT OF PERMAFROST

Dzyuba A.V.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, avdz@ mail.ru

ABSTRACT

The mechanism of the formation of the climatic effect of permafrost as a cumulative effect feedbacks caused by the dynamics of permafrost is described in this paper.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ В БАЛЬНЕОТЕРАПИИ

Жарков Р.В.

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

rafael_zharkov@mail.ru

Рассматриваются современные бальнеологические ресурсы Курильских островов. На примере уникального для Курильских островов месторождения углекислых кремнистых термальных вод "Дачное" (о. Итуруп) оценены перспективы использования гидротерм в бальнеотерапии.

ВВЕДЕНИЕ

Курильские острова, входящие в состав Сахалинской области, обладают уникальными по физико-химическим свойствам термальными водами, как подземными, так и поверхностными. Здесь встречаются практически все известные гидрохимические типы термальных вод, характерные для областей активного вулканизма Земли. В мире мало таких вулканов, как на Курильских островах, где на небольшом участке выходят абсолютно разные по физико-химическим параметрам гидротермы: от ультракислых сульфатных до нейтральных хлоридных натриевых с температурой 30–100°С. Различия гидрохимических особенностей термальных вод региона обеспечивают разнообразие бальнеотерапевтических свойств и дают возможность лечения широкого спектра болезней. В 2013–2014 гг. сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН были выполнены научно-исследовательские работы по оценке современных бальнеологических ресурсов Сахалинской области, в том числе, на островах Парамушир, Итуруп и Кунашир (Курильские острова). Получены уникальные данные практически по всем известным термопроявлениям и месторождениям гидротерм. Исследовались физические свойства, химический, газовый и изотопный составы подземных и поверхностных термальных вод. На основе этих материалов впервые были составлены бальнеологические заключения по наиболее перспективных объектам региона и даны конкретные рекомендации по их использованию в бальнеотерапии. Один из самых интересных и перспективных бальнеологических объектов на Курильских островах – Дачное месторождение углекислых кремнистых термальных вод (о. Итуруп), результаты современных исследований которого приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дачное месторождение углекислых кремнистых гидротерм расположено в долине ручья Надежда, правого притока реки Высокотравная, в 3,5 км к северо-западу от места ее впадения в залив Касатка и в 6 км к северо-западу от аэропорта "Буревестник" (южная часть о. Итуруп, Курильские острова).

История исследования источников Дачные отечественными учеными начинается с 1950-х гг. В 1951 г. один из источников этой группы был обследован Л.Е. Михайловым. В 1953 г. источники изучались В.В. Ивановым, в 1958 г. – О.К. Калишевичем, в 1962 г. – В.Е. Бевзом. По химическому составу Дачные источники В.В. Иванов относил к углекислым, среднеминерализованным, нейтральным, хлоридно-гидрокарбонатным натриевым, и рассматривал их как весьма близкий аналог воды "Ессентуки-4". Дополнительные лечебные свойства этим водам придает очень высокое содержание метакремниевой кислоты, а также их повышенная температура, в связи с чем, В.В. Иванов ещё в 1950-х гг. рекомендовал здесь организовать бутылочный розлив минеральной воды [Мархинин, Стратула, 1977]

Учитывая перспективы использования гидротерм на участке "Дачное" в 1979 г. были начаты планомерные гидрогеологические работы, к 1987 году пробурено 8 поисковых скважин, которые охарактеризовали преимущественно водоносный комплекс отложений парусной свиты плиоцена. Скважины №1, №2, №5, №6, №7 вскрыли углекислые термоминеральные воды. Скважины №3, №4, №8 находятся вне зоны распространения углекислых вод. Естественные ресурсы термоминеральных вод участка "Дачное", характеризующие прогнозные ресурсы категории Р, ориентировочно оценены в количестве 14900 м^3/сут, в том числе эксплуатационные запасы углекислых кремнистых терм категории C_2 на площади разгрузки термоминеральных источников Дачные в долине ручья Надежда – 2290 м^3/сут [Современная изученность..., 1991].

С 1990-х гг. сведений в научной литературе о гидротермах Дачного месторождения не было. В 2013–2014 г. сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН были проведены работы по оценке современных физико-

химических параметров термальных вод и перспектив их использования в бальнеотерапии [Оказание услуг..., 2014]. В настоящее время в долине ручья Надежда имеется несколько низкотемпературных малодебитных термальных источников. В центральной части месторождения действуют скважины №5 и №6. В 400 м выше по течению, на левобережной террасе ручья Надежда, сохранилась скважина с температурой гидротерм 43-44°С, вода этой скважины используется местными жителями для купаний: здесь оборудованы две чугунные ванны, в которые по желобу стекает вода из скважины.

Скважина №6, имеющая глубину около 500 м, находится в 30 м от ручья Надежда, примерно в 1,2 км выше его впадения в реку Высокотравная. Скважина обильно изливается и интенсивно газирует. Температура воды составляет 32–33°С, pH 6,5, дебит – около 3 л/с. От скважины отходит труба, подводящая воду в контейнер, который местные жители иногда используют для купаний. По химическому составу вода относится к маломинерализованным (М – 4,9 г/дм^3), хлоридно-гидрокарбонатным натриевым гидротермам с высоким содержанием метакремниевой кислоты. В воде присутствуют микрокомпоненты (мг/дм^3): Al – 0,076; Ba – 0,119; Be < 0,00014; B – 8,4; Br – 8,4; Bi < 0,001; V < 0,001;W < 0,05; Fe^{2+3+} – 0,31; I < 0,181; Cd < 0,0001; Co < 0,005; Li – 2,52; Mn – 0,19; Cu < 0,001; Mo < 0,04; As – 0,091; Ni < 0,001; Hg – 0,00001; Pb < 0,001; Se –0,00026; Ag < 0,005; Sr – 1,46; Sb < 0,005; U < 0,002; PO_4^{3-} < 0,25; F < 0,1; Cr < 0,01;CN < 0,01; Zn – 0,005; CO_2 – 281; $C_{орг}$ – 3,4; фенол < 0,0005; АПАВ < 0,01. Показатели органического загрязнения: O_2 – 16,3; нефтепродукты – 0,0153 мг/дм^3. В составе выделяющихся газов преобладает углекислый газ (93%), содержание азота – 6%. По изотопному составу водорода и кислорода (δD = -58,8‰, $\delta^{18}O$ = -7,5‰) термы скважины близки к метеорным водам.

Скважина №5 расположена на первой надпойменной террасе, в 15 м восточнее скважины №6. В настоящее время на месте скважины находится котлован размером 3,5 × 3,5 м, который образовался из-за обвала обсадки скважины и затоплен поступающей водой. В образовавшемся озерце наблюдается активное поступление термальной воды и выделение газов. Температура воды составляет 23–28°С, pH 7,0, дебит – 40-50 л/мин. Вода скважины маломинерализованная (М – 4,9 г/дм^3), хлоридно-гидрокарбонатная натриевая, кремнистая. В воде присутствуют микрокомпоненты (мг/дм^3): Al – 2,1; Ba – 0,104; Be < 0,0001; B – 9,6; Br – 13,4; Bi < 0,001; V < 0,001;W < 0,05; Fe^{2+3+} – 6,6; I< 0,370; Cd < 0,0001; Co < 0,005; Li – 2,42; Mn – 0,144; Cu < 0,001; Mo < 0,04; As – 0,128; Ni < 0,001; Hg – 0,00001; Pb < 0,001; Se – 0,00026; Ag < 0,005; Sr – 0,56; Sb < 0,005; U < 0,002; PO_4^{3-} < 0,25; F – 7,5; Cr < 0,01;CN < 0,01; Zn – 0,005; CO_2 – 281; $C_{орг}$ – 38; фенол < 0,0005; АПАВ < 0,01. Показатели органического загрязнения: O_2 – 17,1; нефтепродукты – 0,03 мг/дм^3. По изотопному составу водорода и кислорода (δD = -63,2‰, $\delta^{18}O$ = -8,7‰) термы скважины №5 близки к метеорным водам.

В 2013 году во Владивостокском филиале ФГБУ "ДНЦ ФПД" СО РАМН – НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения (г. Владивосток) были проведены бальнеологические экспертизы гидротерм скважин №5 и №6 с целью их типизации и последующей рекомендации по внутреннему и наружному применению. По рекомендациям специалистов, данную воду необходимо выделить в самостоятельный гидрохимический тип при внутреннем применении. Самыми близкими аналогами Дачной лечебно-столовой воды является Азовский и Сочинский гидрохимические типы XXVIIIа группы минеральных вод в ГОСТ Р 54316-2011 "Воды минеральные природные питьевые" Национального стандарта РФ. Дачные гидротермы соответствуют Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (раздел 9, 21, глава II), кроме показателей органического загрязнения O_2 (16–17 мгO_2/дм^3). После приведения в норму органических загрязнений (окисляемость перманганатная) вода может применяться в лечебно-профилактических целях для питьевого внутреннего применения как минеральная лечебно-столовая вода при болезни пищевода, хроническом гастрите с нормальной, повышенной и пониженной секреторной функцией желудка, язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки, болезни кишечника, болезни печени, желчного пузыря и желчевыводящих путей, хроническом панкреатите, нарушении органов пищеварения после оперативного вмешательства, болезни обмена веществ, болезни мочевыводящих путей. Наружное применение гидротерм Дачного месторождения рекомендовано в виде ванн при лечении и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушений обмена веществ, болезнях сердечно-сосудистой, нервной систем, гинекологических заболеваниях и хронических заболеваниях кожи, ожогах [Оказание услуг..., 2014].

Для правильного внутреннего использования гидротерм Дачного месторождения в 2014 году были также проведены экспериментально-клинические исследования в клинике Владивостокского филиала ФГБУ "ДНЦ ФПД" СО РАМН – НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения (г. Владивосток). Известно, что при внутреннем приёме минеральные воды могут оказывать различный по степени выраженности лечебный эффект, обусловленный её

общей минерализацией, физико-химическим и ионно-солевым составом, наличием газов, специфических компонентов и органических веществ. В терапевтическом действии минеральных вод ведущее место отводится электролитному составу минеральной воды. Экспериментально-клиническими исследованиями показано, что минеральные воды при заболеваниях печени и желчевыводящих путей улучшают дезинтоксикационную и белоксинтетическую функции печени, стимулируют процессы желчеобразования и желчеотделения, нормализуют липидный, углеводный и белковый обмен, поэтому при клинических испытаниях для гидротерм месторождения "Дачное" были выбраны заболевания билиарного тракта. В клинических исследованиях приняли участие 32 человека в возрасте от 24 до 65 лет с заболеваниями гепатобилиарной системы. Материалом клинического исследования служили данные субъективного и объективного обследования пациентов, разработанная анкета на выявление заболеваний билиарного тракта, протоколы ультразвукового исследования, сыворотка крови. После обследования пациентам назначали минеральную воду комнатной температуры по 200 мл за 1 час до приема пищи, 3 раза в день. Курс лечения составил 14 дней. Анализ полученных после курса лечения данных показал, что под действием минеральной воды у 88% пациентов отмечалась позитивная динамика клинических симптомов функции желчного пузыря, показателей функционального состояния печени и липидного обмена [Оказание услуг..., 2014].

Результаты клинических испытаний позволяют рекомендовать данную лечебно-столовую воду для бутилирования. Кроме этого, возможно строительство небольшой водолечебницы либо на самом месторождении, но при условии значительных вложений в обустройство подъездной дороги, либо на побережье залива Касатка с подведением гидротерм с помощью водовода длиной около 3,5 километров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дачное месторождение углекислых кремнистых гидротерм на острове Итуруп является уникальным природным объектом для Курильских островов. Это единственное место на островах, где имеются естественные выходы термальных вод с содержанием углекислого газа более 90%. Физико-химические свойства этих гидротерм позволяют использовать их в бальнеотерапии как для наружного, так и для внутреннего применения. Термальная углекислая маломинерализованная, хлоридно-гидрокарбонатная натриевая, кремнистая лечебно-столовая вода месторождения "Дачное" при внутреннем применении у пациентов с заболеваниями билиарного тракта оказывает гипохолестеринемическое, гепатопротекторное, холеретическое и прокинетическое действие. Установленная бальнеотерапевтическая эффективность лечебно-столовой воды месторождения "Дачное" (о. Итуруп) позволяет рекомендовать её к использованию в первичной и вторичной профилактике заболеваний желчного пузыря и желчевыводящих путей, нарушений липидного обмена в лечебно-профилактических учреждениях санаторного и амбулаторно-поликлинического типа.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ №13-05-00544 "Современная фумарольная и гидротермальная активность вулканов Южных Курильских островов" и государственных контрактов с Министерством здравоохранения Сахалинской области в 2013–2014 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Мархинин Е.К., Стратула Д.С. Гидротермы Курильских островов. – М.: Наука, 1977. – 212 с.

Оказание услуг по созданию кадастра рекреационных ресурсов, проведение комплексного исследования и производства работ в области разведки и использования имеющихся природных ресурсов Сахалинской области: отчет о научно-исследовательской работе / исполн.: *Жарков Р.В.* – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2014. – 268 с. – Инв. №3664 (фонды ИМГиГ ДВО РАН).

Современная изученность гидротермоминеральных ресурсов Сахалина и Курильских островов и перспективы их использования в народном хозяйстве: геологический отчет за 1990–1991 гг. / исполн.: Розорителева Т.С., Прядко В.Е., Спалило Е.Л. – Южно-Сахалинск: Сахалингеология, 1991. – 895 с. – Инв. №461852 (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище).

PROSPECTS OF USE OF THERMAL WATERS OF THE KURIL ISLANDS IN A BALNEOTHERAPY

Zharkov R.V.

Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, rafael_zharkov@mail.ru

ABSTRACT

Modern balneological resources of the Kuril Islands are considered. On the example of a deposit of carbonic siliceous thermal waters "Dachnoe" (Iturup island), unique for the Kuril Islands, estimated use prospects a hydrothermal waters are at balneotherapy.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Зекцер И.С., Каримова О.А.,Четверикова А.В.

Институт водных проблем РАН, Москва

zektser@aqua.laser.ru

Проведен анализ ресурсов пресных подземных вод отдельных средних и крупных городов с численностью населения более 500 тыс. человек. Показано использование пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения по отдельным федеральным округам Российской Федерации и крупных городов. Показано, что чем крупнее город (по численности населения), тем меньше доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

В настоящее время пресные подземные воды играют важную роль в хозяйственно-питьевом водоснабжении (ХПВ) многих стран. Так, доля подземных вод в водоснабжении городов Австрии, Бельгии, Венгрии, Литвы, Германии, Франции, Чехии, Словении и ряда других составляет 50–70% и более [Боревский Б.В., 2013; Боревский Б.В. и др., 2011; Зекцер И.С., 2012; Подземные воды мира..., 2007]. Это объясняется тем, что подземные воды как источник водоснабжения имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с поверхностными водами. Это высокое качество и надежная защита от загрязнения и заражения с поверхности, широкое распространение и доступность, а также экономическая целесообразность (ввод в эксплуатацию водозаборов подземных может осуществляться постепенно по мере роста потребности в воде, в то время как строительство гидротехнических сооружений (водохранилищ, каналов и др.) требует крупных единовременных затрат).

На территории России по состоянию на 01.01.2013 г. разведано 11293 месторождения подземных вод, из которых в эксплуатации находится только 63%. Общие прогнозные ресурсы подземных вод с минерализацией до 3 г/л на территории Российской Федерации составляет 869,1 млн м^3/сут (рис. 1). По субъектам РФ прогнозные ресурсы распределены крайне неравномерно: от 0,1 (Республики Карелия и Калмыкия) до 94,7 млн м^3/сут (Ханты-Мансийский автономный округ). Что касается общих утвержденных запасов подземных вод, то они составляют 93,0 млн м^3/сут (рис. 1), из них 15% приходится на Московскую область (9,6 млн м^3/сут) и Краснодарский край (4,4 млн м^3/сут) [Государственный доклад..., 2014; Информационный бюллетень..., 2012].

Приведённое выше сравнение утвержденных запасов пресных подземных вод и их использование свидетельствует об их избытке в России, и поэтому дает основание некоторым специалистам, и особенно неспециалистам, делать вывод о возможности прекращения поисково-разведочных работ и изучения условий формирования запасов подземных вод. Такое утверждение принципиально неверно по следующим соображениям Превышение утвержденных запасов подземных вод над их использованием (рис. 1) справедливо только для крупных территорий – федеральных округов, областей, крупных субъектов федерации и страны в целом. При этом не учитывается большая неравномерность распределения ресурсов подземных вод. Неравномерность распределения ресурсов подземных вод и их утвержденных запасов наглядно проявляется при оценке водообеспеченности подземными водами отдельных городов, особенно крупных. Такие города не

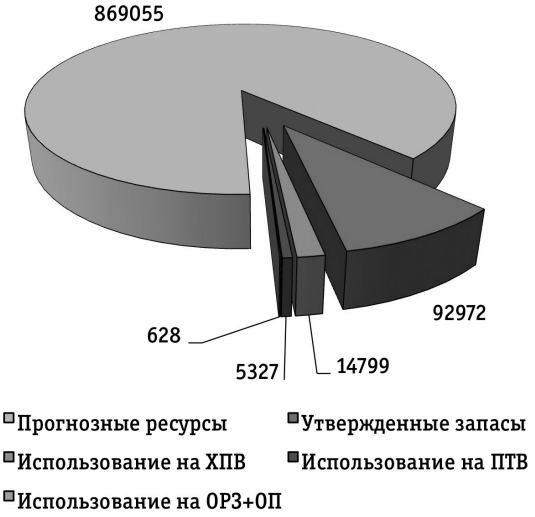


Рис. 1. Соотношение ресурсов (тыс. м^3/сут) и использования пресных подземных вод на территории Российской Федерации

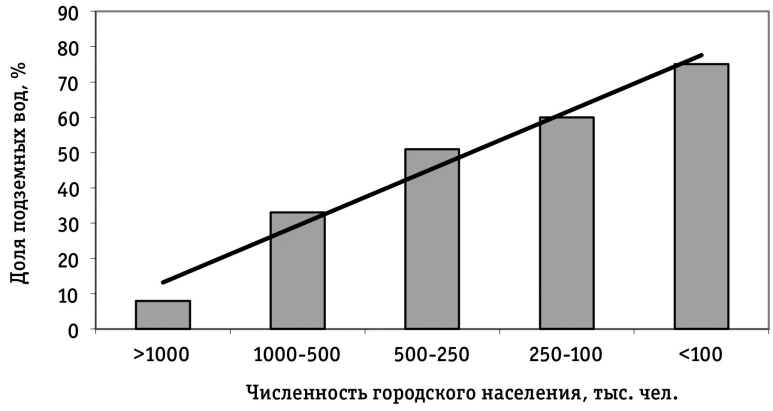


Рис. 2. Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении для городов Российской Федерации с различной численностью населения

обеспечены резервными и утверждёнными запасами питьевых подземных вод, в том числе на перспективу, и вынуждены использовать для ХПВ поверхностные воды, хотя эти города находятся в "благополучных" регионах с точки зрения наличия утвержденных запасов подземных вод. Например, города Екатеринбург, Набережные Челны, Ижевск, Ставрополь, Курган, Северодвинск, Череповец и др. полностью не обеспечены подземными водами, а Санкт-Петербург, Пермь, Челябинск, Омск, Ростов-на-Дону, Петрозаводск, Псков, Астрахань, Таганрог и др. обеспечены подземными водами частично.

Незначительное использование подземных вод на орошение в России объяснятся двумя обстоятельствами. Во-первых, большинство сельскохозяйственных земель в России находятся в благоприятных природно-климатических условиях (естественно, за исключением районов распространения многолетнемерзлых пород), где не требуется искусственное орошение или имеются значительные ресурсы поверхностных вод. Во-вторых, в России, как и в СССР, существует строгое водное законодательство (Водный Кодекс), согласно которому пресные подземные воды высокого качества могут и должны использоваться только на хозяйственно-питьевые цели. И только в тех случаях, когда имеются ресурсы подземных вод, достаточные для водоснабжения населения в настоящее время и в перспективе, возможно использование подземных вод на иные цели по специальному разрешению государственных природоохранных органов.

Пресные подземные воды в большинстве регионов России – один из основных (в ряде случаев единственный) источник питьевого водоснабжения населения. Доля подземных вод в ХПВ России составляет 45%. Особенно велика роль подземных вод в водоснабжении городского населения. Так, из 76 городов с населением более 250 тыс. человек в 26 используют в основном пресные подземные воды (>90% ХПВ), а в 27 – совместное использование подземных и поверхностных вод. В более мелких городах (с населением менее 100 тыс. человек) и сельских населенных пунктах питьевое водоснабжение почти полностью основано на подземных водах (рис. 2). Прямая связь численности населения с использованием подземных вод (рис. 2) не является статистически значимой и не носит характер закономерности, однако показывает общую тенденцию этой связи: чем крупнее город и чем больше проживает в нем человек, тем меньше доля подземных вод в ХПВ. Кроме того, на степень использования подземных вод для ХПВ оказывает существенное влияние неоднородность гидрогелогических условий, а также нехватка ресурсов подземных вод для водоснабжения крупных городов.

Следует отметить, что такая прямая связь между численностью населения и долей подземных вод в ХПВ (рис. 2) нарушается при рассмотрении степени использования подземных вод по отдельным городам и населенным пунктам в пределах конкретного субъекта Российской Федерации. Так из 12 городов с численностью населения более 1 млн человек в 8 (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Екатеринбург, Омск, Волгоград, Челябинск, Ростов-на-Дону) для хозяйственно-питьевых целей используются поверхностные воды, где они являются единственным и не защищенным от загрязнения источником ХПВ. Эти крупные города России живут в условиях постоянной угрозы выхода из строя или разрушения системы ХПВ населения, основанной на использовании поверхностных вод (аварии, наводнения, землетрясения, теракты и др.). Исключение составляет г. Уфа, где водоснабжение населения организованно практически полностью за счет подземных вод.

Исходя из выше приведенного описания ситуации с водоснабжением населения крупных городов, можно сформулировать основные задачи дальнейших научных исследований по проблеме оценки и использования пресных подземных вод для ХПВ:

– провести региональную оценку и картирование защищенности пресных подземных вод от загрязнения с поверхности земли по отдельным регионам;
– выполнить оценку перспектив искусственного восполнения пресных подземных вод для конкретных территорий, а также дать ее экономическую и экологическую целесообразность;
– выполнить гидрогеологическое обоснование мероприятий по созданию резервных источников питьевого водоснабжения крупных городов России, основанных на использовании экологически чистых защищенных от загрязнения пресных подземных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Боревский Б.В. Состояние проблемы изучения и оценки ресурсов пресных подземных вод//В кн.: Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. – М.: Науч. мир, 2013. – С. 21–25.

Боревский Б.В., Данилов-Данильян В.И., Зекцер И.С., Палкин С.В. Использование пресных подземных вод для улучшения водообеспеченности городского населения//Сб.науч.тр. Всерос. науч. конф. "Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования". – Калининград: Капрос, 2011. – С. 55–62.

Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году". – М.: М-во природных ресурсов и экологии, 2014. – 463 с.

Зекцер И.С. Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. Современное состояние и перспективы использования в России. – С.: Науч.мир, 2012. – 428 с.

Информационный бюллетень Федерального агентства по недропользованию о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2012 г. – М.: 2013. – Вып. 36.

Подземные воды мира: ресурсы, использование, прогнозы. (Под ред. Зекцера И.С.). –М.: Наука, 2007. – 437 с.

PERSPECTIVES OF FRESH GROUNDWATER USE FOR WATER SUPPLY OF LARGE CITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Zektser I.S., Karimova O.A., Chetverikova A.V.

Institute of Water Problems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, zektser@aqua.laser.ru

ABSTRACT

The analysis of fresh groundwater resources for some middle and large cities with the population more than 500 ths. people is carried out. The rate of fresh groundwater use for drinking water supply for some federal districts of the Russian Federation and large cities is shown. It is shown that the larger the city (by population), the lower the share of groundwater in drinking water supply.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ

Горюхин М. В., Коган Р. М.

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан

goruhin@mail.ru

Исследовано качество подземных вод гидрологических структур на территории Еврейской автономной области. Проведено определение их химического состава по содержанию макро- и микроэлементов, построены концентрационные ряды, оценено качество воды относительно нормативов, рассчитан суммарный показатель сверхнормативного загрязнения и составлена формула воды по М.Г. Курлову. Показано, что подземные воды Хинганского межгорного артезианского бассейна наиболее пригодны для целей хозяйственно-бытового использования с минимальной водоподготовкой.

Одним из самых ценных ресурсов для человечества являются запасы пресных вод, причем намечается отчетливая тенденция увеличения роли подземных источников в удовлетворении производственно-технических и хозяйственно-питьевых потребностей, что вызвано возрастанием химического и микробиологического загрязнения поверхностных водотоков, обусловленного интенсивной антропогенной нагрузкой [Белоусова и др., 2014; Закутин и др.; Ладанова и др., 2012]. Цель работы – изучение особенностей химического состава подземных вод основных гидрологических структур территории Среднего Приамурья, на примере Еврейской автономной области (ЕАО). Материалы – 490 проб подземных вод, отобранных из скважин, расположенных в различных гидрологических структурах с 2001 по 2013 г.

Анализ химического состава проводился методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой. Определение азота аммонийного осуществлялось по ГОСТ 4192-82, нитратов и нитритов – по ГОСТ 18826-73, сульфатов – по ГОСТ 4389-72, хлоридов – по ГОСТ 4245-72, карбонат-иона – по ГОСТ Р 52953-2008. Содержание химических элементов в подземных водах относительно $ПДК_в$ оценивалось на основе ГН 2.1.5.1315-03 [Гигиенический норматив…, 2003].

Суммарный показатель сверхнормативного загрязнения Z_c рассчитан как $Z_c = \sum (c_i / ПДК) - 1$, где C_i – концентрация, ПДК – предельно допустимая концентрация i-го химического элемента [Тихонов и др., 2007].

В пределах ЕАО выделяются три гидрологические структуры Сихотэ-Алинской гидрогеологической складчатой области второго порядка: Малохингано-Североамурский гидрогеологический массив (dXII-A1), Среднеамурский межгорный артезианский бассейн (cXII-A3) и Хинганский межгорный артезианский бассейн (cXII-A2) [Ладнова и др., 2012]. Химический состав отличается значительными вариациями концентраций макроэлементов как в пределах каждой гидрологической структуры, так и в разных структурах (табл. 1).

Наибольшая концентрация таких макроэлементов, как Si, Fe, Mg, K, Mn, Al зафиксирована в Среднеамурском межгорном артезианском бассейне. Для Малохингано-Североамурского гидрологического массива характерны максимальные концентрации Na и Ca; специфическим макроэлементом, установленным только для данной гидрологической структуры, является Ti. В целом отмечается уменьшение концентрации макроэлементов от Среднеамурского межгорного артезианского бассейна к Хинганскому межгорному артезианскому бассейну. Максимальный разброс концентрации макроэлементов наблюдается в Среднеамурском межгорном артезианском бассейне (Si, Ca, K, Al) и в Малохингано-Североамурском гидрологическом массиве (Na, Fe, Mg, Mn).

Содержание микроэлементов также достаточно сильно различается в разных гидрологических структурах. К специфическим элементам относятся: в Среднеамурском межгорном артезианском бассейне – Zr, Co, Cd, в Малохингано-Североамурском гидрологическом массиве – Ti, Ga, W; в Хинганском межгорном артезианском бассейне – Cs. При этом для последнего характерен наиболее бедный микроэлементный состав (табл. 2).

Максимальная концентрация P, Ba, Sr, Li, Cr, W, Ga установлена в Малохингано-Североамурском гидрологическом массиве. Концентрации микроэлементов уменьшаются от Среднеамурского межгорного артезианского бассейна к Хинганскому межгорному артезианскому бассейну. Причина этого может заключаться в том, что в пределах мощной толщи осадочных пород Среднеамурского межгорного артезианского бассейна создаются условия для формирования зон затрудненного

Таблица 1. Содержание макроэлементов в подземных водах, мг/дм^3

ЭЛЕМЕНТ	СРЕДНЕ-АМУРСКИЙ МЕЖГОРНЫЙ АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН		МАЛОХИНГАНО-СЕВЕРОАМУРСКИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ МАССИВ		ХИНГАНСКИЙ МЕЖГОРНЫЙ АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН	
	$R / \bar{X} \pm S\bar{x}$	V, %	$R / \bar{X} \pm S\bar{x}$	V, %	$R / \bar{X} \pm S\bar{x}$	V, %
Na	1,63–48,70 / 13,77±0,1206	71,2	1,04–102,51 / 14,02±0,2901	161,6	13,17–30,00 / 21,58±0,5275	55,1
Si	5,31–46,55 / 16,52±0,1137	55,9	3,08–15,94 / 7,65±0,0498	50,9	3,00–6,78 / 4,89±0,1187	54,7
Fe	0,05–53,02 / 10,88±0,1382	103,2	0,05–18,12 / 1,63±0,0510	244,7	0,23–1,29 / 0,76±0,0334	98,8
Ca	6,34–87,86 / 18,21±0,1968	87,9	3,79–102,27 / 28,23±0,2927	81,0	9,66–14,12 / 11,89±0,1400	26,5
Mg	1,69–33,78 / 7,21±0,0839	94,6	0,89–20,47 / 4,47±0,0595	103,8	0,8–2,2 / 1,50±0,442	66,3
K	0,75–11,76 / 2,79±0,0361	105,1	0,46–4,18 / 1,44±0,0110	59,7	1,05–2,07 / 1,56±0,0320	46,2
Mn	0,01–1,44 / 0,44±0,0044	80,5	0,005–1,37 / 0,17±0,0046	208,8	0,01–0,15 / 0,82±0,0045	124,1
Ti	–		0,001–0,005 / 0,003±0,00002	53,3	–	
Al	0,002–0,46 / 0,08±0,0015	156,7	0,002–0,38 / 0,05±0,0010	148,3	0,01–0,017 / 0,013±0,0002	36,8

Примечания: R – размах варьирования; $\bar{X} \pm S\bar{x}$ среднее и доверительный интервал;
V – коэффициент вариации.

водообмена и, как следствие, концентрирования химических веществ. Максимальный разброс значений концентрации микроэлементов наблюдается в Среднеамурском межгорном артезианском бассейне для S, Sr, Zn, Br, B, Be, Cu и в Малохингано-Североамурском гидрологическом массиве для Ba, Li, As, Sn, что свидетельствует о непостоянстве химического состава подземных вод этих гидрологических структур.

Концентрационные ряды элементов показывают как сходство, так и различие между химическим составом подземных вод. Концентрации Na, Li и Be увеличиваются от Среднеамурского к Хинганскому межгорному артезианскому бассейну при одновременном снижении концентрации Fe. Следует отметить постоянные позиции Mn, Al, S, P, Sr и Be, причем последний элемент замыкает ряды во всех гидрологических структурах (табл. 3).

Для всех гидрологических структур построены формулы воды [Курлов, 1928]:

I. Среднеамурский межгорный артезианский бассейн:

pH 6,37 ж 2,95 M 0,21 $\dfrac{HCO_3 36 Cl 34 SO_4 18}{Si35 Ca24 Na20 Fe11 Mg10}$

Вода близкая к нейтральной, мягкая, пресная, гидрокарбонатно-хлоридно-кремнистая.

II. Малохингано-Североамурский гидрологический массив:

pH 6,77 ж 1,85 M 0,13 $\dfrac{HCO_3 72 Cl 9 SO_4 8}{Ca39 Si38 Mg11 Na9}$

Вода близкая к нейтральной, мягкая, ультрапресная, гидрокарбонатно-кальциево-кремнистая.

III. Хинганский межгорный артезианский бассейн:

pH 7,0 ж 2,2 M 0,13 $\dfrac{HCO_3 78 Cl 10 SO_4 5 NO_3 2}{Ca70 Si20 Mg5 Na4}$

Вода близкая к нейтральной, мягкая, ультрапресная, гидрокарбонатно-кальциевая.

Формула воды отражает анионный и катионный состав, характеризует тип воды, однако окончательный вывод о ее пригодности для хозяйственно-питьевых целей можно сделать на основе соответствия нормативным показателям.

В водах каждой из гидрологических структур наблюдаются превышения допустимых концентраций отдельных элементов, наибольшие зафиксированы для Fe и Mn в Среднеамурском межгорном артезианском бассейне и Малохингано-Североамурском гидрогеологическом массиве (табл. 4).

Таблица 2. Содержание микроэлементов в подземных водах, мг/дм³

ЭЛЕМЕНТ	СРЕДНЕ-АМУРСКИЙ МЕЖГОРНЫЙ АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН		МАЛОХИНГАНО-СЕВЕРОАМУРСКИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ МАССИВ		ХИНГАНСКИЙ МЕЖГОРНЫЙ АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН	
	$R / \bar{X} \pm S\bar{x}$	V, %	$R / \bar{X} \pm S\bar{x}$	V, %	$R / \bar{X} \pm S\bar{x}$	V, %
S	0,06–41,60 / 4,18±0,1067	207,4	0,11–9,63 / 2,61±0,0253	75,7	2,29–2,48 / 2,39±0,0060	5,7
P	0,07–0,97 / 0,31±0,0028	71,9	0,004–1,03 / 0,225±0,0058	83,1	–	–
Sr	0,05–0,71 / 0,17±0,0018	85,7	0,02–1,83 / 0,22±0,0019	62,8	0,075–0,300 / 0,187±0,0070	84,4
Ba	0,01–0,45 / 0,08±0,0011	107,0	0,003–0,72 / 0,062±0,0019	240,1	0,0196–0,1100 / 0,0648±0,0028	98,7
Zn	0,007–2,49 / 0,12±0,006	409,4	0,003–0,035 / 0,013±0,0001	58,8	0,0370*	
Br	0,003–0,10 / 0,021±0,00039	147,1	0,006–0,10 / 0,043±0,00064	115,1	0,0107*	
B	0,001–0,16 / 0,02±0,00041	166,6	0,004–0,11 / 0,02±0,00032	121,0	0,0132–0,067 / 0,040±0,00169	94,9
Be	0,00025–0,00116 / 0,00071±0,00001	90,7	0,00023–0,00121 / 0,00069±0,000002	17,9	0,00029*	
Cu	0,001–0,036 / 0,014±0,00014	79,4	0,0015–0,0093 / 0,0054±0,00004	56,5	–	
Li	0,0012–0,0244 / 0,0076±0,00009	100,4	0,0013–0,1993 / 0,0319±0,00065	158,9	0,0368–0,1857 / 0,1112±0,00467	97,4
Mo	0,145*		0,0031–0,0191 / 0,0111±0,00014	100,0	–	
Zr	0,088*		–		–	
As	0,0039–0,042 / 0,023±0,00015	89,1	0,0024–0,0261 / 0,0142±0,00021	117,5	–	
Co	0,003*		–		–	
Ni	0,0025–0,025 / 0,015±0,00014	77,5	0,00558*		–	
Cr	0,004*		0,021*		–	
Cd	0,005–0,042 / 0,022±0,00033	111,7	–		–	
Sn	0,008–0,043 / 0,022±0,00018	65,5	0,0016–0,0338 / 0,0128±0,00015	88,9	0,00977*	
Rb	0,008*		0,00122–0,00305 / 0,00214±0,00002	60,5	–	
W	–		0,0018–0,0314 / 0,0035±0,00027	125,7	–	
Ga	–		0,00279		–	
Cs	–		–		0,0084*	

* – единичное измерение.

Концентрационные ряды элементов по степени превышения ПДК выглядят следующим образом: Fe > Mn > Be > Cd > Si (Среднеамурский межгорный артезианский бассейн); Fe > Be > Mn > Li (Малохингано-Североамурский гидрогеологический массив); Li > Fe > Mn > Be (Хинганский межгорный артезианский бассейн). Элементами, концентрация которых выше допустимой, во всех гидрологических структурах ЕАО являются Fe и Mn. Это природные загрязнители, характерные для

Таблица 3. Концентрационные ряды макро и микроэлементов подземных вод

№	МАКРОЭЛЕМЕНТЫ	МИКРОЭЛЕМЕНТЫ
I	Ca>Si>Na>Fe>Mg>K>Mn>Al	S>P>Sr>Mo>Zn>Zr>Ba>Sn>Br>B>Ni>Cu>As>Rb>Li>Cr>Co>Cd>Be
II	Ca>Na>Si>Mg>Fe>K>Mn>Al>Ti	S>P>Sr>Ba>Br>Li>Cr>B>As>Zn>Sn>Mo>Cu>Ni>Ga>Rb>W>Be
III	Na>Ca>Si>K>Mg>Fe>Mn>Al	S>Sr>Li>Ba>B>Zn>Br>Sn>Be

Примечание: I – Средне-Амурский межгорный артезианский бассейн;
II – Малохингано-Североамурский гидрогеологический массив;
III – Хинганский межгорный артезианский бассейн.

Таблица 4. Содержание химических элементов в подземных водах, в единицах $ПДК_в$

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА	Fe	Mn	Si	Cd	Li	Be
Средне-Амурский межгорный артезианский бассейн	0,2–176,8 / 36,3	0,1–14,4 / 4,42	0,5–4,7 / 1,65	5–42,6 / 23,8	–	1,27–5,79 / 3,53
Малохингано-Североамурский гидрогеологический массив	0,2–60,4 / 5,43	0,0–13,76 / 1,71	0,3–1,6 / 1,31	–	0,04–6,63 / 1,06	1,16–6,04 / 3,43
Хинганский межгорный артезианский бассейн	0,77–11,06 / 4,57	0,08–3,79 / 1,56	–	–	1,23–6,19 / 3,71	0,14–3,79 / 1,56

Примечания: числитель – диапазон значений, знаменатель – среднее значение превышения ПДК.

зон активного водообмена, кроме того их дополнительным источником могут служить многочисленные железо-марганцевые месторождения Малого Хингана и его отрогов. В водах Среднеамурского артезианского бассейна и Малохингано-Североамурского гидрогеологического массива отмечается превышение допустимого содержания Si, источником которого могут являться толщи осадочных и вулканогенных пород; высокое содержание Be и Li наблюдается в подземных водах районов развития пород мелового возраста Малохингано-Североамурского гидрологического массива и Хинганского межгорного артезианского бассейна; Cd зафиксирован только в одной точке Среднеамурского артезианского бассейна, что, вероятно, является следствием техногенного загрязнения.

Комплексная оценка качества подземных вод по показателю суммарного сверхнормативного загрязнения (Z_c) демонстрирует большой разброс его значений: в Хинганском межгорном артезианском бассейне – 6,5, в Малохингано-Североамурском гидрогеологическом массиве – 7,94, в Среднеамурском артезианском бассейне – 64,7, что свидетельствует о резком различии в качестве подземных вод и соответственно о различном объеме необходимых работ по водоподготовке.

Вода в Среднеамурском артезианском бассейне имеет наихудшее качество среди всех гидрологических структур ЕАО, поскольку содержит наибольшие концентрации макроэлементов, за исключением Na и Ca, широкий спектр микроэлементов (из них специфическими являются Zr, Co, Cd), характеризуется наибольшими превышениями $ПДК_в$ по Fe, Mn, Si, Cd и самым большим значением показателя суммарного сверхнормативного загрязнения. Подземные воды Малохингано-Североамурского гидрогеологического массива в целом, являются более качественными, показатель суммарного сверхнормативного загрязнения воды для него меньше, здесь отмечены максимальные концентрации Na и Ca; Ti; Ga и W как специфических макро- и микроэлементов; установлено наибольшее превышение Be и Li по отношению к $ПДК_в$. Воды Хинганского межгорного артезианского бассейна отличаются наименьшими концентрациями макроэлементов и очень бедным микроэлементным составом, содержат только один специфический микроэлемент (Cs), характеризуются наименьшим значением суммарного показателя сверхнормативного загрязнения, поэтому они наиболее пригодны для хозяйственно-питьевого водоснабжения по сравнению с остальными гидрологическими структурами ЕАО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белоусова А.П., Агеева И.В., *Руденко Е.Э.* Оценка защищенности подземных вод юга европейской части России // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41. – №2. – С. 131–141.

ГН 2.1.5.1315–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно–питьевого и культурно–бытового водопользования. – М., 2003.

Закутин В.П. Региональные гидрогеохимические провинции пресных подземных вод, некондиционных по содержаниям микроэлементов // Разведка и охрана недр. – 2005. – №11. – С. 10–13.

Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Еврейской автономной области за 2012 г. – Биробиджан, 2013.

Курлов М.Г. Классификация Сибирских целебных вод. – Томск: Изд–во Физиотерапевтического института, 1928.

Ладнова Г.Г., Курочицкая М.Г., Силютина В.В., Грядунова Е.И. Оценка качества системы питьевого водоснабжения в Орловской области // Уч. зап. Орловского госуниверситета. Сер.: Естественные, технические и медицинские науки. – 2012. – №6–1. – С. 142–146.

Тихонов А.И., Голицын М.С., Тихонов В.П. и др. Использование подземных вод верхнеперсмских отложений для питьевого водоснабжения Чувашской республики // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34. – №2. – С. 249–254.

THE FEATURES OF CHEMICAL COMPOSITION OF JEWISH AUTONOMOUS REGION UNDERGROUND WATERS

Gorykhin M.V., Kogan R.M.

Institute for complex analysis of regional problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

goruhin@mail.ru

ABSTRACT

In the paper it is investigated the quality of underwater hydrological structures in Jewish autonomous region. It has been determined a concentration of macro and microelements, built the concentration series, and estimated the water chemical composition relative to the normative indicators. The over normative pollution index has been calculated. The author gives the formula of water according to M.G. Kurlov. It is shown that the Khingan intermountain artesian basin underwater is most appropriate for using it with a minimal water preparation.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИАМУРЬЯ ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ НУЖД

Кулаков В. В.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

vvkulakov@mail.ru

Подземные воды в артезианских бассейнах региона характеризуются высоким содержанием железа (до 30 мг/дм^3) и марганца (до 3 мг/дм^3) на фоне низких значений pH (5,9–6,1). На Тунгусском месторождении некондиционных подземных вод для обеспечения питьевого водоснабжения населения г. Хабаровска завершается строительство водозабора с внутрипластовой очисткой.

Территория Приамурья входит в провинцию железосодержащих и марганецсодержащих пресных подземных вод артезианских бассейнов. Экологические проблемы использования некондиционных пресных подземных вод для питьевых нужд населения обусловлены повышенными природными концентрациями железа (до 70 мг/дм^3), марганца (до 3 мг/дм^3). Площади распространения таких подземных вод приурочены к артезианским бассейнам и долинам рек, сложенными рыхлыми осадочными отложениями [Кулаков, 2011].

Формирование химического состава подземных вод происходит в зоне свободного водообмена. С этим связана невысокая минерализация воды (0,1–0,3 г/дм^3). Воды гидрокарбонатные со смешанным катионным составом. Основные особенности формирования химического состава некондиционных подземных вод зависят от восстановительной (глеевой) обстановки, что приводит к накоплению повышенных концентраций железа и марганца в подземных водах.

Подземные воды Тунгусского месторождения относятся к геохимическому типу бескислородных-бессульфидных вод [Крайнов, 1992; Кулаков, 2011]. Доля катионных форм железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) в подземных водах достигает 99%. Простые миграционные формы железа марганца подтверждаются экспериментально.

Поскольку компоненты универсальных потенциалзадающих систем (кислород и сера) в подземных водах Тунгусского месторождения содержатся в минимальных концентрациях (практически отсутствуют), система железа приобретает в них потенциалзадающую роль [Крайнов,1992].

Распределение железа и марганца в естественных условиях в бескислородных-бессульфидных подземных водах контролируется растворимостью их карбонатов. Поэтому, необходимым условием устойчивой концентрации железа и марганца в подземных водах является наличие высоких содержаний растворенного углекислого газа, низких содержаний аниона HCO_3^- и низких значений pH.

Источником поступления железа и марганца в подземные воды является водовмещающие породы [Кулаков, Кондратьева, 2008; Кулаков и др., 2010]. В естественных условиях регулирование содержания железа в подземных водах Тунгусского месторождения осуществляется карбонатным равновесием, что подтверждается данными минералогического анализа водовмещающих пород. В песчаной фракции водовмещающих пород установлено наличие сидерита с глубины примерно 25-30 м. Причем, его содержание увеличивается с глубиной, при одновременном уменьшении концентраций растворенного в воде железа, и достигают 0,6–2,8% на глубине 55–67 м. Содержание железа в подземных водах этого интервала разреза является минимальным (не более 10–15 мг/дм^3).

Исследованиями установлено, что на участках действующих водозаборов в Среднеамурском артезианском бассейне могут происходить преобразования химического состава подземных вод, выраженные в увеличении концентрации железа и марганца. Механизм увеличения концентраций железа и марганца в подземных водах на участках их эксплуатации связан с увеличением в воде растворенного углекислого газа за счет процессов окисления органических веществ при снижении уровней подземных вод.

Для марганца характерно увеличение содержания с ростом концентраций железа и уменьшение концентраций с ростом концентраций

кремния. Эта взаимосвязь отражает вертикальную гидрохимическую зональность, выраженную в росте концентраций кремния с глубиной.

Результаты пуско-наладочных работ на строящемся Тунгусском водозаборе подземных вод для водоснабжения г. Хабаровска, который введен в эксплуатацию в 2012 году [Кулаков и др., 2011; Кулаков и др. 2012], подтвердили прогноз некоторого увеличения концентраций железа и марганца по сравнению с результатами, полученными в период разведки Тунгусского месторождения.

Для очистки некондиционных подземных вод от железа и марганца в водоносном горизонте на Тунгусском месторождении подземных вод при внутрипластовой очистке удалось достичь полного удаления из воды железа и марганца без применения реагентов и строительства наземных сооружений [Кулаков и др., 2012]. Преимуществом технологии внутрипластовой очистки подземных вод является формирование в пласте биогеохимического барьера, на котором осаждаются железо и марганец [Кулаков, Кондратьева, 2008]. Кроме того, этот барьер является препятствием для поступления к скважинам водозаборов потенциально опасных неорганических и органических примесей и веществ, транспортируемых вместе с речным фильтратом из р. Амур. Органические вещества, которые поступают в водоносный горизонт с речными водами, с течением времени трансформируются до углекислого газа и воды за счет активизации биогеохимических процессов в контактной зоне дно реки – водоносный горизонт и при движении по пласту.

В основу технологии обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном пласте заложена возможность искусственного создания в нем на участках водозаборных скважин гидрогеохимических зон (биогеохимических барьеров), резко отличающихся по окислительно-восстановительным условиям от природных [Кулаков, Кондратьева, 2008]. В естественных условиях водоносного пласта в Приамурье фиксируется восстановительная обстановка: Eh изменяется от (-30) mV до 80 mV, pH составляет 5,8–6,5. Содержание CO_2 в воде достигает 200–250 мг/дм^3 при отсутствии растворенного кислорода. При искусственном насыщении подземных вод кислородом и при удалении H_2S и избыточных концентраций растворенного CO_2 на участках водозаборных скважин происходит изменение состояния среды с восстановительной на окислительную. Увеличивается Eh до 250–400 mV, повышается pH до 7,0, иногда и более. Водовмещающие породы пласта, окружающие эксплуатационные скважины в районе рабочей части фильтров, и размножившиеся в порах водоносного горизонта железо- и марганецпоглощающие бактерии при откачке из скважины начинают работать как медленные фильтры, способствуя окислению железа и марганца и осаждению их нерастворимых соединений в поровом пространстве пласта.

В природных условиях водоносного горизонта величины pH и Eh являются недостаточно высокими, поэтому для окисления растворенного железа и марганца требуется жизнедеятельность специальных бактерий. Осаждение железа происходит преимущественно во внешней, более удаленной от скважин зоне пласта. Здесь существенно увеличивается количество железоокисляющих бактерий и, соответственно, возрастает число отмирающих железобактерий. Часть из последних, перемещаясь потоком подземных вод при откачке по порам пласта в направлении фильтра скважин, поставляет органическое вещество, которое является источником органического углерода для жизнедеятельности марганецпоглощающих бактерий. Эти бактерии развиваются во внутренней биогеохимической зоне вблизи ствола скважины и окисляют марганец, переводя его в нерастворимую форму.

Подготовка или зарядка водоносного пласта перед эксплуатацией водозабора включает многократное повторение технологических циклов подачи растворенного в воде кислорода в пласт и откачки воды из скважин. Значение очистки подземных вод в водоносном пласте возрастает по мере ухудшения природного состава подземных вод в районах площадного техногенного загрязнения (мышьяком, тяжелыми металлами, нитратами и другими компонентами).

Таким образом, основы биотехнологии деманганации и обезжелезивания некондиционных подземных вод в водоносном горизонте опираются на естественные природные окислительно-восстановительные процессы и направлены на создание искусственных активно функционирующих контактных зон вода – порода – бактериальные клетки. На поверхности бактериальных клеток осаждаются положительно заряженные мицеллы окислов железа и марганца. Отмирая, бактерии заполняют осадком гидроокислов железа и марганца поровое пространство водоносного горизонта, а очищенная от растворенного железа, марганца и других нормируемых компонентов некондиционных подземных вод, питьевая подземная вода подается в разводящую сеть водоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н. Окислительно-восстановительно потенциал-задающие системы подземных вод // Геохимия, 1992. – №4. – с. 467–482.

Кулаков В.В. Геохимия подземных вод Приамурья // Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. – 254 с.

Кулаков В.В., Кондратьева Л.М. Биогеохимические аспекты очистки подземных вод Приамурья// Тихоокеанская геология, 2008. – Т. 27. – №1. – С. 109–118.

Кулаков В.В., Кондратьева Л.М., Голубева Е.М. Геологические и биогеохимические предпосылки повышенного содержания железа и марганца в воде р. Амур // Тихоокеанская геология, 2010. – Т. 29. – №6. – С. 66–76.

Кулаков В.В., Стеблевский В.И., Домнин К.В., Тесля В.Г., Херлитциус Й. Опытно-промышленная эксплуатация пилотной установки очистки подземных вод на Тунгусском водозаборе // Водоснабжение и санитарная техника, 2012. – №7. – С. 29–35.

Kulakov V.V., Fisher N.K., Kondratieva L.M., Grischek T. Chapter 17 Riverbank Filtration as an Alternative to Surface Water Abstaction for Safe Drinking Water Supply to the City of Khabarovsk, Russia // C. Ray and M. Shamrukh (eds.) Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries. Springer Science + Business Media, 2011. – P. 281–298.

USING SUBSTANDARD GROUNDWATER PRIAMURYE FOR DRINKING NEEDS

Kulakov V.V.

Institute for Water and Environmental Problems, FEB RAS, Khabarovsk, Russia, vvkulakov@mail.ru

ABSTRACT

Groundwater in artesian basins in the region are characterized by a high iron content (up to 30 mg/dm^3) and manganese (up to 3 mg/ dm^3) due to low pH (5,9-6,1). In the field of sub-standard Tunguska groundwater for drinking needs of the population of Khabarovsk completed construction of a water intake in situ.

ОЦЕНКА РОЛИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА РЕКИ СОЗЬ (ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Лапина Е. Е., Кудряшова В. В.

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

shtriter_elena@rambler.ru

Установлено, что основную долю в питании реки Созь о подпора составляют воды оз. Великое (86% в летнюю межень и не менее 65% – в зимнюю от расхода на створе Окулово).

Река Созь вытекает из оз. Великое, расположенного в глубине болотного массива "Оршинский Мох" (группа Петровских озер) и впадает в Иваньковское водохранилище с левого берега.

В основу работы положены многолетние наблюдения авторов за грунтовыми (ГВ) и речными водами на водосборе Созди в период 2001-2014 гг. Цель работ состояла в определении вклада различных источников питания в формирование стока реки.

Река Созь – левый приток Волги; высота истока составляет 139,3 м, площадь водосбора – 575 км^2, протяженность 34 км, общий уклон поверхности водосбора 0,0006 [Ресурсы поверхностных..., 1966; Общегеографическая, 1991]. По данным [Цыганов, 1984] озерность водосбора Созди составляет 14%, заболоченность 65%, лесистость 13%. Бассейн реки по форме асимметричен за счет развития правобережных притоков, пойма двусторонняя. Питание реки обеспечивают воды озер, инфильтрация атмосферных осадков, болотные (дренажные), подземные воды и воды притоков.

Для выявления особенностей взаимосвязи подземных и речных вод на отдельных участках по длине реки и определения величины стока притоков проведены полевые работы. Гидрометрические съемки выполнены от верховьев до зоны подпора с параллельным отбором проб речных и ГВ на гидрохимический анализ. Использовался упрощенный гидрометрический метод оценки подземного питания в период отсутствия осадков [Лучшева, 1989]. Скорости течения реки на выбранных поперечниках (створах) определены методом поплавков. Гидрометрическая съемка совмещалась с измерением уровня первого от поверхности безнапорного водоносного горизонта в пробуренных вручную временных разведывательных скважинах глубиной 0,8–3,0 м на расстоянии 5 и 25 м от уреза воды.

Съемки проводились на следующих створах: д. Спас-на-Созди; Быково; Марьино; Окулово; Харитоново; пос. 1 Мая (мост, 200 м выше плотины); опорные створы из перечисленных – Спас-на-Созди и Окулово. Выборочные данные результатов исследований в летнюю межень 2004 года представлены в таблице 1.

Обратим внимание на величины цветности – показатель содержания в природных водах растворенного органического вещества; ее величины в ГВ, осадках и водохранилище залегают в диапазоне – 0–70 градусов. Практически постоянная высокая цветность (порядка 200 градусов) на протяжении

Таблица 1. Химический состав вод Созди и источников ее питания, июль 2004 г.

ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ	АДРЕС, СТВОР	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	HCO_3^-	ЦВЕТНОСТЬ/ РАСХОД
		мг/дм^3		ГРАДУС, Pt -Co ШКАЛА
Р. Созь	Спас-на-Созди	14,9	48,8	200/2,62 м^3/с
Р. Созь	Марьино	16,0	48,8	190/2,7 м^3/с
Р. Созь	Окулово	54,9	73,2	200/2,98 м^3/с
Родник, д. Окулово	Окулово	62,4	207,4	18/0,00011 м^3/с
Колодец, д. Окулово	350 м вверх от створа Окулово	54,4	195,2	70/–
Р. Созь	Пос. 1 мая	19,7	61,0	230/3,04 м^3/с
Оз. Песочное*	Южная сторона	14,0	18,3	200/–
дождь	Конаково	5,2	15,3	0/–
Иваньковское водохранилище	Конаково	54,0	152,5	50/–

*аналог оз. Великое по химическому составу.

Таблица 2. Химический состав речных и грунтовых вод в зимнюю и летнюю межень 2014 года, детальный участок Окулово

ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	HCO_3^-	ЭПР*	ЦВЕТНОСТЬ
Летняя межень 2014				
родник	55,4	183	30,3	10
Созь	14,7	36,6	6,6	150
Зимняя межень 2014				
колодец	88,4	293,0	51,6	30
родник	58,0	171,0	30,1	13
Созь	33,7	73,2	16,8	90

* Электропроводность, mS/m,

Таблица 3. Химический состав грунтовых вод, вскрытых временными скважинами

СТВОР	СПАС-НА-СОЗИ		МАРЬИНО		ОКУЛОВО	
R*, м	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Ca^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Ca^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Ca^{2+}
5,0	19,3	12,0	72,4	48	35,4	22
25,0	36,2	24,0	122,4	76	35,4	22

Примечание: R – расстояние устья скважины от уреза, м

изученного стока Созди до замыкающего створа пос. 1 Мая указывает на основной источник питания реки – воды озера Великое, хотя цветность может быть обусловлена и боковой приточностью болотных вод. Для исключения подобного предположения в тот же период изучена дрена из Климушинского болота (ручей Ильматка), водоприемником сбрасываемых вод которого служит Созь выше створа Окулово. Расход болотных вод с цветностью 400 градусов в устье дрены равнялся 0,036 м^3/с, что составит 1,21% от величины стока в створе Окулово, где расположена наиболее детально изученная нами часть водосборного бассейна Созди. Родник наблюдается с 1998 года, его средний дебит составляет 0,13 л/с. Согласно [Краткая…, 1977], минимальные летние суточные расходы 95%-ной обеспеченности на створе Окулово составляют 0,85 м^3/с. Следовательно, максимальная доля родникового стока составит менее 1% от расхода Созди в створе Окулово. Условимся, что величина потерь стока на испарение и ледообразование лежит в пределах погрешности гидрометрических измерений, поэтому эти потери учитывать не будем. Между створами Марьино и Окулово в Созь с левого берега впадает река Рашинка, слабо изученная и малодоступная. Для определения расхода Рашинки используем ее аналог – ручей Песочный. По данным [Мирзоев, 1995] летний сток притока 50% обеспеченности составит 0,007 м^3/с. Приращение от створа Марьино до Окулово дает величину 0,28 м^3/с (9,4%), то есть подземная часть в общем расходе Созди в Окулово составит всего лишь 0,24 м^3/с.

Все предыдущие работы производились в низкий меженный период летом. В 2014 году в д. Окулово дополнительно провели зимние гидрохимические съемки режимных объектов с замером расходов реки и родника (таблица 2).

Зимой в воде Созди возрастают концентрации индикаторов подземных вод: кальция, магния, гидрокарбонатов; значительно снижается цветность. Рассчитаем по формуле А.Т. Иванова [Михайлов, 1985] долю озерных вод в стоке Созди на створе Окулово

$$Q_n = Q_p \cdot \frac{(C_p - C_{оз})}{(C_n - C_{оз})} \qquad (1)$$

где Q_n – приток подземных вод, м^3/с; Q_p – расход реки в створе, м^3/с; C_p – концентрация иона HCO_3^- в межень, мг/дм^3; $C_{оз}$ – концентрация в озерных водах; C_n – концентрация иона в подземных водах. Как “запас жесткости” для расчетов используем концентрацию гидрокарбонатов в озерных водах зимой, равную 17,7 мг/дм^3 по [Ресурсы поверхностных…, 1972]. Подставим в формулу известные концентрации и замеренные на створе Окулово расходы. В результате получаем, что летом озерные воды составляют порядка 86% речного стока, зимой – не менее 64%.

Опосредованно озерные воды, смешанные с грунтовыми, поступают в Созь из аллювиальных отложений берегов после половодья и паводков [Попов, 1968]. О том, что питание реки в низкую межень происходит за счет обратных вод в процессе берегового регулирования, свидетельствуют ре-

зультаты химических анализов проб, отобранных из пробуренных вручную временных разведывательных скважин летом 2004 г. (таблица 3).

Высокий коэффициент озерности (14%) придает речному стоку специфические особенности. Большая часть озер водосбора – проточная; скорее всего, озера в период половодий и паводков накапливают большие объемы воды, а в межень сбрасывают. Поэтому даже в зимнюю межень речной сток состоит из подземного притока и стока, формирующегося за счет сработки аккумулированных в озерах запасов воды [Ресурсы и геохимия…, 1987].

Таким образом, низкий меженный сток Сози формируется в меньшей степени за счет подземных вод и в большей – благодаря сбрасываемым водам озера Великое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Краткая гидрологическая записка реки Созь.– Гипроторф, М., 1977. – 21 с.

Лучшева А.А. Основы гидравлики и гидрометрии, 2-е изд.– М.: Недра, 1989.– 173 с.

Мирзоев Е. С., Мирзоев А. Е. Конаковский район. Краеведч. справочник. – Тверь. 1995. – 330 с.

Михайлов Л. Е. Гидрогеология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 262 с.

Общегеографическая карта Тверь и окрестности. Масштаб 1 : 200 000. Комитет геодезии и картографии СССР. – Москва. 1991.

Попов О. В. Подземное питание рек. – М.: Гидрометеоиздат, 1968. – 290 с.

Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии /А.В. Иешина и др.– Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1987. – 151 с.

Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. Т. 10. Верхневолжский район. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 527 с.

Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. Т. 10. Верхневолжский район. Описание отдельных рек и озер. – Л.. Гидрометеоиздат, 1972. – 248 с.

Цыганов А.А. Химическая характеристика донных отложений озер. испытывающих антропогенное воздействие/ сб.н.тр. Изучение последствий воздействия человека на природные комплексы.– Калинин: КГУ, 1983. – С. 85–93.

ESTIMATION OF DIFFERENT RECHARGE SOURCES ROLES IN FORMING OF RIVER SOZ RUN-OFF (TVER REGION)

Lapina E.E.. Kudrajshova V.V.

Water Problems Institute. RAS. Moscow. Russia, shtriter_elena@rambler.ru

ABSTRACT

It is obtained. that majority of river Soz water supply in front of head is composed by water from lake Great (86% in summer period and 65% of flow in winter. aligment Okulovo)

ТИПОЛОГИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА С РАЗВИТОЙ НЕФТЕДОБЫЧЕЙ (НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

Стурман В.И.

ФГБОУ ВПО "Государственная полярная академия", Санкт-Петербург

st@izh.com

Охарактеризовано происхождение, характер распространения и состав загрязнения подземных вод в Удмуртии, от промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых источников. Разработана классификация очагов загрязнения подземных вод.

Загрязнение подземных вод по происхождению подразделяется [Геохимия подземных вод..., 2004] на промышленное, сельскохозяйственное и коммунально-бытовое. В Удмуртии по состоянию на 2010 г. выявлено 90 очагов загрязнения подземных вод, из них 50 очагов на одиночных и групповых водозаборах и 40 очагов, выявленных по наблюдательным скважинам и родникам, на территории техногенных объектов [О состоянии..., 2011]. Для очагов загрязнения на территории техногенных объектов их связь с источниками обычно является очевидной; из выявленных 40 очагов 38 относятся к промышленному типу загрязнения и по одному – к коммунальному и сельскохозяйственному типам [О состоянии..., 2011]. Такое распределение отражает преобладание промышленного типа и делает необходимым его деление на подтипы и разновидности.

Промышленный тип загрязнения подземных вод в Удмуртии преобладает и представлен преимущественно нефтепромысловым подтипом. Менее распространены нефтехранилищный и промышленно-отходный подтипы. Загрязнения подземных вод, связанные с основными технологическими процессами обрабатывающих производств, в Удмуртии неизвестны.

Нефтепромысловый подтип загрязнения подземных вод в Удмуртии отличается наибольшим распространением и разнообразием. По материалам мониторинга, по состоянию на 2010 г. в Удмуртии, при наличии 73 разрабатываемых месторождений нефти, было выявлено 36 участков загрязнения подземных вод на 26 месторождениях [О состоянии..., 2011]. Различаются следующие разновидности нефтепромыслового загрязнения подземных вод.

Шламово-амбарная разновидность пользуется наибольшим распространением. Источником являются неликвидированные и не имеющие гидроизоляции земляные амбары с захороненными в них буровыми отходами. Поскольку захоронение буровых отходов в неизолированных амбарах практиковалось вплоть до 1990-х гг., есть основания предполагать их наличие на всех месторождениях, где в те годы бурились разведочные или эксплуатационные скважины. Участки загрязнения, связанные с захоронением буровых отходов, имеют размеры порядка десятков и сотен квадратных метров. Приурочены к обводненным разностям четвертичных отложений и первым от поверхности горизонтам дочетвертичных. Превышения гигиенических стандартов по хлоридам, сульфатам и общей минерализации могут доходить до 5–10 раз. Дополнительный приток загрязняющих веществ отсутствует, и с течением времени (десятки лет) за счет воздействия грунтового потока происходит размывание очагов загрязнения, с увеличением их размеров и снижением концентраций.

Трубопроводная разновидность – один из распространенных источников нефтепромыслового загрязнения грунтовых вод, представляющий собой утечки из трубопроводов, главным образом водоводов минерализованной воды. Это явление получает развитие по мере износа сети промысловых коммуникаций, чему также способствует рост агрессивности транспортируемой жидкости вследствие сероводородного загрязнения пластовых вод. По приуроченности к грунтовым водам, уровням и составу загрязнения похоже на предыдущую разновидность. Отличием является изменчивость загрязнения во времени и сильная зависимость от состояния коммуникаций.

Промысловое загрязнение "снизу" – относительно распространенная (в 2010 г. – 13 очагов загрязнения из 36) и наиболее опасная разновидность загрязнения. Ведущим фактором загрязнения пресных подземных вод здесь являются межпластовые перетоки по затрубному пространству неисправных скважин. Известно [Абдрахманов, Попов, 1990], что при фильтрации соленых вод, в отличие от пресных, не происходит разбухания

глинистых минералов, а за счет кристаллизации солей увеличивается активная пористость. Интенсивность фильтрации соленых вод с течением времени увеличивается, вследствие чего данная разновидность загрязнения развивается как самовозбуждающийся процесс. Фактором, способствующим загрязнению "снизу", может быть также избыточная закачка минерализованной воды в систему поддержания пластового давления. На крупнейших месторождениях в республиках Татарстан и Башкортостан под воздействием указанных причин к началу 1990-х гг. сформировались очаги загрязнения, площадью до тысяч квадратных километров, причем осолонению подвергалась вся зона активного водообмена и даже отчасти поверхностные воды [Абдрахманов, Попов, 1990; Зеленая книга..., 1993]. В Удмуртии подобное, хотя и в значительно меньших масштабах, происходило в 1980–1990-х гг., когда отмечался постепенный рост содержания нефтепродуктов (до 150 раз выше ПДК на Мишкинском месторождении в 1998 г. [О состоянии..., 2001]), хлоридов (до 83,6 раз выше ПДК [О состоянии..., 2001] на Вятской площади Арланского месторождения) и общей минерализации (до 51,2 раз выше ПДК там же в 2000 г. [О состоянии..., 2001]). В связи с подтягиванием глубинных вод, растут также концентрации йода, брома, бора.

В период спада добычи в 1990-х гг. особенно негативно сказались последствия практиковавшегося в 1970-80-е гг. ввода в эксплуатацию скважин, не обеспеченных дорогами с твердым покрытием. Грунтовые дороги на склоновых участках быстро размывались и становились непроезжими, вследствие чего скважины (сотни только в Удмуртии) длительное время не обслуживались и выходили из строя. Это создавало предпосылки для развития неконтролируемых процессов, включая межпластовые перетоки, что в сочетании с сероводородным заражением пластовых вод влекло за собой ускоренную коррозию и многочисленные порывы трубопроводов.

В настоящее время, после того как на большинстве месторождений были выполнены работы по ремонту трубопроводов и скважин, ликвидации бездействующих скважин, уровни и площади загрязнения подземных вод значительно сократились. Наибольшая кратность превышения ПДК в 2010 г. составила по нефтепродуктам 23,6 раз; по хлоридам 12,8 раз; по общей минерализации 7,4 раза, а в большинстве очагов загрязнения в пределах 1-3 раз [О состоянии..., 2011].

Резервуарная разновидность – относительно редкая разновидность нефтепромыслового подтипа загрязнения подземных вод. Бывает связана с локальными утечками из неисправных объектов хранения и переработки нефти и водонефтегазовой эмульсии на пунктах сбора, установках подготовки нефти и т.п. К характерным особенностям относятся поверхностный характер распространения при высоких (до десятков раз выше ПДК) концентрациях нефтепродуктов, хлоридов, железа.

Нефтехранилищный подтип загрязнения подземных вод приурочен к объектам хранения нефтепродуктов на площадках промышленных предприятий. От загрязнения, связанного с объектами хранения и подготовки нефти на нефтепромыслах, отличается отсутствием хлоридов. Может проявляться в первом от поверхности горизонте.

Примером нефтехранилищного подтипа загрязнения является бывший Подшипниковый завод в Ижевске. Завод ежегодно использовал 70 т минерального масла. Масло хранилось в подземных емкостях, подвергавшихся коррозии. В 1990-е гг. было выявлено сильное загрязнение нефтепродуктами воды р. Карлутка ниже заводской площадки (до 6,5 мг/дм^3, что в 130 раз выше ПДК). На крутом склоне долины р. Карлутка непосредственно ниже заводской территории наблюдались выходы масла на поверхность. После смены собственников и переоборудования под торгово-офисный центр, было выполнено удаление загрязненного грунта, а на участках его глубокого залегания пробурено 5 скважин-колодцев для сбора и откачки масла в свободной форме. Откачка была начата в 2005 г. и поначалу достигала более 1 т в месяц, в дальнейшем приток значительно уменьшился.

Согласно опубликованным данным [О состоянии..., 2011], в настоящее время загрязнение данного подтипа устанавливается на территория мазутохозяйства, ТЭЦ-2 г. Ижевска (содержание нефтепродуктов в грунтовых водах до 9,9 раз выше ПДК). Однако имеются основания полагать, что фактическое распространение подобных явлений значительно шире. В Удмуртии контроль подземных вод на предприятиях обрабатывающих отраслей промышленности практически отсутствует. Поэтому об их загрязнении нефтепродуктами становится известно только при исключительных по масштабам проявлениях, либо при инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканиях под проекты строительства, реконструкции или перепрофилирования, что в рамках действующей нормативной базы создает проблемы в их реализации.

Промышленно-отходный подтип загрязнения подземных вод связан с выносом загрязняющих веществ из шлаков, шламов "хвостов обогаще-

ния" и других подобных отходов, размещаемых на промплощадках и поблизости от них, либо использованных для отсыпки площадок в пониженных местах и т.п. целей. Приурочен к грунтовым водам. Состав загрязнения в этом случае обнаруживает четкую зависимость от характера размещенных отходов, но в целом преобладают металлы. Уровни загрязнения могут быть очень высокими, до тысяч раз выше природного фона и ПДК [Геохимия окружающей среды..., 1990], в частности для объектов цветной и черной металлургии. В Удмуртии эти отрасли представлены ОАО "Чепецкий механический завод" (г. Глазов) и ОАО "Ижсталь" (г. Ижевск), и с обоими предприятиями связаны серьезные проблемы загрязнения грунтовых вод. К хвостохранилищу ОАО "Чепецкий механический завод" приурочен очаг загрязнения подземных вод современного аллювиального горизонта (пойма р. Чепца) с наибольшими для Удмуртии превышениями ПДК: до 807 раз по железу, до 285 раз по никелю, до 236 раз по нитратам, до 45 раз по натрию, до 35 раз по молибдену, до 30 раз по литию и др. [О состоянии..., 2011]. Меньшие, но тоже очень высокие значения концентраций загрязняющих веществ отмечаются на расположенном там же полигоне захоронения жидких промышленных отходов ОАО "Чепецкий механический завод".

В Ижевске наиболее опасный очаг загрязнения подземных вод связан с шлакоотвалом ОАО "Ижсталь". Более 200 лет, с 1760 г. по 1980-е гг., сталеплавильный шлак складировался вблизи завода, в залив водохранилища на р. Иж; контакт шлака с акваторией имеет место и в настоящее время. Выполненное нами в 2006 г. исследование показало, что понижения поверхности шлакоотвала заняты водоемами с сильно щелочной (pH 10–11 и более) водой. Щелочные компоненты металлургических шлаков (CaO, MgO) создают в грунтовых водах геохимическую обстановку, при которой обеспечивается незначительная подвижность железа и марганца, но высокая подвижность хрома в токсичной шестивалентной форме – до 0,677 мг/дм^3, что в 34 раза превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Площадь залегания шлаков достигает 120 га, мощность – до 5 м, причем большая часть – ниже уровня грунтовых вод.

Коммунальный тип загрязнения подземных вод связан с миграцией продуктов разложения отходов жизнедеятельности и твердых бытовых отходов (выгребной и свалочный подтипы). То и другое свойственно неблагополучным в санитарно-гигиеническом отношении поселениям.

Выгребной подтип. При отсутствии канализации, в неблагоустроенных сельских населенных пунктах и районах частной застройки в городах, отходы разлагаются на местах их размещения (в выгребах), что создает предпосылки для миграции подвижных компонентов, в т.ч. главным образом соединений азота, как в грунтовых водах, так и в нижележащих горизонтах. По состоянию на 2010 г. выявлено 36 очагов загрязнения подземных вод данного типа [О состоянии..., 2011]. Фактически их значительно больше, т.к. при опробовании колодцев и родников в населенных пунктах при инженерно-экологических изысканиях превышения природного фона, а нередко и ПДК (45 мг/дм^3) по нитратам наблюдаются практически повсеместно. Кратность превышения ПДК небольшая, обычно до 3.

Свалочный подтип загрязнения подземных вод формируется при фильтрации впитывающихся атмосферных осадков и грунтовых вод через скопления твердых бытовых отходов. При этом происходит образование свалочного фильтрата – раствора коричневого цвета с резким неприятным запахом и с содержанием органических загрязнений и металлов до десятков и сотен раз выше ПДК. В Удмуртии выявлен 1 очаг загрязнения подземных вод, связанный с полигоном ТБО ООО "Чистый город" (полигон "Нылгинский"); состав загрязнения разнообразный, концентрации высокие (железо до 102 ПДК, фенолы до 52 ПДК, марганец до 19 ПДК) [О состоянии..., 2011]. Поскольку мониторинг объектов размещения ТБО в Удмуртии практически не ведется, есть основания полагать, что фактически очагов загрязнения свалочного подтипа значительно больше.

Сельскохозяйственный тип загрязнения подземных вод связан с воздействием загрязненных органическими веществами стоков от животноводческих ферм. Зафиксировано [О состоянии..., 2011] 12 очагов загрязнения, связанных с животноводческими фермами. В составе загрязнения представлены нитраты (1–2 ПДК), иногда отмечаются также несоответствия гигиеническим стандартам по жесткости, вследствие подтягивания глубинных вод при избыточном водоотборе. Вблизи мясо- и молокоперерабатывающих предприятий (п.г.т. Ува) и ликвидированного склада минеральных удобрений (п. Уром) концентрации нитратов выше, до 4 ПДК и более. Поскольку водоснабжение сельских населенных пунктов чаще всего ведется от скважин, пробуренных в прошлые десятилетия без установления и обустройства зон санитарной охраны, в т.ч. на фермах или поблизости от них, есть основания полагать, что фактическое количество скважин с загрязнением сельскохозяйственного типа также значительно больше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Формирование подземных вод Башкирского Предуралья в условия техногенного влияния. – Уфа, 1990. – 120 с.

Геохимия окружающей среды // Ю.Е.Сает, Б.А.Ревич, Е.П.Янин и др. – М.: Недра, 1990. –335 с.

Геохимия подземных вод: теоретические, прикладные и экологические аспекты //С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец; отв. ред. Н.П. Лаверов. – М.: Наука, 2004. – 676 с.

Зеленая книга Республики Татарстан //Под ред. Н.П. Торсуева. – Казань: Изд. Казан. ун-та, 1993. – 421 с.

О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2010 г.: Государственный доклад. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2011. – 238 с.

О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2000 г.: Государственный доклад. – Ижевск, 2001. –196 с.

TYPOLOGY OF UNDERGROUND WATERS CONTAMINATION IN CASE OF INDUSTRIAL REGION WITH DEVELOPED OIL PRODUCTION (UDMURT REPUBLIC AS EXAMPLE)

Sturman V.I.

State Polar academy, Saint-Petersburg, Russia, st@izh.com

ABSTRACT

Genesis, localization and composition of contamination of underground waters in Udmurtiya, from industrial, agricultural and household sources is characterized. Classification and map of contaminated plots of underground waters is developed.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ КРУПНОГО ВОДООТБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ ТЕРРИТОРИИ

Сучкова К.В.

Институт водных проблем РАН, Москва

kseniyasuchkova@mail.ru

Рассматривается негативное влияние крупного водоотбора на компоненты окружающей среды, такие как меженный сток рек, растительность, оседание земной поверхности. Анализируется современное состояние и зарубежный опыт исследований влияния эксплуатации подземных вод на компоненты окружающей среды.

Интенсивная эксплуатация подземных вод оказывает одно из наиболее значимых влияний на подземные горизонты. Среди негативных последствий интенсивной добычи подземных вод можно выделить уменьшение меженного стока рек, угнетение или гибель растительности, проседание земной поверхности на территориях, прилегающих к водозаборам.

ВЛИЯНИЕ НА РЕЧНОЙ СТОК

Наиболее значительным экологическим последствием отбора подземных вод помимо истощения их запасов, снижения уровня и образования депрессионных воронок, является изменение взаимосвязи между подземными водами и поверхностным стоком.

По-видимому, впервые изменения поверхностного стока под влиянием отбора подземных вод рассматривались в работах Ч. Тейса [Theis, 1935]. Тейс анализировал эксплуатацию одиночной скважины с постоянным дебитом вблизи совершенной реки в предположении однородности пласта и бесконечности его простирания в направлении от реки.

Данные о влиянии многолетней эксплуатации подземных вод на водный режим бассейна р. Драмы приведены в работе [Ковальчик, Кропка, 1993], где под влиянием отбора подземных вод при эксплуатации горных выработок, значительно уменьшился расход одного из основных притоков. В этом районе, вследствие образования глубокой депрессионной воронки в пределах эксплуатируемого водоносного горизонта, произошли изменения, как гидродинамических границ бассейна, так и общей структуры речного стока.

В районе г. Токио отмечается значительное снижение расхода реки, сопровождающееся сокращением дебита родников, или даже их исчезновением, под влиянием интенсификации отбора грунтовых вод [Зекцер, 2012].

Значительные работы по прогнозу возможного изменения стока малых рек методами моделирования выполнены в Белоруссии [Черепанский, 1999а, 1999б]. Эти работы позволили выделить наиболее опасные с точки зрения сокращения стока участки рек и обосновать мероприятия по предотвращению негативного влияния отбора подземных вод на речной сток [Гриневский, 2012].

ВЛИЯНИЕ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

В районах, где взаимосвязь подземных вод эксплуатируемых горизонтов и вышележащих безнапорных грунтовых вод достаточно тесная, под влиянием водоотбора происходит снижение уровня безнапорных грунтовых вод. Такое снижение уровней грунтовых вод может сказываться на состоянии ландшафтов. Самым чувствительным элементом ландшафтов, реагирующим на изменение уровня грунтовых вод, является растительность. Влияние снижения уровня грунтовых вод на растительность определяется тем, какой режим водного питания растений преобладает – автоморфный или гидроморфный.

Негативное влияние отбора подземных вод на растительность отмечается в бассейне озера Балатон. На прибрежных участках водотоков в горных районах бассейна озера наблюдается исчезновение ряда растительных форм, вызванное снижением уровней карстового водоносного горизонта в результате интенсивной откачки шахтных и рудничных вод.

В работе [Жоров, 1998] указывается, что в Нидерландах в последние десятилетия снижение уровня грунтовых вод на низменных участках привело к потерям в растительном и животном мире на территориях заповедников. Разработаны предложения по сокращению отбора подземных вод из донных отложений приморской зоны Нидерландов за счет привлечения внешних источников водоснабжения.

Ещё одним примеров влияния отбора подземных вод на растительность может служить исчезновение лесов в районе пустыни Сонора, штат Аризона. Постоянный отбор грунтовых вод происходит в регионе пустыни Сонора уже с 1923 г., уровень

грунтовых вод ежегодно снижается на величину от 0,3 до 3 м, что явилось причиной значительного отступания или полного исчезновения мескитовых и пойменных лесов. Главной целью властей пострадавшего региона является достижение к 2025 году безопасного уровня откачки подземных вод, который не предполагает постоянного снижения запасов грунтовых вод [Nabhan and Holdsworth, 1998].

ВЛИЯНИЕ НА ПРОСЕДАНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Одним из проявлений негативного влияния интенсивной эксплуатации подземных вод на окружающую среду является проседание земной поверхности, вызванное интенсивным отбором подземных вод. В районах крупных откачек подземных вод формируются обширные понижения пьезометрических уровней (депрессионные воронки), часто охватывающие площади в десятки и сотни квадратных километров. При откачке снижается напор подземных вод, что увеличивает эффективное давление на скелет грунта и приводит к уплотнению сжимаемых отложений, и как следствие – к оседанию земной поверхности.

Оседание земной поверхности широко распространено в США. Одним из ярких примеров является проседание земной поверхности в долине Сан-Хоакин (Калифорния): за период с 1925 до 1977 оседание поверхности, вызванное откачкой подземных вод, достигло 9 м. Здесь имеется почти 1,5 млн. га орошаемых земель, половина которых охвачена оседанием. В штате Калифорния общая площадь оседания земной поверхности достигает 18 тыс. км^2. В Сан-Франциско поверхность земли понизилась на 2,4 м, что привело к необходимости сооружения и систематического наращивания специальных дамб, чтобы сдержать наступление вод залива на сушу. В приморской равнине Лос-Анжелеса уже в течение нескольких десятилетий фиксируются проседания земной поверхности со скоростью 0,7 см/год. По данным Технологического института Индонезии, начиная с 1994 г. в результате интенсивной эксплуатации подземных вод почва в г. Джакарта просела местами до 0,5 м. Это привело к подтягиванию соленых морских вод, что вызывает подтопление, а местами и разрушение оснований зданий. Аналогичные проблемы характерны для многих крупных приморских городов, интенсивно эксплуатирующих подземные воды [Зекцер, 2012].

Существующее практически повсеместно объективное противоречие между желанием, а часто и необходимостью отобрать из недр больше подземной воды, и возможным негативным влиянием такого водоотбора на различные компоненты окружающей среды, должно рассматриваться на основании данных наблюдений комплексного гео-экологического мониторинга, включая анализ многолетнего опыта эксплуатации подземных вод крупными водозаборами. Такое рассмотрение позволит обосновать масштабы и режим рационального водоотбора с учетом требований по охране окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гриневский С.О. Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод. М.: ИНФРА-М., 2012. 152 с.

Жоров А.А. Подземные воды и окружающая среда. М., 1998. 379 с.

Зекцер И.С. Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. Современное состояние и перспективы использования в России. М.: Науч. мир, 2012. 428 с.

Черепанский М.М. Региональная оценка влияния отбора подземных вод на речной сток // Природные ресурсы, 1999а. №2. С. 30–39.

Черепанский М.М. Гидрогеологические прогнозы влияния отбора подземных вод на речной сток // Природные ресурсы, 1999б. №3. С. 39–51.

Nabhan P.G, Holdsworth A,R. (1998) State of the Sonoran desert biome: uniqueness, biodiversity, threats and the adequacy of protection in the Sonoran bioregion. Wildlands Project University of Arizona, Tucson, Arizona (http://alic.arid.arizona.edu/sonoran/documents/nabhan/dbgroundwater.html).

Theis, C.V. The relation between the lowering of the piezometric surface and rate and duration of discharge of a well using ground water storage // Transactions of the American Geophysical Union, 1935. 16, 519–524.

MODERN STATE OF THE RESEARCHES OF LARGE WITHDRAWAL OF GROUNDWATER ON ADJACENT AREAS

Suchkova K.V.[1]

[1] *Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, kseniyasuchkova@mail.ru*

ABSTRACT

Negative consequences of large water withdrawal on different components of the environment such as river runoff, vegetation, land subsidence and sea-water intrusion are considered. Modern state and foreign experience of the researches of the impact of groundwater withdrawal on the given components of the environment are analyzed.

СЕКЦИЯ 3

ПРОБЛЕМЫ ЛИМНОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ КРУПНЫХ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ

ФОРМИРОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЫГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ МНОГОФАКТОРНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Белкина Н.А

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

bel110863@mail.ru

Рассматриваются изменение физических и химических характеристик донных отложений Выгозерского водохранилища в течение сорока лет наблюдений.

Выгозеро – крупное озеро на северо-западе России, которое было превращено в Выгозерское водохранилище в 1933 г., является уникальным объектом, позволяющим проследить историю осадкообразования за 80 лет существования искусственного водоема и оценить экологические последствия его создания. Первое изменение естественного седиментационного режима водоема произошло в связи с повышением уровня после введения в эксплуатацию Беломорско-Балтийского канала. Образование в 1954 г. Выгозерско–Ондского водохранилища уменьшило скорость водообмена, что также повлияло на режим осаждения взвешенного материала. Водоем испытывает влияние сточных вод Сегежского ЦБК и пылевых выбросов Надвоицкого алюминиевого завода, действующих с 1938 и 1954 гг., соответственно.

Донные отложения Выгозерского водохранилища периодически изучаются в ИВПС КарНЦ РАН с 1964 г. В 1969–74 гг. было выполнено картирование донных отложений, исследованы их механический и химический состав, стратификация осадков [Васильева, 1969, 1978; Поляков, 1978]. В 1981–83 гг. более подробно изучались донные отложения северного района [Лозовик,... 1989]. В 1992–94 и 1999 гг. в рамках программы мониторинга водных объектов Карелии проводилось исследование химического состава поверхностного слоя донных осадков [Современное.., 1998]. Исследовательские работы на всей акватории водоема были проведены в 2007–2010 гг. [Белкина 2014].

Наиболее часто встречающимися грунтами Выгозерского водохранилища являются мелкоалевритовые илы бурого, коричневого или темно-зеленого цвета (преобладающая фракция 0,05–0,01 мм, составляющая от 24 до 46% массы сухого осадка). Они занимают центральную часть водоема, начиная с глубины 9–10 м. Небольшими участками встречаются тонкоструктурированные глинистые илы коричневого цвета (сумма пелитовых фракций достигает 56%). Прибрежную зону выстилают галечно-песчаные отложения (пески крупно- и среднезернистых фракций ~1–0,25 мм). На границе песка и ила залегают илисто-песчаные грунты, в которых преобладает мелкий песок с фракцией 0,25–0,05 мм (40%).

Изучение кернов донных отложений показало, что в 60–80-е гг. прошлого века интенсивно развивались процессы заиления дна водохранилища, происходило выравнивание донного рельефа. По характеру стратификации в Выгозерском водохранилище были выделены следующие типы осадков:

1 – илы глубоководной центральной части (дно старого Выгозера). Максимальная мощность илового монолита достигала 1,15 м, в основании колонки донных отложений – глина, иногда песок, сверху ил (на поверхности бурый, мощностью 20–30 см, далее зеленый – 20–40 см, ниже серый – 50 см). Граница между слоями донных отложений здесь четко выражена.

2 – донные отложения, сформированные на участках дна, затопленных при создании водохранилища, сверху покрытые слоем жидкого коричневого ила толщиной до 30 см, в основании торф.

3 – осадки мелководной прибрежной зоны, где на песках залегает бурый ил с растительными остат-

Таблица. Химический состав донных отложений
Выгозерского водохранилища
(средние значения концентраций в слое 0–5 см, %)

	ЦЕНТРАЛЬНЫЙ РАЙОН			СЕВЕРНОЕ ВЫГОЗЕРО			МАЙГУБА		
	1970-е	1990-е	2000-е	1970-е	1990-е	2000-е	1970-е	1990-е	2000-е
$C_{орг.}$	16	14	9	10	13	18	10	11	13
$N_{орг.}$	1,3	1,1	0,8	0,6	1,1	0,7	0,6	0,7	0,6
$P_{общ.}$	–*	0,20	0,21	–	0,21	0,18	–	0,27	0,29
$P_{мин.}$	0,00**	0,19	0,18	0,00	0,12	0,14	0,00	0,15	0,15
Fe	0,5**	3,5	6,1	0,2	2,8	5,3	0,2	5,8	7,0
Mn	–	0,5	0,9	–	0,1	0,2	–	0,2	0,3

Примечания: * – не определялось; ** – определение $P_{мин.}$ и Fe в семидесятые годы проводилось в экстрактах после кипячения навески сухого грунта в растворе 0,1 н H_2SO_4

ками мощностью до 20 см [Поляков, 1978].Подобное чередование разных типов отложений характерно для искусственных водоемов и является результатом изменения условий осадкообразования.

Процесс формирования донных отложений Выгозерского водохранилища определяется различиями гидродинамических, гидрохимических и гидробиологических характеристик разных районов водоема, а также характером и интенсивностью антропогенной нагрузки. Выгозерское водохранилище разделяется на три фациальные части: северную, центральную и южную. Накопление донных отложений Северного Выгозера происходит под действием в северо-западном направлении транзитного стокового течения в условиях неравномерной антропогенной нагрузки, связанной с количественным и качественным составом сточных вод ЦБК. Наибольшее количество взвешенных веществ поступало в водоем со сточными водами и оседало на дно в районе выпуска в 1960-е–1970-е гг. В результате введения в строй станции биологической очистки сточных вод в конце семидесятых годов прошлого века изменилось место положения сброса сточных вод, а также их качественный и количественный состав, что привело к увеличению зоны влияния ЦБК и распространению тонко-диспергированного материала по акватории водоема.

Донные отложения Выгозерского водохранилища отличаются повышенным содержанием органического вещества. Его источниками являются: речные наносы, седиментация железосодержащих гумусовых веществ, остатки животных и растительных организмов, населяющих водоем, продукты размыва торфянистых сплавин, продукты переработки почвенного слоя и наземной растительности, затопленной при заполнении водоема, а также сточные воды ЦБК. Основные различия и изменения в донных отложениях водоема связаны с процессами трансформации и накопления органического вещества, особенно в его северной части, где к 1983 г. сформировались четыре зоны донных осадков, отличающихся по степени их загрязнения. Изменения концентраций биогенных элементов в донных отложениях аккумуляционной зоны происходят синхронно с содержанием органического вещества: период интенсивной работы комбината соответствует максимуму содержания, период резкого падения объемов производства соответствует минимуму концентраций (в 1994 г. – $C_{орг.}$ 14% и $N_{орг.}$ 1,2%, в 1999 г. – 12 и 0,8% соответственно). В эти же годы, как следствие изменения процессов седиментогенеза, связанных с уменьшением объема сточных вод ЦБК и стабилизации кислородного режима Северного Выгозера, в водоеме начинается устойчивый рост содержания железа в поверхностном слое донных отложений всех аккумуляционных зон Выгозерского водохранилища (табл.).

В центральной части Выгозерского водохранилища в семидесятые годы прошлого столетия преимущественно осаждались продукты эрозии затопленных болотных торфяников. Концентрации органического вещества достигали здесь 80%. Уменьшение поступления в донные отложения центрального района Выгозера техногенных и абразионных взвесей привело к увеличению вклада в формирование осадков взвешенного вещества притоков и биогенной седиментации, в результате чего в поверхностном слое донных отложений этого района снижается содержание органического вещества (среднее значение 43%) и азота, и растет концентрация железа и фосфора. В осадках на склонах котловины в 2007 г. отмечены процессы рудообразования (гранулы, где концентрации железа и марганца достигают 32 и 1,5% соответственно). Однако процессы анаэробного разложения захороненного в донных отложениях органического вещества способствовали диагенетическим процессам его вос-

становления и формированию потока железа из осадков в воду при дефиците кислорода в придонных водах в 2008–2010 гг., в результате чего содержание железа в водоеме увеличилось в два раза.

Исследование показало, что антропогенные трансформации водоема отражаются на характеристиках донных отложений, а экологические последствия могут проявляться спустя некоторое время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белкина Н.А. Ретроспективная оценка состояния донных отложений Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы, 2014. – Т. 41. – №3. – С. 258–268.

Васильева Е.П. Характеристика химического состава донных отложений Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск: КФАН СССР, 1978. – С. 63–79.

Васильева Е.П. Химический состав донных отложений Выгозера, загрязненных отходами Сегежского целлюлозно-бумажного комбината // Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск: Карельское книжное изд-во, 1969. – С. 60–65.

Лозовик П.А., Пальшин Н.И., Куликова Т.П., Тимакова Т.М., Вислянская И.Г., Чекрыжева Т.А. Изменение режима Северного Выгозера и реки Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса. Петрозаводск: ОВП КФАН СССР, 1989. – 36 с.

Поляков Ю.К. Донные отложения Выгозера // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск: Изд-во. КФАН СССР, 1978. – С. 57–63.

Современное состояние водных объектов республики Карелия. По результатам мониторинга в 1992–1997 гг. / Под ред. Лозовика П.А. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. – 188 с.

FORMATION OF BOTTOM SEDIMENTS IN VYGOZERO RESERVOIR IN CONDITIONS OF MULTIFACTOR ANTHROPOGENIC IMPACT

Belkina N.A.

Institute of Northern Water Problems, Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk, Russia

bel110863@mail.ru

ABSTRACT

The change of physical and chemical characteristics of bottom sediments in Vygozero reservoir for forty years are presented.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ MN И PB В ПОРОВЫХ ВОДАХ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СВЯЗИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ МАСС МОРЯ ЭТИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Брезгунов В.С.

Институт водных проблем РАН, Москва, brez@aqua.laser.ru

На основе распределения содержания Mn и Pb в поровых водах глубинных областей Среднего и Южного Каспия сделан вывод, что донные отложения являются источником поступления Mn в водную толщу моря и прочно удерживают Pb.

Проведенное в рамках международных комплексных изотопно-геохимических исследований 1994–1996 гг. определение концентраций ряда микроэлементов (Si, Al, Mn, U, Fe, Sr, Ba, Rb, Pb) в поровых водах 4-х колонок донных отложений, отобранных в глубоководных областях Среднего и Южного Каспия (по две в каждом бассейне), позволили выявить особенности геохимического поведения некоторых микроэлементов в Каспийском море.

Наибольший интерес представляет распределение Mn и Pb в поровых водах по акватории моря и глубине колонок в сопоставлении с их содержанием в свободной воде моря. Концентрации этих элементов в поровых водах значительно превышают их содержание в свободной воде, что позволяет рассматривать донные отложения потенциальным источником вторичного загрязнения морских вод этими тяжелыми металлами.

Концентрации Mn в поровых водах среднекаспийских колонок значимо превышают соответствующие величины южнокаспийских. Особенно велико содержание Mn в поровых водах колонки, отобранной в северо-западной части Среднего Каспия у основания континентального склона [Брезгунов, Ферронский, 2010]. Здесь концентрации Mn более чем на два порядка превышают соответствующие значения в свободной воде моря и на порядок больше, чем в поровых водах Южного Каспия. Распределение Mn в поровых водах по глубине этой колонки и в водной толще Среднего и Южного Каспия позволило сделать вывод, что именно в этой области донные отложения, аккумулирующие мелкозернистые взвеси, выносимые из Северного Каспия, являются источником поступления Mn в водную толщу моря [Брезгунов и др., 1983].

Совсем иное распределение имеет Pb в поровых водах по акватории Каспийского моря [Брезгунов, Ферронский, 2010]. Концентрации Pb в поровых водах из всех четырех колонок донных отложений, отобранных в глубинных областях Каспийского моря, уменьшаются с глубиной. Концентрационные профили Pb в поверхностном слое до глубины 90 см во всех колонках имеют одинаковый вид и характеризуются зависимостью, близкой к обратно пропорциональной. При этом содержание Pb в южнокаспийских колонках значимо выше, чем в среднекаспийских. Среднее содержание Pb в этом слое минимально в самой северной колонке Среднего Каспия у основания континентального склона, там, где отмечено максимальное содержание Mn в поровых водах.

Помимо отмеченных различий в пространственном распределении Mn и Pb в поровых водах глубинных областей Среднего и Южного Каспия, существенным образом отличаются вертикальные профили концентраций этих элементов в колонках донных осадков. Примечательной особенностью вертикального распределения Mn в поровых водах является резкое уменьшение его концентрации в самом верхнем 20-см слое колонки, расположенной в северной части Среднего Каспия, где аномально высоко его содержание по сравнению с другими колонками. Такое поведение Mn наряду со значимым увеличением его содержания в глубинных водах Среднего Каспия по сравнению с Южным явилось основанием для приведенного выше вывода о том, что донные отложения в районе континентального склона Среднего Каспия могут быть источником вторичного загрязнения водных масс Каспийского моря этим элементом.

Распределение Pb и Mn в поровых водах Каспийского моря отражает существенное различие в источниках поступления этих элементов в море и геохимических особенностях их поведения в пограничных зонах моря. Тот факт, что содержание Pb в поровых водах минимально в самой северной колонке, позволяет сделать вывод, что вынос из Северного Каспия не является главным источником поступления этого тяжелого металла в Средний Каспий.

Известно, что в результате деятельности человека в атмосферу поступает большое количество Pb, который в составе мельчайших частиц может переноситься на тысячи километров. Источниками атмосферного свинца являются плавильные печи и другие промышленные производства, но до недавнего времени основным его источником являлось сжига-

ние топлива, содержащего тетраэтилсвинец. Атмосферное осаждение антропогенного свинца привело к заметному увеличению его концентраций в поверхностном слое океана. Высокие концентрации Pb в верхних слоях поровых вод всех глубинных колонок Каспийского моря позволили в качестве основного источника поступления Pb в Каспийское море считать атмосферные выпадения.

В соответствии с классификацией микроэлементов по типу распределения в океанских водах, Pb относится к типу, для которого характерно повышенное содержание на поверхности и существенное обеднение на глубине. Среднее содержание Pb в океанской воде характеризуется величиной 0,002 мкг/л [Гордеев, 2010]. Механизм активного удаления Pb на глубине недостаточно понятен. Время жизни элементов этого типа в морской среде гораздо меньше времени смешения морских вод. На основании имеющихся данных можно предположить, что содержание Pb в воде Каспийского моря не превышает концентраций, равных первым единицам мкг/л, а скорее всего даже меньше 1 мкг/л. Эти оценки означают, что содержание Pb в поровых водах из верхних слоев глубоководных колонок донных отложений в Каспийском море на два порядка больше его содержания в свободной воде. Имея в виду, что содержание Pb в морской воде уменьшается с глубиной, можно ожидать, что на границе раздела вода – донные отложения имеет место значительный градиент концентраций растворенного Pb. Это обстоятельство, а также тот факт, что во всех глубоководных колонках Среднего и Южного Каспия концентрация Pb в поровых водах характеризуется однообразными монотонными вертикальными профилями, позволяет утверждать, что Pb прочно удерживается в составе донных отложений, которые, в отличие от Mn, не являются источником вторичного загрязнения водных масс Каспийского моря Pb.

Этот вывод подтверждается приведенной в работе [Plant J.A., Raiswell R., 1983] классификацией зависимости подвижности металлов от изменения кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий в донных отложениях. Подвижность Pb при изменении условий от восстановительных до окислительных практически не меняется, оставаясь на низком уровне, в то время как подвижность Mn резко меняется. В окислительных условиях Mn находится в группе наименее подвижных металлов, в восстановительных условиях Mn является одним из самых подвижных тяжелых металлов.

Следует отметить, что 1994 г., когда были отобраны пробы поровых вод, соответствует периоду максимального подъема уровня Каспийского моря, начавшемуся с середины 70-х гг. прошлого столетия, которое сопровождалось формированием устойчивой вертикальной гидрологической структуры моря. Устойчивая вертикальная гидрологическая структура моря уменьшает поступление растворенного кислорода в глубинные горизонты и способствует развитию восстановительных условий на границе придонная вода – донные осадки

Устойчивость и монотонность концентрационных профилей Pb в поровых водах верхних слоев донных осадков свидетельствуют об отсутствии тектонических нарушений в глубоководных областях Среднего и Южного Каспия, где были отобраны в 1994 г. колонки донных отложений. Стабильное состояние донных отложений моря в этот период ставит под сомнение взгляды сторонников геологической концепции подъема уровня Каспийского моря, увязывающего его с увеличением подземного стока в море в результате изменения тектонических напряжений или техногенной дестабилизации недр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Брезгунов В.С., Бреховских В.Ф., Монахов С.К., Волкова З.В. О возможном влиянии Среднего Каспия на качество воды в Северном Каспии. // Вода: химия и экология. 2012. №8. С 16–21.

Брезгунов В.С., Ферронский В.И. Макро- и микроэлементы в поровых водах глубинных областей Южного и Среднего Каспия. // Водные ресурсы, 2010. – №6. – С. 700–708.

Гордеев В.В. Геохимия системы река-море. М. 2012. 452 с.

Plant J.A., Raiswell R. Principles of environmental geochemistry // Applied environmental geochemistry / Ed. I. Thornton. – London: Academic Press, 1983. – P. 1 – 39.

DISTRIBUTION OF MN AND PB IN THE PORE WATERS OF THE CASPIAN SEA DUE TO THE POSSIBILITY OF SEA WATER MASSES SECONDARY POLLUTION BY THESE ELEMENTS

Brezgunov V.S.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, brez@aqua.laser.ru

ABSTRACT

On the basis of the distribution of Mn and Pb in pore waters of deep areas of Middle and Southern Caspian it was concluded that the sediments are the source of Mn in the sea water masses and hold Pb firmly.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКВАРИУМНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Глызина О.Ю., Суханова Л.В., Яхненко В.М., Сапожникова Ю.П., Федорова Г.А., Ицкович В.Б., Глызин Л.А.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

glyzina@lin.irk.ru

Фундаментальной научной целью, определившей актуальность создания пресноводного аквариумного комплекса (ПАК), является исследование комплекса влияющих на устойчивость аквакультур лимитирующих факторов среды, эколого-морфологических и физиолого-биохимических особенностей байкальских гидробионтов с использованием различных подходов. Применение аквариумных систем ПАК позволяет не только содержать уникальных байкальских гидробионтов, но и проводить эксперименты и наблюдения, трудноосуществимые в естественных условиях с использованием таких современных методов изучения гидробионтов, как методы молекулярной биологии, биохимического анализа, электронной микроскопии и видеонаблюдения. На сегодняшний день в живой коллекции ПАК присутствуют все представители байкальских сиговых рыб и гибриды F1 байкальского омуля и озёрного сига, байкальского омуля и озерно-речного сига в различных комбинациях (включая особи, полученные из криосохраняемой спермы).

В мировой практике вопросы совершенствования методов искусственного содержания и разведения ценных гидробионтов в настоящее время выдвигаются на первый план. Научные междисциплинарные эксперименты, выполненные на базе экспериментальных комплексов, позволяют существенно оптимизировать многие аспекты современной биотехнологии культивирования гидробионтов, что является особенно актуальным для исследования эндемичных видов организмов, обитающих в ультраолиготрофных и холодноводных водоемах. Особенно интересны исследования по содержанию и культивированию организмов из нетипичных условий обитания. В этом аспекте озеро Байкал уникально разнообразием эндемичных гидробионтов. Для изучения таких организмов *in vivo* и закономерностей функционирования экосистемы озера Байкал в целом был создан экспериментальный комплекс аквариумных установок. Технологическое решение общей конфигурации пресноводного аквариумного комплекса (ПАК) основывается на уже проводимых институтом междисциплинарных исследованиях. Комплекс работает на основе модульного принципа [Глызин и др., 2012].

Для всех блоков ПАК предусмотрена возможность контроля за системой регулирования различных параметров среды обитания гидробионтов (рыб, губок, микроорганизмов и т.п.) оз. Байкал, с обязательной последовательной их адаптацией к искусственному содержанию. Все работы по искусственному оплодотворению, содержанию рыб, других организмов и их исследованиям проводили по методикам, изложенным в работах [Глызин и др., 2011, Суханова, 2013].

РЕЗУЛЬТАТЫ

СИГОВЫЕ РЫБЫ

Особое внимание в ПАК уделяется изучению наследственно обусловленных адаптаций симпатрических популяций сиговых рыб оз. Байкал с использованием молекулярно-генетических, биохимических и поведенческих методов исследования. Одним из подходов, получивших новые возможности благодаря появлению методов широкомасштабного секвенирования, является экологическая геномика рыб, включающая генетическое картирование локусов, ответственных за адаптации (поиск участков генома, контролирующих интересующие признаки). Для целей генетического картирования локусов, ответственных за адаптации, у разных экотипов байкальских сиговых в ЛИН СО РАН с 2010 г. начата серия опытов по искусственной гибридизации омуля (*Corigonus migratorius Georgi*), озерного сига (*Corigonus. baicalensis Dybowski*) и озерно-речного сига-пыжьяна (*Corigonus pidschian Gmelin*) и содержанию гибридов и исходных (негибридных) форм в контролируемых условиях ПАК. Эти долгосрочные эксперименты предполагают получение половозрелых гибридных особей первого поколения (F1) и проведение последующих обратных

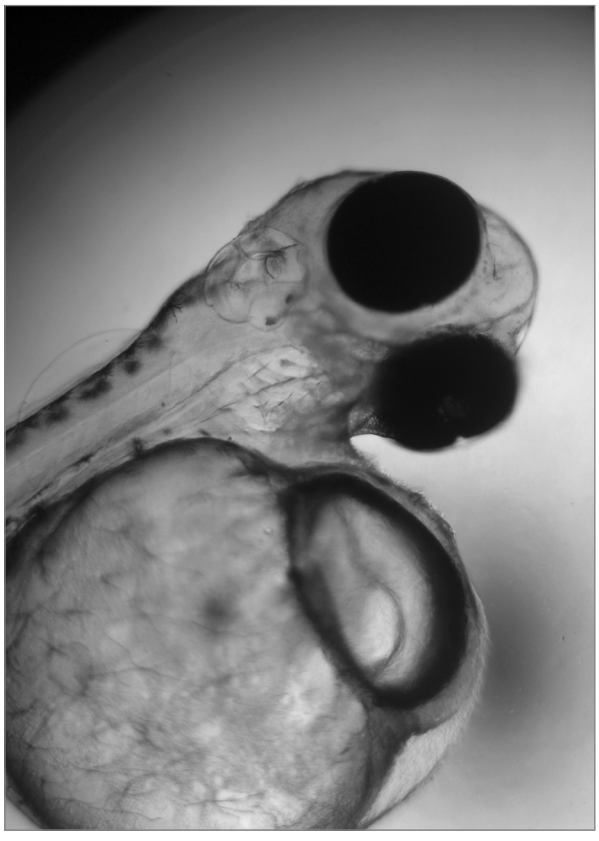


Рис. 1. Эмбрионы гибридов байкальских озерного сига (самец, после годовой криоконсервации) и озёрно-речного сига (самка).

Фото Сухановой Л.В.

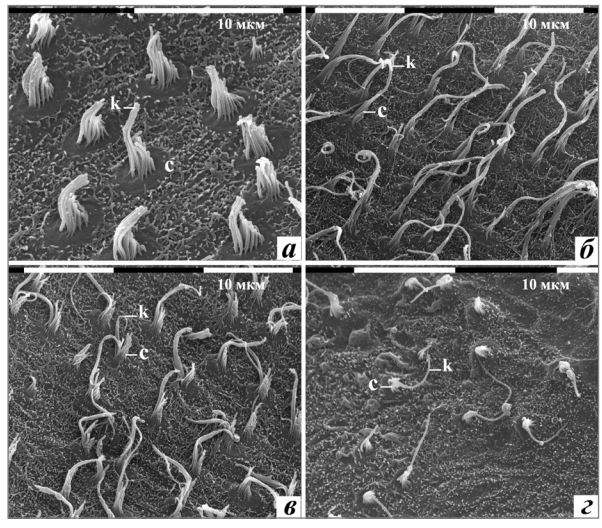


Рис.2. Четыре типа сенсорных элементов слуховой макулы байкальского омуля: k3c2 (а), k11c4 (б), k6c5 (в), k7c2 (г), k – киноцилии, с - стереоцилии (СЭМ).

Фото Сапожниковой Ю.П.

скрещиваний с исходными формами. Для осуществления скрещиваний применительно к байкальским сиговым оптимизируются разработанные для рыб методики гормональной стимуляции производителей и криоконсервации спермы. Искусственная стимуляция созревания производителей гормональными и другими препаратами сходного действия позволяет ускорить и синхронизировать нерест. Наличие коллекции замороженной спермы дает возможность, при наличии созревших самок, проводить различные варианты скрещиваний как в полевых, так и в лабораторных условиях, а также скрещивать особей, разобщенных по срокам нереста и географическому расположению нерестилищ. Кроме того, сохранение спермы от индивидуумов, обладающих желательными качествами, криоконсервация дает возможность поддерживать разнообразие популяций и видов. Замороженные клетки зародышевого пути могут быть использованы для сохранения находящихся под угрозой исчезновения популяций, помогая сохранению пропорций между определенными генотипами. Создание банков спермы таких популяций станет со временем важным элементом всех программ, направленных на сохранение видов, находящихся под угрозой вымирания.

В результате проведенных работ получены репрезентативные выборки живых гибридов F1 омуля и озерного сига, омуля и омуля после криосохранения половых продуктов, озерно-речного сига (пыжьяна) и байкальского омуля, озёрно-речного сига и озерного сига (рис.1).

Работы по изучению сенсорной экологии байкальских сиговых рыб (на примере байкальского омуля) направлены на определение слуховой чувствительности рыб через оценку поведения в зависимости от различного рода акустического воздействия. Данные по абсолютной акустической чувствительности байкальского омуля были сопоставлены с результатами электронно-микроскопического изучения сенсорного слухового эпителия (макулы). При детальном анализе снимков, полученных при электронном сканировании поверхности сенсорного слухового саккулярного эпителия 40 особей байкальского омуля, выделено четыре типа сенсорных саккулярных клеток (рис. 2).

Еще одна примечательная особенность ультраструктуры сенсорного эпителия макулы байкальского омуля – морфологическая поляризация сенсорных элементов этой макулы. На основе процентного соотношения участков макулы с разными типами поляризации сенсорных клеток построены диаграммы дирекционной чувствительности саккулюса в сагиттальной плоскости, которая у байкальского омуля имеет значительные проекции как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Таблица. Характеристичные отношения m/z
сакситоксина и его аналогов в масс-спектре экстракта
образца *Phormidium fov*. 628.

СОЕДИНЕНИЕ	$[M+H]^+_{лит}$	$[M+H]^+_{экс}$
Декарбамоил-неосакситоксин (dcNEO)	273.1306	273.186
Неосакситоксин (NEO)	316.1364	316.286
Декарбамоил-гониатоксин 1 (dcGTX 1)/ декарбамоил-гониатоксин 4 (dcGTX 4)	369.0823	369.227
Гониатоксин 5 (GTX 5, B1)	380.0983	380.105

Использование цитометрических параметров эритроцитов для идентификации сиговых рыб и их гибридов показало, что прибрежный омуль, озерный сиг и их гибриды достоверно отличаются.

Возникающие при этом адаптации формируются на всех уровнях организации – от клеточного до популяционного. Таким образом, байкальские сиговые рыбы отличаются высокой пластичностью к действующим факторам среды, а отмеченные выше морфологические закономерности являются следствием специфики их образа жизни. На сегодняшний день в живой коллекции ПАК присутствуют все представители байкальских сиговых рыб и гибриды F1 байкальского омуля и озёрного сига, байкальского омуля и озерно-речного сига в различных комбинациях (включая особи, полученные из криосохраняемой спермы).

БАЙКАЛЬСКИЕ ГУБКИ

В условиях ПАК байкальские губки были использованы в качестве биоиндикаторов экологического состояния водных экосистем по исследованию экспрессии биомаркерного белка теплового шока БТШ70 для оценки биоиндикаторного потенциала пресноводных губок *Porifera*; *Haplosclerida* в водоемах Сибири и в озере Байкал с помощью молекулярно-биологических методов. Целью проводимых работ является изучение механизмов и закономерностей экспрессии белков-индикаторов стресса у экологически разных видов губок (*Porifera*). В ходе проводимых работ были отработаны условия культивирования губок (виды семейств *Lubomirskiidae* и *Spongillidae*) и их клеточных культур в аквариуме. Доказана пригодность праймеров для амплификации генов БТШ70 и БТШ90, а также альфа и бета-тубулина. Получены и клонированы ПЦР фрагменты генов актина и ферритина байкальских губок. Методом полуколичественной ОТ-ПЦР проведен анализ экспрессии БТШ70 у *Lubomirskia baicalensis* при воздействии теплового шока. Показана зависимость содержания БТШ70 в тканях губки от температуры и времени воздействия. Были проведены эксперименты по изучению влияния повышенной температуры на содержание БТШ70 у байкальской эндемичной *Lubomirskia baicalensis*. Выявлено, что при повышении температуры с 4°C до 9–10°C происходит увеличение содержания БТШ70 через 2 часа примерно до 110% от исходного, через 15 часов – до 130%. При повышении температуры до 13–14°C происходит снижение содержания БТШ70 через 2 часа примерно до 80% от исходного, через 15 часов – до 40%. В ходе проведенных экспериментов было впервые показано, что *Lubomirskia baicalensis* является стенотермным видом.

МИКРОВОДОРОСЛИ

В инкубаторах аквакомплекса содержится живая коллекция водорослей и цианобактерий, выделенных преимущественно из воды оз. Байкал. С использованием современных методов культивирования проведены эксперименты по культивированию цианобактерий с добавлением вирусосодержащих фильтратов из озерной и речной воды с использованием современных аналитических методов. Было показано, что коллекционный штамм *Microcystis sp. 972*, кроме микроцистинов, синтезирует эругинозины – пептиды нерибосомной природы, ингибирующие протеазы. Впервые были получены данные о метаболитах штамма *Phormidium fov. 628* и обнаружено, что он продуцирует нейротоксин – сакситоксин.

Идентифицированные соединения представлены в таблице.

Получены новые ксеничные (требующие последующей очистки) штаммы цианобактерий рода Anabaena, Oscillatoria, Microcystis, Leptolyngbia, Phormidium, выделенные из мест излюбленного отдыха туристов – озер Котокель и Байкала – Малое море, залив Турка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время ПАК ЛИН СО РАН является единственным в своем роде междисциплинарным научным комплексом на Байкале. В этом комплексе

с успехом содержатся и культивируются 26 видов байкальских гидробионтов различных таксономических групп, более 80 культур одноклеточных водорослей и цианобактерий.

Благодаря ПАК можно решать вопросы искусственного содержания холодноводных пресноводных эндемичных гидробионтов экосистемы ультраолиготрофного озера Байкал и получать устойчивые аквакультуры ценных видов гидробионтов с оценкой их изменчивости в искусственных и естественных условиях.

Авторы благодарят сотрудников Байкальского музея ИНЦ СО РАН за предоставленную возможность использовать проточную систему на основе байкальской воды. Работа выполнена благодаря большому количеству программ и проектов, в т.ч. ГК №16.512.11.2075, проекты VI.50.1.4, VI.61.1.4, гранты РФФИ №№10-04-01583-а, 14-04-01242, 15-04-06847.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глызина О.Ю., Глызин А.В., Суханова Л.В., Тягун М.Л., Сапожникова Ю.П., Белых О.И., Дзюба Е.В., Зайцева А.Н., Куликов В.А. Холодноводный пресноводный аквариумный комплекс как основа для научных исследований // Вода: химия и экология. 2012. №12. С. 78–86.

Глызин А.В., Глызина О.Ю, Любочко С.А. Изучение байкальских гидросимбионтов с помощью экспериментальных аквариумных установок // Вода: химия и экология. 2011. №2. С. 35–40.

Суханова Л.В., Смирнов В.В. Смирнова-Залуми Н.С., Глызина О.Ю. Опыт получения гибридного потомства и содержания гибридов и родительских форм байкальских сиговых в контролируемых условиях аквариального комплекса. //Омулевая колыбель. Большереченскому рыбоводному заводу-80лет.; 2013, 89–93.

AQUARIUM SYSTEMS FOR STUDYING LAKE BAIKAL

Glyzina O.Yu., Sukhanova L.V., Yakhnenko V.M., Sapozhnikova Yu.P., Fedorova G.A., Itskovich V.B., Glyzin L.A.

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

glyzina@lin.irk.ru

ABSTRACT

The fundamental scientific aim of the Freshwater Aquarium Complex is to study a number of environmental factors affecting the stability of aquacultures, as well as eco-morphological and physic-biological peculiarities of Baikal hydrobionts. At present, the problems of improvement of artificial maintenance and rearing of valuable hydrobionts are of great interest worldwide. Scientific interdisciplinary experiments performed at the experimental complex allow the researchers to significantly optimize a lot of aspects of the modern biotechnology in cultivation of hydrobionts. This is topical especially in the studies of endemic organisms inhabiting ultra-oligotrophic and cold-water ecosystems. Lake Baikal is unique in diversity of endemic hydrobionts. Therefore, an experimental freshwater aquarium complex (FAC) was created for studying such organisms in vivo and functioning regularities of the Lake Baikal ecosystem. Organisms were kept and cultivated under atypical habitat conditions. FAC helped not only keep unique Baikal hydrobionts but also performed experiments and observations, which are difficult to conduct under natural conditions. Such methods as molecular biology, biochemical analysis, electron microscopy, and video observations are used in the investigations of Baikal organisms.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭСТУАРИЯХ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Горин С.Л.[1], Коваль М.В.[2]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва

[2] Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Петропавловск-Камчатский

gorinser@mail.ru

На основе результатов многолетних полевых работ, а также собранных архивных и литературных материалов рассмотрены вопросы формирования гидрологического режима и морфологического облика эстуариев Камчатского края.

Отечественная устьевая наука оформилась в самостоятельную область знаний на стыке гидрологии и геоморфологии в середине прошлого века. Во второй половине XX в. в России и в сопредельных странах (в пределах бывш. СССР) было изучено большое количество устьевых объектов, в том числе эстуариев. Однако эти исследования слабо затронули огромные пространства Тихоокеанского побережья России (ТПР) – до недавнего времени лишь устьевая область реки Амур могла считаться изученной, а еще о нескольких устьях рек существовали только разрозненные сведения. За последние 15 лет в большинстве регионов ТПР ситуация улучшилась незначительно. Исключение из общего правила составляет Камчатский край, в устьях рек которого под руководством авторов настоящего доклада в 2002 г. были начаты и до сих пор продолжаются систематические исследования.

Для Камчатского края (в него входят полуостров Камчатка и материковая часть Корякии) характерно очень большое разнообразие физико-географических условий. В его пределах распространены гористые и равнинные территории, многочисленные заливы и выровненные морские берега, множество больших и малых рек с различным гидрологическим режимом. Величина приливов в береговой зоне края изменяется от 1,5–2 м на Тихоокеанском побережье до 13–14 м в вершине Пенжинской губы Охотского моря. Благодаря этому, а также большой протяженности береговой линии (более 4500 км), в крае встречаются приливные эстуарии почти всех возможных типов: русловые, лагунные и морские. В связи с этим, научная и практическая значимость проводимых в нем устьевых исследований выходит за относительно узкие региональные рамки.

Авторы стараются придерживаться комплексного подхода и поэтому проводят не только ги-

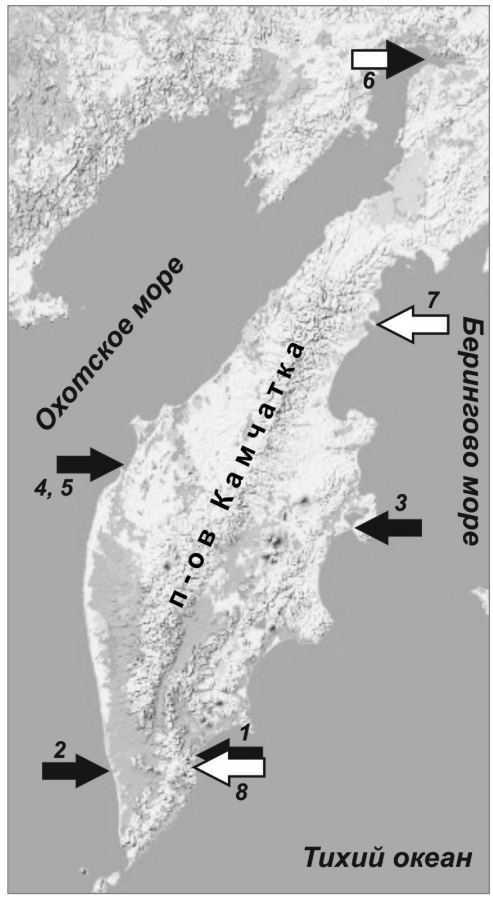


Рис. 1. Камчатский край с указанием объектов исследований:
1 – эстуарий реки Большой Вилюй (2002, 2004, 2006–2007 гг.);
2 – эстуарий реки Большая (2002–2005, 2010–2012 гг.);
3 – эстуарий реки Камчатка (2009–2010 гг.);
4, 5 – эстуарии рек Хайрюзова и Белоголовая (2011–2013 гг.);
6 – совместный эстуарий рек Пенжина и Таловка (2014–2016 гг.);
7 – эстуарий реки Карага (планируется в 2017–2019 гг.);
8 – эстуарий реки Вилюча (планируется в 2020 г.)

дролого-морфологические исследования, традиционные для отечественной устьевой школы, но и ихтиологические и гидробиологические работы. К настоящему времени детально изучено 5 объектов – лагунные эстуарии рек Камчатка, Большая и Большой Вилюй, русловые эстуарии рек Хайрюзова и Белоголовая (рис. 1). Еще в нескольких эстуариях (рек Ковран и Морошечная) проведены рекогносцировочные обследования. В двух объектах – гиперприливных эстуариях рек Пенжина и Таловка – исследования, начатые в 2014 г., еще продолжаются (рис. 1). В ближайшие годы исследования эстуариев Камчатки будут продолжены. Для этой цели выбраны эстуарии рек Карага и бухта Вилючинская (рис. 1).

Анализ результатов уже выполненных полевых исследований, а также доступных архивных и литературных источников, выявил следующее.

На северо-западном побережье Камчатки сформировались русловые эстуарии с устьевым расширением (воронкообразные эстуарии). Необходимым условием существования этих объектов являются высокие (от 4 до 10 м) морские приливы. Длина большинства воронкообразных эстуариев Камчатского края не превышает 10–20 км. Основной морфологический элемент в этих объектах – расширяющееся к морю русло, в котором смешиваются речные и морские воды. Положение границ и структура зоны смешения (ЗС) зависят от соотношения величин речного стока и морских приливов – чем выше прилив и меньше речной сток, тем дальше зона смешения от моря. Для воронкообразных эстуариев характерны значительные колебания уровня воды, а также высокая мутность воды в центральной части ЗС. В некоторых воронкообразных эстуариях есть хорошо выраженная "морская" часть, которая представляет собой стоково-отливную ложбину, продолжающую эстуарное русло на поверхности морской литорали. Примеры воронкообразных эстуариев: эстуарии рек Морошечная, Хайрюзова, Тигиль, Пустая. Всего в Камчатском крае около 15 подобных объектов.

На крайнем северо-западе Камчатского края находится совместный эстуарий рек Пенжина и Таловка – уникальный для нашей страны водный объект, находящийся под воздействием гипервысоких (до 13 м) морских приливов. Он состоит из 4 морфологических элементов: расширяющихся к морю участков русел рек Пенжина и Таловка (длина около 10–20 км), мелководной и относительно узкой "култучной" части Пенжинской губы (между устьевыми створами рек и выходом в северную часть губы; длина около 25 км), а также относительно глубоководной и широкой северной части Пенжинской губы (длина более 35 км). В речные русла ЗС проникает только во время приливов. "Култучную" часть Пенжинской губы занимает "ядро" ЗС, в котором соленость воды изменяется от 1–2 около устьевых створов рек до 10–14‰ в районе выхода в северную часть губы. В северной части губы границы ЗС возвратно перемещаются в зависимости от фаз приливов: в полные воды в сторону рек, а малые воды – в сторону моря. Характерная особенность эстуария рек Пенжина и Таловка – очень большие колебания уровня воды, которые приводят к периодическому обнажению обширных приливных осушек, а также высокая мутность воды в центральной части ЗС.

На Западном побережье Камчатки широко распространены лагунно-русловые эстуарии. Единичные объекты этого подтипа находятся на равнинных участках Восточного побережья. Они сформировались в устьях больших и средних рек, которые впадают в районы моря со средними приливами (до 2–4 м), сильным волнением и открытым равнинным побережьем. Лагунно-русловые эстуарии представляют собой вытянутые вдоль морского берега системы водных объектов, отделенные от моря песчано-галечными косами. Кроме системообразующего элемента – действующего водотока, соединяющего главную реку с морем – эстуарии этого подтипа могут включать в себя от одного до нескольких десятков водоёмов (в эстуарии реки Камчатка их ~30). Водоемы могут находиться в глухих руслах отмерших водотоков ("култуки"), в пределах затопленных частей речных долин ("лиманы"), а также в обширных котловинах, происхождение которых не связано с современными устьевыми процессами ("озёра"). Длина эстуарного водотока может достигать нескольких десятков километров (в эстуарии реки Большой – более 20 км), а площадь эстуарных водоемов – нескольких сотен квадратных километров (в эстуарии реки Камчатка – ~600 км^2). Для лагунно-русловых эстуариев характерна высокая динамичность аккумулятивных форм, отделяющих эти объекты от моря. Вследствие этого форма и гидрологический режим этих эстуариев (и их отдельных частей) может сильно изменяться: постепенно – по мере удлинения аккумулятивных форм и резко – после их прорыва. Эстуарный водоток является транзитным каналом, через который речная вода в период отлива стекает в море. В период прилива в него проникает морская вода, течение поворачивает в сторону реки, а сток речной воды прекращается до начала отлива. В целом, чем больше прилив и меньше речной сток, тем дальше от моря проникает зона осолонения (и наоборот). Гидрологический режим эстуарного водоема определяется тем, достигает его морская вода или нет. Если да,

тогда водоем будет осолонён, и чем чаще и больше в него попадает воды из моря, тем выше будет его соленость. Если же морская вода не достигает эстуарного водоема, тогда он будет заполнен более или менее трансформированной речной водой (чем выше проточность водоема, тем ближе его характеристики к речным). Примеры лагунно-русловых эстуариев: эстуарии рек Кошегочек, Большая, Сопочная, Налычева, Камчатка. Всего около 15–20 объектов.

На Восточном побережье Камчатского края встречаются лагунно-озерные эстуарии. Они сформировались там, где малые реки впадают в небольшие водоемы (длиной менее 10 км), отделенные от моря песчано-галечными пересыпями (волноприбойными аккумулятивными формами). С морем эстуарии соединяются через короткие и мелководные водотоки, прорезающие пересыпи. Котловина лагунно-озерных эстуариев всегда заполнена смесью речной и морской воды (с преобладанием последней), которая более или менее трансформирована благодаря замедленному обмену водой с рекой и морем, а также интенсивному обмену веществом и энергией на границах вода – атмосфера и вода – дно. Для лагунно-озерных эстуариев характерно частое (до нескольких раз в году) перекрытие их устьев песком, которое случается после особенно сильных штормов в море, а также сероводородное заражение донных отложений и нижних горизонтов воды (в период ледостава оно может распространяться на всю толщу воды). Лагунно-озерные эстуарии Камчатки условно делятся на 2 группы: относительно глубоководные и мелководные эстуарии. Объекты первой группы имеют глубину, достигающую 5–6, реже 10 и более метров. Это благоприятствует существованию в них устойчивой стратификации вод, при которой поверхностные воды с пониженной соленостью (весной – от 1‰) и относительно высоким содержанием кислорода отделяются слоем скачка от придонных вод с высокой соленостью (до 30‰ и более) и практически полным отсутствием кислорода. В мелководных эстуариях глубина не превышает 1–2 м. Поэтому вода в них перемешана до дна, в теплый период насыщена кислородом и хорошо прогрета. Примеры: а) глубоководные “озёра” Большой Вилюй, Большой Калыгирь; б) мелководные “лиманы” Семлячик и Хайлюлинский. Всего около 15–20 объектов (большинство из них “мелководные”).

Собственно морские эстуарии Камчатки представлены всего двумя объектами – Авачинской губой и бухтой Карага. Оба эстуария находятся на Восточном побережье Камчатки и представляют собой полузамкнутые заливы, в вершины которых впадают довольно большие реки. Хотя формирование заливов как таковых не связано с деятельностью рек, однако их морфологическое строение преобразовано устьевыми процессами: в вершинах заливов развиваются дельты выполнения, а в их котловинах накапливаются речные наносы. Площадь собственно морских эстуариев Камчатки – первые сотни квадратных км; длина – около 15–20 км; глубины – до первых десятков метров с максимумом в центральной части. Котловины собственно морских эстуариев всегда заполнены морской водой, над которой находится относительно тонкий слой опресненных вод. Гидрологические характеристики опресненного слоя – его толщина, размер площади, которую он занимает внутри эстуария, а также его соленость – зависят от соотношения величины речного стока, фазы прилива в море и наличия или отсутствия сгонно-нагонных явлений в море. В целом в собственно морских эстуариях преобладает сезонная изменчивость гидрологических характеристик, связанная со сменой фаз водного режима рек. Бóльшую часть года (примерно с октября по апрель) зона опреснения локализуется в вершинах эстуариев, прижимаясь к внешнему краю речных дельт. В период речного половодья, в июне-июле, она распространяется на всю акваторию эстуариев. Именно в это время мощность опресненного слоя достигает своего максимума (в Авачинском заливе до 5 м). На подъеме и спаде половодья, а также в период осенних паводков (в мае и августе-сентябре) зона опреснения занимает до половины площади эстуариев.

В пределах Камчатки находится всего 2 объекта – бухты Вилючинская и Русская, которые по особенностям морфологического строения могут считаться фьордами, а по гидрологическому режиму – эстуариями. Другие фьорды Камчатки не могут быть отнесены к числу эстуариев, поскольку в них впадают ручьи, не способные сформировать внутри них сколь-нибудь существенную по своим размерам зону смешения. Оба эстуария находятся на Юго-Восточном побережье Камчатки. Они представляют собой узкие, вдающиеся в сушу заливы с почти вертикальными скалистыми берегами. Длина заливов 6–7 км, ширина не превышает 2 км, максимальные глубины достигают 20–30 м. В средней части бухты Вилючинская есть порог, глубины над которым меньше 10 м. В вершины бухт впадают небольшие реки, стекающие со склонов близлежащих вулканов. Во фьордовых эстуариях опресняющее воздействие речного стока заметно лишь в летние месяцы и только поверхностном горизонте, мощность которого не превышает нескольких метров. В целом их гидрологический режим похож на режим собствен-

но морских эстуариев с той лишь разницей, что влияние моря в них еще более выражено.

Благодаря гидролого-морфологическим особенностям эстуариев различных подтипов в каждом из них преобладает тот или иной фактор, лимитирующий водную биоту. В лагунно-русловых эстуариях Камчатки таким фактором является сильная изменчивость солености воды, в лагунно-озерных эстуариях – низкое содержание растворенного кислорода и наличие сероводорода, а в русловых эстуариях с устьевым расширением – значительные приливные колебания уровня воды, в результате которых часть эстуария периодически осыхает. Наибольшим разнообразием гидролого-экологических условий отличаются лагунно-русловые эстуарии, в состав которых могут входить как водотоки, так и обширные водоемы с различной соленостью воды. Напряженнее всего условия жизни в лагунно-озерных и воронкообразных эстуариях – в первом случае из-за постоянного дефицита кислорода и периодического появления сероводорода, а во втором – из-за стрессового влияния приливов.

STATE AND PERSPECTIVES OF STUDYING KAMCHATKA ESTUARIES

Gorin S.L.[1], Koval M.V.[2]

[1] Russia Research Institute of Fishery and Oceanography, Moscow

[2] Kamchatka Research Institute of Fishery and Oceanography, Petropavlovsk-Kamchatskiy

gorinser@mail.ru

ABSTRACT

The paper considers the hydrological regime issues and morphological characteristics of the Kamchatka estuaries. The analysis is based on the field studies' results of many years as well as on the data collected from the archives and scientific papers.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВЕРХНЕВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ: ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ

Григорьева И.Л.

Институт водных проблем РАН, Москва,

IrinaGrigorieva@list.ru

Выявлены факторы формирования и проведена оценка современного состояния качества воды Иваньковского и Угличского водохранилищ.

При формировании качества воды водохранилищ определяющую роль, как правило, играют природные факторы. Влияние антропогенных факторов велико и варьирует в зависимости от водности года.

Объектами наших исследований были Верхневолжское, Иваньковское и Угличское водохранилища (табл. 1). Современная гидрохимическая оценка водоемов проводилась по данным наблюдений в 2012–2014 гг. Пробы воды отбирались посезонно, из поверхностного горизонта. Химический анализ отобранных проб воды был выполнен в гидрохимической лаборатории Иваньковской НИС Института водных проблем РАН, аттестат аккредитации №РОСС RU.0001.518693. Осредненные за три года наблюдений показатели качества воды в замыкающих створах исследованных водохранилищ представлены в таблицах 2–4.

Таблица 1. Морфометрические характеристики исследованных водохранилищ бассейна Верхней Волги при НПУ

ХАРАКТЕРИСТИКА	ВОДОХРАНИЛИЩЕ		
	ВЕРХНЕВОЛЖСКОЕ	ИВАНЬКОВСКОЕ	УГЛИЧСКОЕ
НПУ, м	206,5	124,00	113,00
Площадь водного зеркала, км^2	183	327	249
Полный объем, км^3	0,794	1,12	1,245
Средняя глубина, м	4,4	3,4	5,0
Наибольшая глубина, м	16,1	19,0	23,2
Длина, км	92,5	111	146
Наибольшая ширина, км	4,4	8,0	5,0

Таблица 2. Среднесезонные концентрации главных ионов (мг/дм^3) и минерализация воды (мг/дм^3) в замыкающих створах верхневолжских водохранилищ: 1 – Верхневолжское, 2 – Иваньковское, 3 – Угличское

ВОДОЕМ	СЕЗОН	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	М
1	зима	19,0	6,5	1,7	75,1	5,7	1,0	111
	весна	15,9	4,3	1,3	57,3	7,4	1,2	91
	лето	17,6	2,5	1,9	62,2	7,1	0,9	94
	осень	19,1	4,5	3,7	80,5	7,0	1,5	118
2	зима	46,6	10,5	0,9	167,8	12,0	5,3	249
	весна	36,1	10,0	5,0	143,3	13,4	5,8	210
	лето	36,8	8,7	4,3	145,6	12,3	3,9	214
	осень	39,4	11,5	5,7	168,9	8,9	5,4	243
3	зима	49,0	10,6	8,6	179,4	21,5	8,0	284
	весна	34,1	9,3	3,6	129,0	16,5	5,4	202
	лето	41,6	8,6	3,0	149,3	17,5	4,4	227
	осень	40,8	11,5	6,6	164,6	16,1	6,9	251

Таблица 3. Среднесезонные концентрации биогенных элементов в замыкающих створах верхневолжских водохранилищ: 1 – Верхневолжское, 2 – Иваньковское, 3 – Угличское

ВОДОЕМ	СЕЗОН	$P_{мин}$, мгР/дм^3	$P_{общ.}$, мгР/дм^3	NH_4^+, мгN/дм^3	NO_2^-, мгN/дм^3	NO_3^-, мгN/дм^3	SiO_2, мг/дм^3	$Fe_{общ.}$, мг/дм^3
1	зима	0,014	0,061	0,81	0,006	0,37	2,8	0,48
	весна	0,017	0,074	0,66	0,005	0,40	2,0	0,28
	лето	0,019	0,062	0,76	0,004	0,16	1,1	0,22
	осень	0,021	0,060	0,41	0,004	0,18	1,6	0,33
2	зима	0,048	0,113	0,61	0,007	0,70	3,9	0,37
	весна	0,030	0,082	0,41	0,007	0,56	2,7	0,23
	лето	0,036	0,083	0,57	0,008	0,16	1,1	0,10
	осень	0,033	0,070	0,37	0,003	0,36	2,0	0,17
3	зима	0,027	0,101	0,49	-	0,92	4,3	0,29
	весна	0,029	0,082	0,46	0,011	0,60	2,2	0,18
	лето	0,047	0,100	0,57	0,019	0,23	1,00	0,11
	осень	0,050	0,094	0,35	0,006	0,46	2,3	0,20

Таблица 4. Среднесезонные показатели органического вещества и концентрации марганца в замыкающих створах верхневолжских водохранилищ: 1 – Верхневолжское, 2 – Иваньковское, 3 – Угличское

ВОДОЕМ	СЕЗОН	$БПК_5$, мг О/дм^3	ЦВЕТНОСТЬ, град. Pt-Co шкалы	ПО, мг О/дм^3	Mn, мг/дм^3
1	зима	0,8	123	26,5	0,03
	весна	1,7	83	19,0	0,06
	лето	3,5	78	18,3	0,04
	осень	0,8	65	16,1	0,05
2	зима	1,6	84	13,4	0,15
	весна	3,6	67	13,5	0,10
	лето	2,8	48	10,6	0,05
	осень	1,6	46	10,9	0,05
3	зима	2,5	56	15,0	0,14
	весна	2,3	67	16,6	0,09
	лето	2,8	50	13,8	0,13
	осень	1,5	60	15,5	0,17

Анализ гидрохимических данных показал, что наименее минерализованной является вода Верхневолжского водохранилища, диапазон изменения значений минерализации в годы наблюдений составил 91–118 мг/дм^3. Для водных масс Иваньковского и Угличского водохранилищ характерна средняя минерализация воды. Значения минерализации воды Иваньковского водохранилища изменяются от 210 мг/дм^3 весной до 249 мг/дм^3 зимой. В воде Угличского водохранилища значения минерализации изменяются от 202 мг/дм^3 весной до 284 мг/дм^3 в зимний период. Наибольшие концентрации сульфатов и хлоридов зафиксированы в воде Угличского водохранилища (табл. 2).

Более высокие концентрации нитратного азота (табл. 3) отмечались в воде Иваньковского и Угличского водохранилищ вследствие более высокой антропогенной нагрузки, чем на Верхневолжское водохранилище.

В воде Верхневолжского водохранилища среди минеральных форм азота преобладает аммонийный во все сезоны года. В воде Иваньковского и Угличского водохранилищ аммонийная форма азота преобладает только в летний период. Наименьшие концентрации фосфора и наибольшие концентрации железа общего отмечаются в воде Верхневолжского водохранилища.

Для воды верхневолжских водохранилищ характерно высокое содержание органического вещества природного происхождения, о чем свидетельствуют высокие значения цветности и перманганатной окисляемости (табл. 4).

Исследование гидрохимического режима Верхней Волги в 2008–2012 гг. [Григорьева, Комиссаров, 2014] и анализ литературных источников [Волга..., 1978; Гидрометеорологический режим..., 1975] показали, что основную роль в формировании ее химического состава воды играют природные условия водосборного бассейна, поскольку антропогенная нагрузка невысока. Исследования 2013–2014 гг. подтвердили этот вывод.

В бассейне Верхней Волги наибольший антропогенный пресс приходится на Иваньковское водохранилище. Поскольку гидрохимический режим Угличского водохранилища формируется под воздействием вод, поступающих из Иваньковского, качество воды в нем по некоторым показателем может быть хуже.

Анализ показателей качества воды Иваньковского и Угличского водохранилищ за многолетний период показал, что происходит увеличение в воде водоемов концентраций хлоридов, сульфатов, нитратов.

За многолетний период не произошло существенных изменений в химическом составе воды Верхневолжского водохранилища по таким показателям и ингредиентам, как pH, минерализация, жесткость общая, ион кальция, ион магния, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, железо общее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волга и ее жизнь. – Л. Наука, 1978. – 350 с.

Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ. Водохранилища Верхней Волги. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 291 с.

Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. Сравнительная гидрохимическая оценка современного состояния некоторых водных объектов Верхней Волги //Водные ресурсы, 2014. – Т.41. – №3. – С. 269-283.

MODERN WATER QUALITY OF THE UPPER VOLGA RESERVOIRS: FORMING FACTORS AND TRANSFORMATION

Grigorieva I.L.

Water Problems Institute of Russian Academy of Science, Moscow, Russia, Irina_Grigorieva@list.ru

ABSTRACT

Forming factors are exposed and the estimation of modern water quality of Verhnevolgskoye, Ivankovskoye and Uglicheskoye reservoirs is conducted.

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ОЗЕРНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Измайлова А.В., Драбкова В.Г.

Институт Озероведения РАН, Санкт-Петербург

ianna64@mail.ru

Рассматриваются результаты оценки качества вод крупнейших водоемов ЕТР. Предложены критерии оценки качества озерных водных ресурсов крупных территорий.

В настоящее время в ИНОЗ РАН завершена количественная оценка водных ресурсов озер Российской Федерации по всем ее субъектам и федеральным округам (ФО). Ее результаты по ФО ЕТР представлены в таблице 1. Согласно проведенной оценке около 99% озерных водных ресурсов ЕТР сконцентрировано в пределах Северо-Западного ФО. Суммарная доля пяти других ФО до начала активного гидростроительства составляла около 1% и лишь за счет искусственных резервуаров повысилась до 15% от суммарного объема поверхностных вод ЕТР [Измайлова, Корнеенкова, 2014].

Около 90% озерных вод ЕТР сконцентрировано в наиболее крупных водоемах с площадью зеркала более 100 км^2. Именно большие озера определяют стратегический запас озерных вод страны, что обостряет вопрос об их экологическом состоянии. В связи с этим в ИНОЗ РАН была проведена оценка качества воды, содержащейся в крупнейших озерах и водохранилищах ЕТР. В ее основу были положены литературные данные, данные ежегодников состояния экосистем поверхностных вод России и материалы Государственных докладов "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации" за 2005–2014 годы.

Согласно проведенной оценке более 2/3 вод, содержащейся в озерах ЕТР с площадями, превышающими 100 км^2 на настоящий момент остаются олиготрофными, и около 60% относятся к 1 классу качества (рис. 1). Такой высокий процент условно чистых вод связан, прежде всего, с относительно высоким качеством глубинных вод крупнейших озер ЕТР (Ладожского и Онежского), и со значительными запасами воды в больших северных озерах. В тоже время олиготрофные воды присутствуют лишь в крупных северных водохранилищах, тогда как большинство водохранилищ центра ЕТР характеризуются как мезотрофно-эвтрофные или эвтрофно-мезотрофные.

Качество вод, содержащихся в больших озерах, намного превосходит качество вод, заключенных в крупных водохранилищах речного типа. Воды 5 класса наблюдаются лишь в водохранилищах (около 2%). Доля вод 4 класса для больших озер не превышает 1%, тогда как для водохранилищ она составляет лишь чуть менее половины суммарных ресурсов. Гипертрофные воды встречаются как в озерах, так и в водохранилищах, их доля оценивается, соответственно, в 0,17 и 2,15%.

Северо-Западный федеральный округ (СЗФО) характеризуется не только наибольшими ресурсами, но и наиболее благоприятным экологическим состоянием озерных экосистем. Для округа характерно большое количество крупных озер, большинство из которых отличается высоким качеством воды. Среди больших водоемов наиболее сложная экологическая ситуация в настоящее время наблюдается на Рыбинском водохранилище и на части Чудско-Псковского озера. В тоже время качество воды малых и средних водоемов СЗФО значительно варьирует по территории округа в зависимости, как от природных причин, так и от уровня антропогенного воздействия на водосборе.

Таблица 1. Водные ресурсы озер ЕТР (включая воды повышенной минерализации)

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	ПЛОЩАДЬ, км^2	ОЗЕРНЫЕ РЕСУРСЫ, км^3 (в том числе - пресные)	ОБЪЕМ ВОД В ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ, км^3
Северо-Западный (СЗФО)	1 677 900	1358	28
Центральный (ЦФО)	652 800	6,6	33,1
Приволжский	1 038 000	2,47 (2,28)	128
Южный	416 840	3,3 (1,08)	52,9
Северо-Кавказский (СКФО)	172 360	0,47 (0,11)	5,69
Крымский	27 161	0,78 (0,02)	0,4

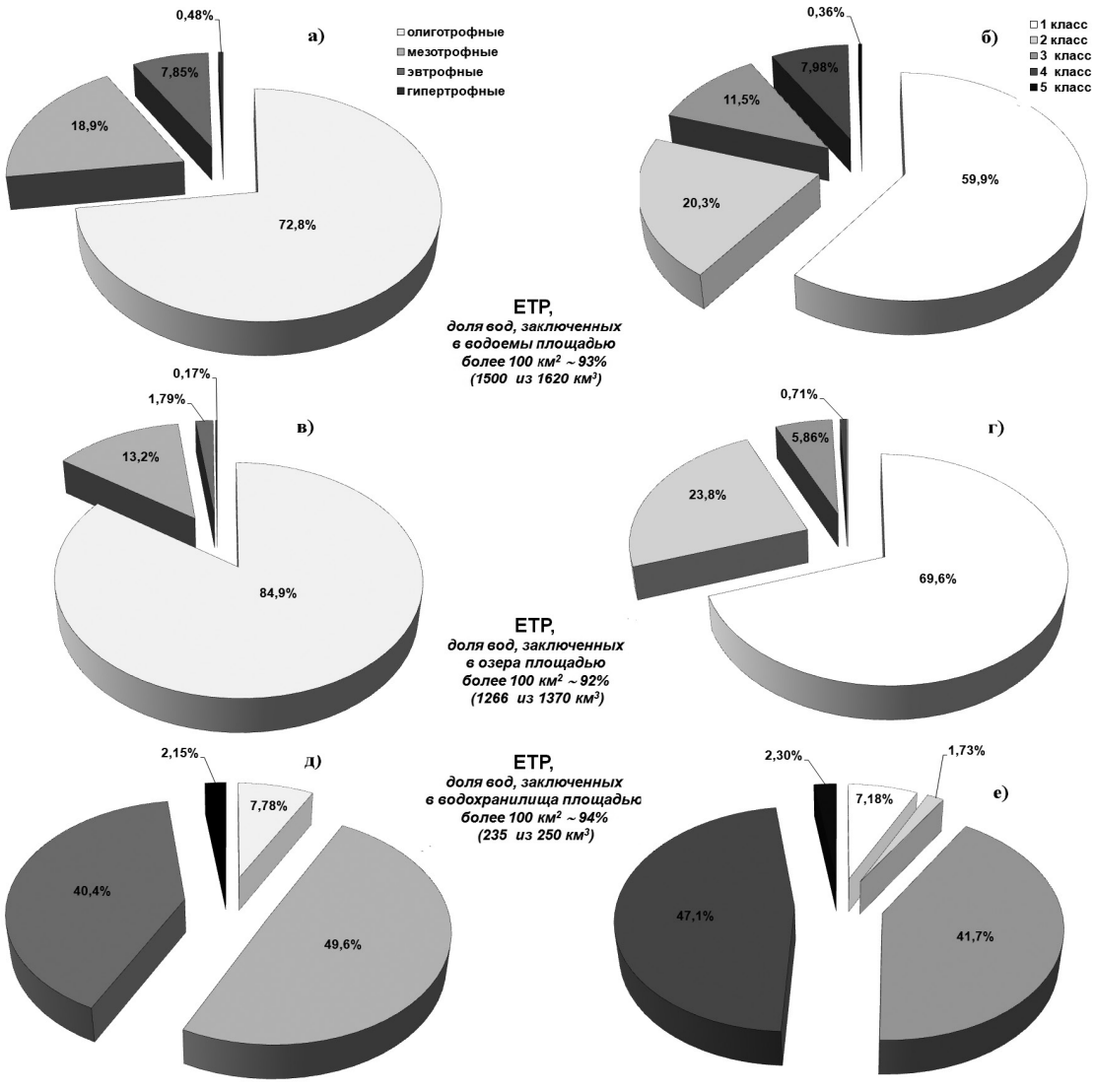


Рис. 1. Трофический статус вод заключенных в водоемы ЕТР площадью > 100 км^2:
а) - все водоемы, в) - озера, д) – водохранилища; и класс загрязнения вод:
б) - все водоемы, г) - озера, е) - водохранилища.

За пределами СЗФО больших озер немного, значительная их часть характеризуется повышенной минерализацией. Большая часть вод сконцентрирована в водохранилищах. Среди крупных водоемов олиготрофные отсутствуют. В центральной части ЕТР преобладают мезотрофные и мезотрофно-эвтрофные, а на юге – эвтрофные воды, определенную долю составляют гипертрофные. Для многих водоемов характерно повышенное содержание токсических веществ. Воды большинства водохранилищ оцениваются 3 и 4 классом качества, доля вод 5-ого класса составляет более 2%.

Высокое качество воды характерно лишь для небольших по размеру естественных водоемов, прежде всего глубоководных карстовых озер (наиболее широко представленных в пределах Приволжского ФО) и ряда озер ледникового происхождения (север ЦФО, высокогорные территории). Большинство старичных озер чаще всего отличаются невысоким качеством воды, низкое качество характерно обычно и для небольших искусственных водоемов. В отличие от озер они представляют собой молодые, неустойчивые системы, предрасположенные к быстрому наращению уровня трофности. Катастрофический уровень загрязнения наблюдается на тех водоемах, которые используются в качестве отстойников, среди них ряд достаточно крупных, как, например, хвостохранилище Михайловского ГОКа в Курской области и карьеры-отстойники Белгородской области.

В пределах СКФО расположена лишь одна крупная лагуна площадью более 100 км^2 (оз. Южный Аграхан), площадь двух крупнейших водохранилищ округа (Кубанского и Чиркейского) не превышает

50 км^2. Характерной чертой СКФО является резкое несоответствие между качеством озерных ресурсов ее равнинной и горной части. Многие равнинные водоемы имеют воду низкого качества, тогда как почти все горные озера характеризуются чистыми водами. Хоть в последние годы и ряд горных озер также стал испытывать на себе антропогенный прессинг.

Поддержание высокого экологического статуса крупнейших водоемов позволяет сохранять значительные стратегические запасы относительно чистой воды даже при сильном загрязнении малых и средних водоемов. Это особенно важно в связи с неудовлетворительным экологическим состоянием большинства малых и средних озер центра и юга ЕТР. Для многих областей, в которых отсутствуют крупные водоемы, доля условно чистых озерных вод уже сегодня составляет лишь доли процента. При этом, воды, заключенные в искусственные водоемы, практически повсеместно уступают по качеству озерным водам.

Наряду с оценкой качества воды крупнейших водоемов ЕТР, важнейшим вопросом является оценка качества озерных водных ресурсов по всем субъектам РФ, являющаяся вторым этапом общей оценки озерных ресурсов и основой определения их пригодности для различных видов водопотребления. Для ее решения необходимо предварительное определение критериев, позволяющих оценить качество озерных вод применительно не к отдельному водному объекту, а к территории, ресурс которой нас интересует. Такая оценка должна опираться на уже существующие разработки, однако в силу ряда объективных причин она должна быть с одной стороны крайне упрощенной, с другой – содержать дополнительные параметры, характеризующие именно ресурс, а не водоем. Это связано со следующими соображениями:

– При оценке качества озерных вод территории мы обязаны учитывать, что количество “изученных” водных объектов всегда будет очень невелико, тогда как никакой дополнительной системы наблюдений при этом планироваться не может. То есть мы должны полностью опираться на существующие крайне ограниченные данные, при этом эти данные по каждому выбранному показателю должны быть в свою очередь репрезентативными, и отражать ресурс, а не случайные объекты.
– Любая территория будет характеризоваться значительным многообразием различных показателей (гидрохимических, гидробиологических и др.), среди которых лишь часть может рассматриваться как индикативные. Наиболее важным представляется, с одной стороны, выделить показатели, имеющие географическую привязанность, то есть отражающие роль различных природных процессов и факторов в формировании озерных экосистем, характерных для рассматриваемой территории. Необходимо, чтобы такие показатели были едиными для всей территории, то есть рассматривались как приоритетные. С другой стороны, необходимо выделить показатели, наиболее полно отражающие существующее экологическое состояние озерных экосистем конкретной рассматриваемой территории, что является, в свою очередь критерием их пригодности для различного вида использования.
– Для любой территории, на которой расположено большое количество озер, различающихся по своему происхождению и особенностям функционирования, будет характерна значительная вариабельность практически любого выбранного показателя. Поэтому при определении критериев необходимо учитывать, что любой показатель будет представлен в определенном диапазоне значений, отражающем обстановку по всей территории. В случае, когда водоемы в пределах территории принципиально различаются между собой, разумно давать несколько диапазонов значений параметра для групп водоемов, объединенных по какому-то признаку. Кроме того, для каждого из отобранных параметров необходимо определить как его фоновые значения для данной территории, так и экстремальные, достигнутые в результате антропогенного прессинга.
– При определении критериев необходимо помнить о чрезвычайной важности оценки чувствительности и уязвимости экологических систем, расположенных в пределах территории, к изменениям нагрузки, поскольку лишь гарантия устойчивого функционирования водных экосистем может обеспечить устойчивое водопользование. Чувствительность и уязвимость экосистем к изменениям нагрузки будет определяться как комплексом природных факторов, так и характером самой нагрузки, по-разному сказывающейся в различных условиях среды.
– Перспективным направлением оценки качества природных вод являются методы биоиндикации, обещающие на основе видового состава сообществ и обилия его компонент дать интегральную оценку результатов природных и антропогенных процессов, протекавших в водном объекте. Однако ограниченность региональных данных, не позволяет, к сожалению, в настоящее время воспользоваться уже имеющимися достижениями в этой области. Однако данное направление очень перспек-

тивное и в будущем, включение биотических индексов в состав показателей оценки качества озерных вод применительно к территории кажется необходимым.

– При оценке экологического состояния водоема часто стремятся к разработке некоего комплексного показателя, который бы учитывал комбинированное действие целого ряда факторов. Даже для отдельного водоема разработка такого показателя, чаще всего выраженного в баллах, сопряжена с массой трудностей, среди которых сложность определения вклада различных факторов в общее воздействие при нелинейности и неравенстве тангенса уклона зависимости "концентрация вещества – эффект вредного действия". Для возможности определения рациональности и эффективности использования территориальных озерных ресурсов разработка комплексного показателя их экологического состояния представляется очень важной. Однако решение этой задачи требует тщательной проработки и может быть выполнено лишь в перспективе.

С учетом изложенных соображений нами на настоящий момент предлагается производить оценку качества озерных вод применительно к территории с использованием следующих критериев:

– ***Величин общей минерализации***, как показателя, в значительной степени определяющего пригодность воды для ее использования;
– ***Соотношений главных ионов*** как показателя химического состава воды.
– ***Величин pH воды***, отражающих природную обстановку и степень искусственного закисления водоемов;
– Категории ***трофности водоемов,*** как важнейшего показателя состояния озерных экосистем. Трофность водоема зависит как от физико-географических факторов, так и от антропогенного воздействия. Антропогенное эвтрофирование является одной из важнейших проблем, наблюдающихся в озерных экосистемах;
– Степени ***заиления водоемов***. Заиление водоемов существенно ускоряется в результате хозяйственной деятельности на водосборе. В ряде районов оно приводит к быстрому заполнению озерных котловин и исчезновению озер;
– Превышения существующих норм ***содержания токсичных веществ,*** являющихся наиболее опасным видом загрязнения поверхностных вод. Оценка качества вод обычно осуществляется по данным изменения отдельных параметров (тяжелые металлы, ксенобиотики и др.) и кратности их превышения по отношению к установленным ПДК;
– ***Чувствительности и уязвимости*** водных экосистем, расположенных в пределах территории, к изменениям антропогенной нагрузки.

Оценка качества водных ресурсов озер по всем субъектам федерации, выполненная с учетом предложенных критериев, в данное время начата в ИНОЗ РАН и ее результаты будут поэтапно публиковаться на сайте института в специально созданной для этого информационной системе "Озера России".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Измайлова А.В., Корнеенкова Н.Ю. Новая оценка озерного фонда Российской Федерации: первые результаты. – В сб. География: традиции и инновации в науке и образовании. Кол. монография по мат. Междун. научно-практ. Конф. LXVII Герценовские чтения. – С-Пб.: Изд-во РГПУ им. А.И.Герцена, 2014. – С. 232-235.

WATER QUALITY PROBLEMS OF THE LAKES OF EUROPEAN PART OF RUSSIA

Izmailova A.V., Drabkova V.G.

Limnology Institute, RAS, St.-Petersburg, Russia, ianna64@mail.ru

ABSTRACT

Results of water quality assessment of major lakes and reservoirs of European part of Russia are considered. Criteria for assessing the lake's water quality for administrative territories are proposed.

ЗОНЫ ДЕПОНИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н.

Институт водных проблем РАН, Москва

kazm@pochta.ru

Рассмотрены факторы и закономерности естественного концентрирования и депонирования меди, цинка, свинца и кадмия в донных отложениях при различных условиях седиментации в водных объектах, дренирующих природные и антропогенно модифицированные водосборы.

Поступающее в водоем загрязняющее вещество перераспределяется между жидкой и твердой фазами, т.е. между водной массой и донными отложениями. Поступление загрязнителей из воды в донные отложения обусловлено в основном тремя процессами: 1) диффузией воды в толщу грунтов, слагающих дно; 2) прямой сорбцией загрязняющих веществ; 3) седиментацией взвешенных частиц, сорбирующих загрязняющее вещество. В результате происходящих процессов дно водных объектов фиксирует значительное количество загрязняющих веществ и местами может превращаться в своеобразный накопитель. Уровень накопления и характер распределения определяется рядом факторов: гидродинамической активностью водных масс, концентрацией загрязняющих веществ в воде и их составом, а также механическими, минералогическими и химическими характеристиками грунтов, слагающих дно водоема или водотока. Донные отложения являются активным компонентом экосистемы, представляя собой среду, где совершается обмен веществом и энергией с организмами и водными массами, в значительной степени определяя протекание процессов вторичного загрязнения и самоочищения.

Вместе с тем, одним из наиболее объективных и надежных показателей состояния загрязнения водного объекта и общего уровня антропогенной нагрузки на него является содержание тяжелых металлов в донных отложениях, поскольку донные отложения отражают многолетние процессы накопления и трансформации веществ. Кроме того, концентрации загрязнителей значительно точнее можно оценить в осадке, чем в водной массе, из-за высокой гетерогенности последней.

Металлы слабо подвержены биодеградации, обладают кумулятивным эффектом, длительное время сохраняют активность, что приводит к их долговременному влиянию на водную среду. Известно, что высокие концентрации микроэлементов в воде и донных отложениях оказывают негативное воздействие на компоненты биоты. Около десяти микроэлементов входят в список особо опасных для биоты токсикантов. Их опасность связывают, прежде всего, с возникновением в водоеме зон токсического риска. Высокие концентрации ряда токсичных элементов в донных отложениях представляют непосредственную опасность для бентоса и рыб, обитающих в придонном слое.

Результаты как экспериментальных, так и натурных наблюдений, проведенных многими исследователями, показывают, что наибольшей сорбционной способностью и поглотительной емкостью обладают грунты, состоящие преимущественно из мелкодисперсных илистых частиц органического происхождения [Sharma, Singh, 2015; Shotbolt et al., 2005; Ujević et al., 2000]. В большинстве случаев илистые донные отложения (ил, песчанистый ил, торфянистый ил, отложения из макрофитов или растительного опада) на 50% и более представлены мелкодисперсными частицами размером менее 50 мкм. С другой стороны, известно, что значительная часть тяжелых металлов переносится на взвешенных частицах. В составе взвеси в наибольшем количестве содержатся железо и алюминий. Так, сопоставление концентраций тяжелых металлов в воде и взвешенном веществе Нижней Волги показало, что в основном они сосредоточены во взвеси. Доля адсорбированной на взвешенных частицах меди изменяется от 45,6% до 95,2%, составляя в среднем для Нижней Волги 76,5%. Для кадмия эти величины были существенно выше и составляли 85%, 97% и 89,6% соответственно. Для свинца разброс значений был значительно более широкий (от 28 до 100%, в среднем 80,5%). Основная часть марганца также была найдена в связанной с взвешенными частицами форме – все значения укладывались в диапазон 57–100%, в среднем – 85,4%. Единственным исключением стало распределение цинка между растворенной и взвешенной формами. Большая

часть этого металла была найдена в растворенном виде. На взвешенных в воде частицах было адсорбировано от 6,7% до 51,6% цинка, в среднем только 21,8% [Бреховских и др., 2008].

Под воздействием гидродинамической активности водных масс (стоковые и стоково-ветровые течения, ветровое волнение, приливно-отливные волны) происходит повторное многократное взмучивание твердых частиц дна, их перенос и трансседиментация, пока, в конечном счете, частицы не будут отсортированы по гидравлической крупности, депонированы и перекрыты новыми слоями донных отложений. Под зоной депонирования тяжелых металлов будем понимать участок дна водного объекта, где преобладают процессы седиментации твердых частиц, приводящие к естественному концентрированию частиц, переносящих тяжелые металлы и их захоронению.

Нами изучались различные типы донных отложений с преобладанием гравия, крупнозернистого-, среднезернистого- и мелкозернистого песка, илистые донные отложения с преобладанием глинистых и органических частиц различного генезиса и степени минерализации, а также отложения из растительного опада.

Установлено, то в зонах устойчивой седиментации (устьевые участки рек, зарастающие участки, зоны ниже границы ветро-волнового перемешивания и др.) наблюдаются повышенные концентрации тяжелых металлов и происходит их депонирование, следствием чего могут быть локальные геохимические аномалии. Индикаторами этих процессов являются грунты с повышенным содержанием пелитовых фракций и уплотненные слабоминерализованные органические илы. В значительной степени этому способствуют процессы биосорбции и биогенной седиментации. Органические и неорганические загрязнители, содержащие тяжелые металлы, могут быть извлечены из воды и донных отложений в результате различных механизмов биосорбции: адсорбции, абсорбции, выпадения в осадок, поверхностного комплексообразования или ионного обмена. При этом активными биосорбентами являются как живые организмы, так и мертвая фитомасса, поскольку основными агентами в этом случае являются бактерии. В дальнейшем происходит постепенное опускание частиц на дно в местах со слабой гидродинамической активностью водных масс, уплотнение слоев и при определенных гидрологических условиях перекрытие слоем минеральных частиц.

Очевидно, что водные объекты имеют различную способность к депонированию тяжелых металлов. Меньше всего зон депонирования наблюдается в водотоках. Прежде всего, это заводи, старицы и зарастающие мелководья. При этом, донные отложения последних часто имеют сезонную динамику, вызванную сезонностью гидрологического цикла, с одной стороны, и сезонностью развития высшей водной растительности (ВВР) и фитопланктона, с другой. В период половодья при повышении уровня и скоростей движения воды возможно интенсивное вымывание мелкодисперсных частиц и остатков ВВР. На спаде гидрографа и в межень, наоборот, происходит накопление мелких частиц в зарастающих зонах. Этому способствуют побеги и заросли новой растительности, которая к этому времени успевает создать значительное сопротивление движению воды.

Наличие и распределение зон депонирования тяжелых металлов в озерах зависит от их глубины, геморфологии, ветро-волнового режима, состава и свойств грунтообазующего материала, а также климатических условий. В глубоких озерах вся озерная котловина ниже глубины стоково-ветровых течений и ветро-волнового перемешивания представляет собой зону депонированя различных загрязнителей, в т.ч. тяжелых металлов. Для таких озер мелководные заросшие участки представляют незначительную часть зоны депонирования. Кроме того, на этих участках возможна сезонная динамика донных отложений. Удельный вес зарастающих мелководий как зон депонирования тяжелых металлов возрастает в мелководных озерах. Средообразующая роль ВВР имеет целый ряд аспектов: 1) увеличение гидравлических сопротивлений движению воды, 2) механическая сорбция взвешенных веществ поверхностью растений, 3) поглощение микроэлементов тканями растений, 4) образование органических илов и отложений из макрофитов. Из ВВР особое значение имеет тростник обыкновенный (Phragmites commúnis). Хотя этот макрофит не является активным биосорбентом и гиперконцентратором тяжелых металлов (например, концентрирует медь в 100 раз меньше чем сальви́ния пла́вающая (Salvínia nátans), благодаря своей жесткой структуре и длительному периоду разложения (до 2-х лет), способен удерживать значительные количества тяжелых металлов, как в тканях растений, так и в задерживаемых тростником илах и растительном опаде.

Водохранилищам присущи характерные черты, как водотоков, так и водоемов. Кроме того, на внутриводоемные процессы влияет искусственное регулирование уровня воды. Все это определяет многообразие зон депонировния тяжелых

металлов. В равнинных водохранилищах часть тяжелых металлов депонируется в русловой ложбине в приплотинной части водоема, где отсутствует гидродинамическая активность водных масс, вызванная стоково-ветровыми течениями, ветроволновым перемешиванием, а также нет влияния регулирующего сооружения (сбросов воды через гидроагрегаты, водосливную плотину и шлюзы). Однако, в Иваньковском водохранилище зона депонирования тяжелых металлов практически отсутствует, поскольку даже в межень, при средних скоростях течения 3–12 см/с граница между зоной переноса частиц и зоной их седиментации находится на глубине 9–12 м, а в половодье, в период максимальных сбросов через гидротехнические сооружения, средняя скорость течения воды может достигать 50–60 см/с.

В некоторых водохранилищах значительные площади занимают зарастающие мелководья, среди которых можно выделить следующие типы: затопленные устья постоянных и временных водотоков, впадающих в водохранилище, полузакрытые заливы, открытые заливы, мелководья на участках бывшей поймы и других рек, прибрежные отмели. Два первых типа мелководий, а также верховья открытых заливов являются зонами депонирования тяжелых металлов. Сравнивались участки мелководий без растительности, окруженные зарослями ВВР; участки с группировками ВВР на мелководьях без растительности и участки заливов и притоков, наиболее удаленные от основной акватории водоема.

Очевидно, что на таких участках водоема гидродинамическая активность водных масс сильно отличается. Фитоценоз, расположенный на открытом мелководье, испытывает постоянное воздействие перемещения водных масс. При этом подводная растительность имеет относительно небольшую фитомассу и мягкие ткани, ее опад быстро разлагается и создает мелкие частицы. Эти фитоценозы имеют короткий период вегетации, не создают значительного сопротивления движению воды и слабо препятствуют вымыванию органических частиц. Кроме того, водообмен на участке способствует более быстрому разложению органического вещества.

На тех же открытых мелководьях совсем по-другому происходят процессы в тростниковых зарослях. Стебли тростника имеют жесткую струтуру, слабо разлагаются, тростник создает значительное сопротивление движению воды в течение всего года, что препятствует выносу продуктов распада за пределы зарослей. Все это приводит к тому, что на открытых участках в донных отложениях зарослей тростника общее содержание органического вещества более чем в два раза больше, чем в зарослях рдеста. Высокое процентное содержание органического вещества в зарослях осоки, по-видимому, объясняется особенностями биологии вида. Осока колонизирует очень мелкие участки (обычно, с глубиной до 20 см), создает густые заросли с проективным покрытием 100%, имеет развитую корневую систему. После отмирания надземных частей растений, большая часть опада переходит в местные донные отложения, поскольку на таких малых глубинах гидродинамические процессы развиты слабо.

На незаросших, но обрамленных зарослями жесткой воздушно-водной растительности участках, интенсивное движение водных масс также затруднительно. Поэтому, несмотря на то, что прямых поступлений растительного опада в донные отложения нет, он поступает из близлежащих зарослей и в результате других внутриводоемных процессов. При этом вынос органического вещества из донных отложений за пределы незаросшего участка минимален.

Рассмотренные выше процессы усиливаются на закрытых от волнения непроточных участках заливов, где образуется много органического вещества, которое поступает в местные донные отложения. На таких участках возможно образование торфянистых илов и торфов с потерями при прокаливании 70% и более (например, Коровинский залив Иваньковского водохранилища).

Таким образом, общее содержание органического вещества в донных отложениях зарастающих участков в равной степени зависит от расположения этих участков по отношению к развитым гидродинамическим процессам в водоеме и от создаваемой данным видом растений фитомассы. При дифиците кислорода практически прекращается разложение органики и она интенсивно накапливается в донных отложениях, создавая условия для биосорбции тяжелых металлов.

В устьевых областях крупных рек плавневые массивы являются природным фильтром, препятствующим загрязнению озер и окраинных морей. В зарослях ВВР по сравнению с донными отложениями проточных участков устьевой области Волги, содержание тяжелых металлов выше: марганца – в 1,8–2,3 раза, кобальта – 1,4, никеля – 1,4, меди – 1,5–1,6, цинка – 1,7–1,8, свинца – 1,4. Изменение содержания железа значительно сложнее, без ярко выраженных закономерностей, что, по-видимому, связано как с природным, так и антропогенным происхождением железа в экосистеме. Содержание хрома, молибдена, кадмия, се-

лена в зарослях и свободных от растительности участках отличается мало.

Полученные закономерности позволяют прогнозировать возникновение зон экологического риска для водных экосистем и здоровья человека. Учет зон депонирования тяжелых металлов также необходим при экологической реконструкции и восстановлении водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кочарян А.Г. Микроэлементы в воде, взвеси и донных отложениях волжского каскада и Нижней Волги // Водные ресурсы Волги: настоящее, будущее, проблемы управления. – Астрахань, 2008. – С. 41–46.

Sharma S., Singh D.N. Characterization of sediments for sustainable development: State of the art. Marine Georesources & Geotechnology, 2015. Vol.33, pp. 447–465.

Shotbolt L.A., Thomas A.D., Hutchinson S.M. The use of reservoir sediments as environmental archives of catchment inputs and atmospheric pollution. Progress in Physical Geography, 2005. Vol.29 No. 3, pp. 337–361.

Ujević I., Odžak N., Barić A. Trace metal accumulation in different grain size fractions of the sediments from a semi-enclosed bay heavily contaminated by urban and industrial wastewaters. Water Research, 2000. Vol.34 No. 11, pp. 3055–3061.

TRACE METALS DEPOSITION ZONES IN WATER BODIES

Kazmiruk V.D., Kazmiruk T.N.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, kazm@pochta.ru

ABSTRACT

The factors and patterns of copper, zinc, lead and cadmium natural concentration and deposition in sediments are considered. We studied the sites under different conditions of sedimentation in water bodies, which have watersheds in natural and human-modified areas.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОЗЕР КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Козлов Д.Н.[1], Субетто Д.А.[2], Фирсенкова В.М.[3]

[1] ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

[2] ФГБУН Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

ЗФГБОУ ВПО Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена, Санкт-Петербург

kozlovdn@bk.ru

Приводится краткий обзор исследования особенностей геоморфологии вулканических кратерных озер Курильской островной дуги, их краткий анализ, а так же описаны дальнейшие перспективы палеолимнологического изучения этих уникальных водоемов.

Вулканические озера подробно изучены во многих районах мира [Aeschbach-Hertig et al., 2002; Beck et al., 2001; Brothers et al., 2009; Diaconu, Mailat, 2010; Huguen et al., 2009; Kazmierczak, Kempe, 2006; Kazmierczak et al.,2011; Legesse et al., 2004; Moernaut et al.,2010; Morgan et al., 2003; Rodriguez-Rodriguez et al., 2004; Takano et al., 2004; Tamura et al., 2005], при этом, отечественными учеными детально изучена морфология двух кратерных озер полуострова Камчатка – Курильского [Бондаренко, 1990] и Карымского [Ушаков, Фазлуллин, 1997]. В пределах Курильской островной дуги в рейсах НИС "Вулканолог" и НИС "Пегас" проведены комплексные исследования затопленных кальдер Львиная Пасть на о. Итуруп [Бондаренко, 1991а; Ломтев, 2008; Ломтев, Гуринов, 2008; Подводный…, 1992], Горшкова и Внешней кальдеры Горшкова [Аносов и др., 1989; Бондаренко, Рашидов, 2003а, 2003б], кальдеры у о. Онекотан [Бондаренко, 1990]. С борта моторной лодки обследован кратер вулкана Ушишир (о. Янкича) – бухта Кратерная [Бондаренко, 1986, 1991; Бондаренко и др., 1989]. Некоторые материалы об озерах Курил содержатся в работах К.К. Зеленова и М.А. Канакиной [1962], А.В. Зотова и др. [1988], С.М. Фазлуллина и В.В. Батояна [1989]. Однако, в целом, до настоящего времени кратерные озера Курильских островов оставались практически не исследованными. С 2005 г. в ИМГиГ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск) ведется работа по исследованию особенностей морфологии и генезиса труднодоступных и до сих пор практически не изученных вулканических озер Курильских островов. Исследования выполняются при помощи современной методики цифрового эхолокационного профилирования с синхронной спутниковой привязкой по профилю и компьютерной обработкой эхограмм, результаты обсуждаются и анализируются в тесном сотрудничестве

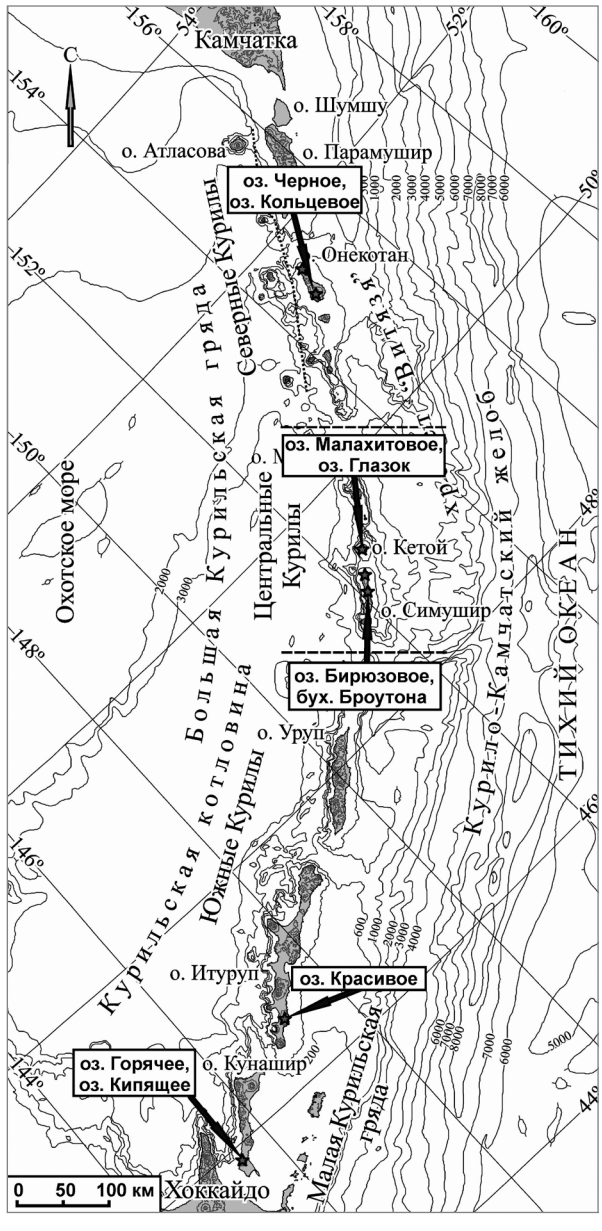


Рис. 1. Расположение кратерных озер Курильских островов

со специалистами РГПУ им. А.И. Герцена (г. Санкт-Петербург) и ИВПС КарНЦ РАН (Петрозаводск). Таким образом, совместными усилиями исследователей из нескольких научных и образовательных организаций выполняется работа по обобщению информации о специфике морфометрии и генезиса уникальных объектов – вулканических водоемов.

На сегодняшний день получены профили, составлены батиметрические схемы и модели ряда озер Курильских островов: Горячее и Кипящее (кальдера Головнина, о. Кунашир), Бирюзовое (кальдера Заварицкого, о. Симушир), бухта Броутона (кальдера Броутона, о. Симушир), Малахитовое и Глазок (вулкан Кетой, о. Кетой), Черное (кальдера Немо, о. Онекотан), залива Львиная Пасть (кальдера Львиная Пасть, остров Итуруп) и озера Красивое (кальдера Урбич, остров Итуруп) (рис. 1) [Козлов, 2013]. В пределах указанных вулканических водоемов выявлены и описаны подводные экструзивные купола, эксплозивные воронки и гидротермальные выходы, определяющие разнообразие форм котловин вулканических озер и эволюцию озерных систем в целом.

Следует существенно расширить комплекс проводимых исследований и дополнить их данными об истории формирования озерных систем и специфике седиментогенеза в их пределах. Необходимо выполнить тефрохронологические изыскания, радиоуглеродное датирование и геоморфологическое моделирование котловин, исследование вещественного состава донных осадков, включающего определение минерального, гранулометрического и химического составов, после чего станет возможным создание комплексных моделей вулканических озер. Такая работа, несомненно, требует проведения ежегодных дорогостоящих экспедиций в труднодоступных районах, однако, она позволит достоверно уточнить данные о характере природно-климатических условий на Курильских островах в позднем плейстоцене и голоцене.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бондаренко В.И. Сейсмоакустические исследования оз. Курильского // Вулканология и сейсмология. 1990. №4. С. 92–111.

Бондаренко В.И. Сейсмоакустические исследования кальдеры Львиная Пасть // Вулканология и сейсмология. 1991. №4. С. 44–53.

Бондаренко В.И. Новые данные о строении о-вов Ушишир (Средние Курилы) // Мелководные газогидротермы и экосистема бух. Кратерной (вулкан Ушишир, Курильские острова). Книга 1: Функциональные характеристики. Часть 1. Владивосток, 1991. С. 5–12.

Бондаренко В.И., Гавриленко Г.М., Сазонов А.П. Морские вулканологические исследования бухты Кратерной // Биология моря. 1989. №3. С.19–28.

Бондаренко В.И., Рашидов В.А. Вулканический массив Черных Братьев (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2003. №3. С. 35–51.

Бондаренко В.И., Рашидов В.А. О возможной подводной вулканической активности в районе островов Черные Братья (Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. №2. С. 80–88.

Зеленов К.К., Канакина М.А. Бирюзовое озеро (кальдера Заварицкого) и изменение химизма его вод в результате извержения 1957 г. // Бюл. вулканол. станции. 1962. №32. С. 33–44.

Зотов А.В., Сорокин В.И., Никитина И.Б. Некоторые особенности современной гидротермальной деятельности в кальдере вулкана Головнина (о-в Кунашир) // Современные гидротермы и минералообразование. М.: Наука, 1988. С. 54–68.

Козлов Д.Н., Белоусов А.Б. Современные методы исследований внутрикальдерных озер активных вулканов (на примере вулкана Головнина, о. Кунашир, Курильские о-ва) // Материалы XIII научного совещания географов Сибири и дальнего востока, Иркутск, 27–29 ноября 2007 г. Т. 1. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. С. 142–144.

Козлов Д.Н., Жарков Р.В. Морфология и генезис озер кальдерных комплексов Головнина и Заварицкого (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН 2010. №3. С 103–106.

Козлов Д.Н., Рашидов В.А., Коротеев И.Г. Морфология бухты Броутона (о. Симушир, Курильские острова) // Вест-ник КРАУНЦ. Науки о земле. 2012 №2. Выпуск №20. С. 71–77.

Козлов Д.Н. Особенности морфологии кратерных озер Курильских островов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук: 25.00.25 / ФГБОУ ВПО "РГПУ им. А.И. Герцена". Санкт-Петербург, 2013. 24 с.

Ломтев В.Л., Гуринов М.Г. Экструзии (плюмы) Охотской окраины Курильской дуги близ кальдеры Львиная Пасть (о-в Итуруп) // Литосфера, 2008. №1. С. 124–132.

Ушаков С.В., Фазлуллин С.М. Морфометрические исследования Карымского озера // Вулканология и сейсмология. 1997. №5. С.132–141.

Фазлуллин С.М., Батоян В.В. Донные соадки кратерного озера вулкана Головнина // Вулканология и сейсмология. 1989. №2. С. 44–55.

Aeschbach-Hertig W., Hofer M., Schmid M. et al. The physical structure and dynamics of a deep, meromictic crater lake (Lac Pavin, France) // Hydrobiologia. 2002. Vol. 487. P. 111–136.

Beck Chr., P. Van Rensbergen, De Batist M. et al. The Late Quaternary sedimentary infill of Lake Annecy (northwestern Alps): an overview from two seismic-reflection surveys // Journal of Paleolimnology. 2001. Vol. 25: P. 149–161.

Brothers D.S., Kent G.M., Driscoll N.W. et al. New Constraints on Deformation, Slip Rate, and Timing of the Most Recent Earthquake on the West Tahoe–Dollar Point Fault, Lake

Tahoe Basin, California // Bulletin of the Seismological Society of America. 2009. Vol. 99, №2A. P. 499–519.

Diaconu D.C., Mailat E. Complex study of the lacustrian ecosystems of Mohoş Swamp // Lakes, reservoirs and ponds. 2010. Vol. 4(1). P. 70–78.

Huguen C., Foucher J.P., Mascle J. et al. Menes caldera, a highly active site of brine seepage in the Eastern Mediterranean sea: "In situ" observations from the NAUTINIL expedition (2003) // Marine Geology. 2009. Vol. 261. P. 138–152.

Kazmierczak J., Kempe S. Genuine modern analogues of Precambrian stromatolites from caldera lakes of Niuafo"ou Island, Tonga // Naturwissenschaften. 2006. Vol. 93. P. 119–126.

Kazmierczak J., Kempe S., Kremer B. et al. Hydrochemistry and microbialites of the alkaline crater lake Alchichica, Mexico // Facies. 2011. Vol. 57. P. 543–570.

Legesse D., Vallet-Coulomb Chr., Gasse F. Analysis of the hydrological response of a tropical terminal lake, Lake Abiyata (Main Ethiopian Rift Valley) to changes in climate and human activities // Hydrological processes. 2004. Vol. 18. P. 487–2004.

Moernaut J., Verschuren D., Charlet F. et al. The seismic-stratigraphic record of lake-level fluctuations in Lake Challa: Hydrological stability and change in equatorial East Africa over the last 140 kyr // Earth and Planetary Science Letters. 2010. Vol. 290. P. 214–223.

Morgan L.A., Shanks P., Lovalvo D et al. The Floor of Yellowstone Lake is Anything but Quiet! New Discoveries in Lake Mapping //Yellowstone Science 2003. Vol. 11. №2. P. 15–30.

Rodriguez-Rodriguez M., Moreno-Ostos E., De Vicente I. et al. Thermal structure and energy budget in a small high mountain lake: La Caldera, Sierra Nevada, Spain //New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. 2004. Vol. 38. P. 879–894.

Takano B., Suzuki K., Sugimori K. et al. Bathymetric and geochemical investigation of Kawah Ijen Crater Lake, East Java, Indonesia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2004. Vol. 135. P. 299–329.

Tamura Y., Tani K., Ishizuka O. et al. Are Arc Basalts Dry, Wet, or Both Evidence from the Sumisu Caldera Volcano, Izu-Bonin Arc, Japan // Journal of Petrology. 2005. Vol. 46. №9. P. 1769–1803.

GEOMORPHOLOGICAL AND PALEOLIMNOLOGICAL INVESTIGATIONS OF VOLCANIC LAKES OF THE KURILE ISLAND ARC: MAIN RESULTS AND FURTHER PERSPECTIVES

Kozlov D.N.[1], Subetto D.A.[2], Firsenkova V.M.[3]

[1] FSBIS Institute of marine geology and geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

[2] FSBIS Institute of water problems of the North KarSC RAS, Petrozavodsk, Russia

[3] FSBIS VPO Gertsen Russian state pedagogical university, Sankt-Peterburg, Russia

kozlovdn@bk.ru

ABSTRACT

A brief review of researches of the geomorphology features of volcanic crater lakes of the Kuril island arc, their brief analysis are given and also future prospects of palaeolimnological study of these unique water reservoirs are described.

НАРВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН И СКОРОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАВУЧИХ ОСТРОВОВ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ИХ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩА

Корвет Н.Г.[1], Спиридонов М.А.[2], Рябчук Д.В.[2,1], Сухачева Л.Л.[3], Дронь О.В.[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт- Петербург, n.korvet@spb.ru

[2] Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им.А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург

[3] Научно-исследовательский институт космоаэрометодов в геологии (НИИКАМ), Санкт-Петербург

Изложены результаты изучения условий формирования плавающих островов (сплавин) на Нарвском водохранилище и разработка научно обоснованных рекомендаций по предотвращению негативного воздействия плавающих островов и стабилизации берегов водохранилища.

Нарвское водохранилище расположено на западе Ленинградской области на границе с Эстонией и простирается от Нарвской ГЭС в юго-западном, южном и юго-восточном направлениях. С момента его создания, значительное влияние на состояние общей природной обстановки оказывают процессы всплывания торфа и образования плавучих островов (сплавин), что весьма актуально для многих водохранилищ Российской Федерации, расположенных на болотных массивах [Кот, 1980].

Рассматриваемая проблема исследовалась коллективами Ленгидропроекта и ВНИИГ им. Веденеева в 1958, 1964 и 1975–1977 гг., но многие из поставленных задач не были решены в достаточной степени [Молкин,1968]. В последующие годы произошло значительное изменение состояния природной обстановки в водохранилище и его береговой зоне [Денисенков, 2009]. Учитывая эти факторы, возникла необходимость в комплексном изучении проблемы, на новом уровне, с применением современных методов исследований. В связи с этим, в 2011–2012 гг. по заказу Невско-Ладожского Бассейнового Водного Управления, проводились исследования причин и скорости образования плавучих торфяных островов на Нарвском водохранилище, выполняемые Всероссийским научно-исследовательским геологическим институтом им. А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ) при участии специалистов ряда организаций.

Целью исследований являлось: выяснение причин и скорости образования плавучих островов (рис.1), оценка опасных геологических и инженерно-геологических процессов, прогноз развития береговой зоны Нарвского водохранилища, разработка научно-обоснованных рекомендаций по стабилизации берегов водохранилища и предотвращению негативного воздействия сплавин на работу ГЭС и эколого-геологическое состояние нижнего бьефа плотины.

Рис. 1. Плавучий остров у северного берега устьевой части Пятницкого залива

В ходе выполнения работ была разработана и апробирована уникальная методика исследований, в основе которой лежат методы морской геологии, геофизики, экологической геологии, океанологии и дистанционных методов зондирования. Это позволило получить во многом уникальную информацию о строении и свойствах сплавинных берегов и плавучих островов водохранилища, определить причины их образования, участки распространения, а также основные факторы формирования. Результаты исследований положены в основу создания картографических материалов, вошедших в ГИС Нарвского водохранилища. Исследования проводились поэтапно, в процессе которых последовательно решались поставленные задачи [Корвет и др. 2015]. Анализ полученных материалов позволил сделать ряд важных выводов, основные из которых следующие.

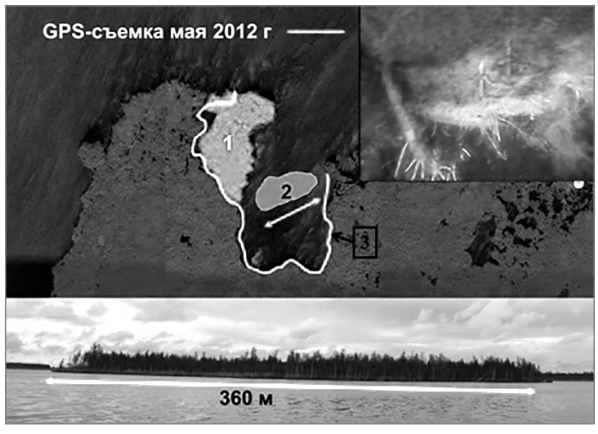


Рис.2. Отрыв крупной сплавины в Пятницком заливе. Основа – космоснимок 2009 г.; 3 – результаты непрерывной GPS съемки 2012 г. края сплавинного берега. 1 – участок оторвавшегося сплавинного массива; 2 – плавающий остров. В верхнем правом углу – подводное фото нижнего края сплавины.

Наиболее активные процессы всплывания торфяников, занимавших значительные площади дна будущего водохранилища, наблюдались с 1955 по 1964 г. Общая площадь всплывшего торфа достигла 30–35 км^2. В последующие годы процесс замедлился, однако в ограниченном масштабе наблюдается до настоящего времени.

Всплыванию торфа на водохранилище способствовали незначительные глубины (2–2,5 м), высокая температура придонных вод в летний период, свойства торфяных залежей и характер контакта с подстилающими ледниково-озерными отложениями. Дополнительным фактором, способствующим его всплыванию, являлось тепловое загрязнение со стороны Эстонской и Балтийской ЭС. На начальных этапах существования водохранилища всплыванию торфяников препятствовала закоряженность его дна и наличие большого количества затопленных стволов деревьев.

В результате всплывания торфа сформировалась своеобразная “береговая зона” водохранилища, состоящая преимущественно из “сплавинных” массивов. Они представляют собой торфяные слои (мощность 0,5–1,5 м), покрытые почвенным слоем и пронизанные корнями травянистой, кустарниковой и древесной растительности, находящиеся на плаву (глубины под сплавинными берегами 0,5–2,5 м) (рис. 2). Общая площадь сплавинных берегов водохранилища составляет в настоящий момент 38 км^2.

В связи с отсутствием у сплавинных “берегов” подводного берегового склона в его традиционном понимании (глубины вблизи берегов достигают 2–3 м), сплавинные берега даже при незначительном волнении подвергаются волновой нагрузке, способствующей их разрушению с образованием дрейфующих торфяных островов. В последнее время в связи с выработкой более или менее постоянной береговой линии водохранилища значительных её изменений не происходит. Учитывая то, что берега водохранилища на значительном протяжении образованы сплавиной, усиление волновой деятельности должно приводить к постоянному образованию новых сплавинных островов.

Проведенное моделирование позволило выявить механизм отрыва участков сплавинного берега. При штормовых ветрах западных направлений (скорость более 10 м/с) в поверхностном слое воды генерируются течения со скоростями до 30 см/с, также направленные на восток. Одновременно, при этой гидрометеорологической ситуации, в придонном слое воды возникают течения противоположного направления со скоростью до 2 см/с, что способствует отрыву корневой системы деревьев от дна. Вследствие противоположно направленных течений, а также воздействия западного ветра на надводную часть сплавинного берега (“парусность” отдельных участков которого весьма велика за счет древесной растительности), происходит отрыв участков сплавин.

После отрыва плавучего острова от массива, их дрейф определяется ветром и течениями. Для оценки этих процессов была построена математическая модель течений Нарвского водохранилища. Карты распределения течений показали, что их характер полностью определяется тремя основными факторами: расходами рек Нарва и Плюсса, скоростью и направлением ветра, морфометрией дна водоема.

Предотвратить образование плавающих островов в обозримом будущем не удастся, поскольку сплавинные берега на водохранилище имеют значительное распространение. Площадь наиболее опасных с точки зрения отрыва сплавин участков берегов в настоящее время составляет 8 км^2. Проведенные исследования позволили выявить зоны наиболее интенсивного отрыва сплавин, локализованные преимущественно в восточной (устьевой) части Пятницкого залива (южный берег, и, в меньшей степени, северный берег), а также в междуречье Плюссы и Нарвы.

По данным выполненных исследований уровень антропогенного загрязнения донных отложений Нарвского водохранилища тяжелыми металлами и радионуклидами в настоящее время низкий, что, безусловно, является положительным фактором для экологического состояния нижнего бьефа плотины. Основным видом загрязнения воды, берегов и пляжей Нарвского залива остаются биогенные вещества, поступающие в нижний бьеф

с остатками торфяных островов и торфяной крошки. Предотвращение загрязнения береговой зоны и акватории Нарвского залива торфяной крошкой в результате спуска сплавин в нижний бьеф плотины, необходимо как с точки зрения недопущения ущерба рекреационной инфраструктуре пляжей Эстонии и России, так и в целях соблюдения международных обязательств Российской Федерации в рамках Плана Действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю.

Для предотвращения негативных последствий образования торфяных островов для Нарвской ГЭС и нижнего бьефа плотины рекомендуется:

– продолжение строгого соблюдения режима работы Нарвской ГЭС с недопущением резкого изменения уровня водохранилища;
– своевременное обнаружение плавучих островов и их буксировка в кутовую (восточную) часть Пятницкого залива, который может служить как природный отстойник;
– создание в западной части Пятницкого залива путем локального (прерывистого) обвалования (отвала) блокирующей подводной преграды для перехвата плавучих островов;

Наиболее вероятный метод утилизации плавучих островов заключается в перехвате дрейфующих всплывших и полузатопленных сплавин и отводе их в естественные заливы-отстойники с последующей переработкой утилизированного торфа. Следует отметить, однако, что в конкретных условиях Нарвского водохранилища вопрос о рентабельности и экономической целесообразности утилизации островов требует дополнительной проработки с организацией и проведением экспериментальных работ по буксировке, стабилизации и дезинтеграции плавучих островов.

Наиболее эффективным способом получения необходимой информации для принятия своевременных эффективных мер по оптимизации существующей природной (природно-техногенной) обстановки является организация и проведение мониторинга состояния природной среды за достаточно представительский отрезок времени (не менее трех–пяти лет). В состав мониторинга должен входить методический комплекс полевых (геолого-геоморфологических и гидрологических) исследований и анализ актуальных космических снимков высокого разрешения. Учитывая трансграничный характер, как самой проблемы, так и причин ее возникновения, целесообразна организация специальных двусторонних российско-эстонских исследований Нарвского водохранилища. Важнейшей составной частью мониторинга должен быть постоянный спутниковый мониторинг обстановки в выявленных районах основной генерации островов-сплавин в пределах Пятницкого залива, участков к востоку от р. Плюссы (в районе устьев рек Черная и Давыдовка), и между устьев рек Нарвы и Плюссы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Денисенков В.П. Трансформация растительности верховых болот в прибрежной полосе Нарвского водохранилища за последние 50 лет //Материалы Международного научно-практического семинара “Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны” 30 сентября – 1 октября 2009 г., Минск. – Минск, 2009. – с. 152–156.

Корвет Н.Г., Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Сухачева Л.Л., Сергеев А.Ю., Дронь О.В. Исследование Нарвского водохранилища с целью изучения образования торфяных островов //Грунтоведение, 2015. – №1. – с. 35–42.

Кот Н.А. Всплывание торфа в искусственных водоемах / Под ред. чл.- корр. АН БССР И.И. Лиштвана. – Минск. “Наука и техника”, 1980. – 160 с.

Молкин Г.С. Всплывание торфа на затопленных болотах при создании водохранилищ //Труды Ленгидропроекта, сб.7. – Л.: 1968. – с. 196–209.

GEOMORPHOLOGICAL AND PALEOLIMNOLOGICAL INVESTIGATIONS OF VOLCANIC LAKES OF THE KURILE ISLAND ARC: MAIN RESULTS AND FURTHER PERSPECTIVES

Korvet N.G.[1], Spiridonov M.A.[2], Ryabchuk D.V.[2], Sukhacheva L.L.[3], Dron O.V.[2]

[1] Saint Petersburg State University, Russia, n.korvet@spb.ru

[2] A.P. Karpinsky Russian research geological Institute (VSEGEI), Russia,

[3] Institute of Remote Sensing Methods for Geology (NIIKAM), Russia,

ABSTRACT

Results of investigation of conditions of formation of floating Islands (quagmire) in Narva reservoir and the development of recommendations on prevention of negative influence of floating Islands and stabilization of the banks of the reservoir.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Литвинов А.С., Голованов В.К., Законнова А.В.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, пос. Борок, Ярославская обл.

litvinov@ibiw.yaroslavl.ru

Рассмотрены изменения водных ресурсов и термического режима Рыбинского водохранилища в 2001–2013 гг. Повышение температуры воды привело к исчезновению холодолюбивого вида-вселенца и обеспечило эколого-физиологический оптимум для многих видов рыб.

Рассмотрены изменения водных ресурсов и термического режима Рыбинского водохранилища в 2001–2013 гг. Повышение температуры воды привело к исчезновению холодолюбивого вида-вселенца и обеспечило эколого-физиологический оптимум для многих видов рыб.

По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) за всю историю метеонаблюдений период 2001–2010 гг. был самым теплым, среднегодовые значения температур воздуха на 0,21°С выше, чем в теплый период 1991–2000 гг. XX века [Глобальный климат…, 2012]. На побережье Рыбинского водохранилища потепление климата характеризуется повышением среднегодовой температуры воздуха с 3,6°С до 4,2°С, в последнее десятилетие до 4,9°С. Особенно значительные изменения температуры воздуха произошли в теплое время года (апрель–октябрь), повышение на 1,0°С по сравнению с нормой. С учетом теплых лет 2010, 2011, 2013 гг. скорость роста средней температуры воздуха за теплый период возросла до 0,54°С/10 лет.

Потепление климата привело к изменению водных ресурсов рек бассейна водохранилища. За рассматриваемый период поверхностный приток в водохранилище изменялся в 2,4 раза – от 18,73 (2002 г.) до 45,17 км^3 (2004 г.). Средние значения были близки за весь период существования водохранилища (32,79 и 32,84 км^3). Внутригодовое распределение притока в водохранилище характеризуется значительным ростом в январе–марте (33–37%) и снижением (4,5–9,0%) в период половодья (табл. 1).

Рост величины притока в зимнюю межень обусловлен повышением температуры воздуха.

В связи со значительной внутригодовой изменчивостью элементов водного баланса Рыбинского водохранилища также велики вариации его водообмена. В среднем за анализируемый период водообмен достигает максимальных значений в апреле. Это обусловлено уменьшением объема воды в водохранилище в результате зимней сработки и резким увеличением притока в период весеннего половодья. По мере наполнения водохранилища, снижения объемов притока и сброса водообмен

Таблица 1. Изменение объема притока Рыбинского водохранилища за период 1976–2013 гг. по сравнению с периодом 1947–1975 гг., %

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
37,4	32,8	36,8	-6,4	-9,0	-4,5	12,4	4,7	11,0	7,5	20,3	21,6

Таблица 2. Характеристики водообмена Рыбинского водохранилища в разные по водности годы (2000–2013 гг.)

Сезон	Коэффициент водообмена			Период водообмена (месяцы)		
	среднее значение	многоводный 2004 г.	маловодный 2002 г.	среднее значение	многоводный 2004 г.	маловодный 2002 г.
Зима	0,36	0,45	0,26	33,1	26,6	46,2
Весна	0,82	1,03	0,58	14,6	11,6	20,7
Лето	0,31	0,35	0,24	38,0	34,3	50,0
Осень	0,29	0,40	0,23	41,0	30,0	52,0
Год	1,90	2,30	1,30	6,30	5,20	9,20

Таблица 3. Характеристики прозрачности (см) воды Рыбинского водохранилища в 2008–2010 гг.

ПРОЗРАЧНОСТЬ	ПЛЕС			
	ВОЛЖСКИЙ (20)*	МОЛОЖСКИЙ (35)	ШЕКСНИНСКИЙ (65)	ГЛАВНЫЙ (40)
Средняя	155	120	105	140
Наибольшая	260	150	150	190
Дата	20.10.2009 г.	10.07.2010 г.	08.07.2010 г.	10.08.2010 г.
Наименьшая	80	65	70	50
Дата	24.07.2010 г.	24.08.2010 г.	28.08.2010 г.	19.10.2010 г.

Примечание. * в скобках – число измерений.

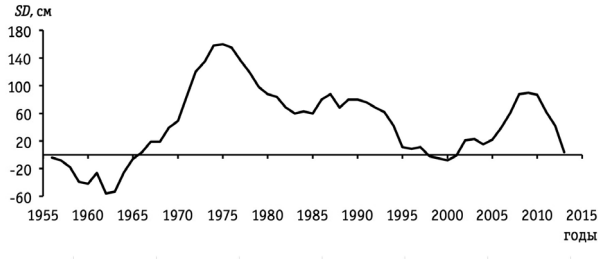


Рис. 1. Интегральная кривая средней за вегетационный период прозрачности воды на стандартных станциях в Рыбинском водохранилище. В расчетах использована средняя прозрачность воды за 1956–2013 гг.

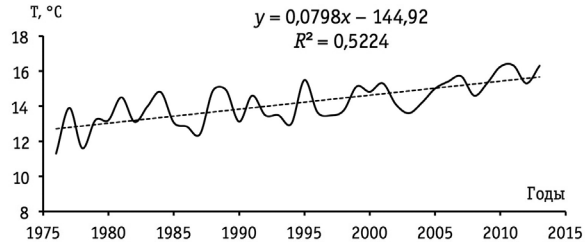


Рис. 2. Многолетние изменения средней за май-октябрь температуры поверхностного слоя воды Рыбинского водохранилища

уменьшается и в течение лета находится на низком уровне с минимумом в августе–сентябре. С октября отмечается некоторое его увеличение, связанное с дождевыми паводками, а затем с началом зимней сработки (табл. 2).

Формирование стока рек во многом определяется атмосферными осадками и температурным режимом на водосборе. Максимумы годового стока обычно совпадают с максимумами осадков и минимальными температурами воздуха. Анализ многолетних изменений зимнего стока и осадков, выпавших на зеркало водохранилища, выявил синхронность их колебаний. Коэффициент корреляции составил 0,68 при $p \leqslant 0,05$ [Литвинов, Законнова, 2012].

Межгодовые и сезонные колебания уровня водохранилища приводят к значительным изменениям его площади и объема. При максимальном за анализируемый период уровне водохранилища 101,84 м БС площадь водохранилища достигала 4566 км^2, а объем 25,56 км^3. При минимальном уровне в марте 2003 г. площадь уменьшилась до 3131км^2, объем до 17,53 км^3.

В Главном плесе водохранилища основное воздействие на величину прозрачности оказывают ветровое волнение и массовое развитие фитопланктона. Средняя за вегетационный период 2008–2010 гг. прозрачность составила 140 см (табл. 3).

Анализ разностно-интегральной кривой средней за май–октябрь прозрачности воды на стандартных станциях в 1956–2013 гг., показал периодичность ее колебаний, которая хорошо согласуется с динамикой объема притока речных вод в водохранилище (рис. 1).

В маловодные фазы гидрологического цикла (1962–1975 гг. и 1996–2003 гг.) отмечен рост прозрачности, а в многоводные (1976–1995 и 2004–2010 гг.) снижение. В 2013 г. низкая прозрачность зарегистрирована на всех стандартных станциях: средняя за май-октябрь составила 85 см, в октябре – 60 см. Это обусловлено высокой температурой водной массы и интенсивным развитием фитопланктона. Установлена обратная зависимость между средней прозрачностью и объемом притока воды в водохранилище за вегетационный период 1956–2013 гг. (r = -0,56, p < 0,05).

Оценка реакции термического режима водохранилища на региональные изменения климата показала, что в течение всего вегетационного периода 2000–2013 гг. температура воды была выше климатической нормы. Средняя за май-октябрь ее величина составила 15,0°С с колебаниями от 16,3°С (2010, 2011, 2012 гг.) до 13,6°С (2003 г.). Экстремально высокие температуры воды отмечены летом 2010 г. (10 августа средняя температура водной массы водохранилища составила 26,2°С), а наиболее низкие летом 2008 г. (18 августа – 17,6°С).

В период потепления отмечена устойчивая тенденция к повышению средней за май–октябрь температуры воды акватории водоема со скоростью 0,80°С/10 лет (рис. 2). Максимальная скорость роста в июле – 1,05°С/10 лет и октябре – 0,73°С/10 лет. Положительные аномалии средней за май-октябрь

Таблица 4. Соотношение температурных критериев жизнедеятельности у молоди некоторых видов рыб, обитающих в Рыбинском водохранилище

Вид	ОТН, °С	ЭФО		ВЛТ, °С
		ОТР, °С	ОИТ, °С	
Лещ	13–20	25–27	26–27	36–38
Плотва	10–20	25–27	23–26	35–37
Синец	11–21	25–27	24–26	36–38
Речной окунь	4–17	25–27	25–27	35–36
Судак	8–15	22–24	22–26	34,5–35,5
Щука	7–14	19–25	24–25	35–36
Налим	0,1–2	~0,3–5,0	14–16	28–30

Примечание: ОТН – оптимальная температура нереста; ОТР – оптимальная температура роста;
ОИТ – окончательно избираемая температура (в температурном градиенте); ВЛТ – верхняя летальная температура.

температуры воды отмечены с 1995 г., при этом максимальные 2,7°С наблюдались в 2010, 2011 гг.

Потепление может определенным образом сказываться на воспроизводстве, развитии, росте и численности различных видов рыб, обитающих в Рыбинском водохранилище (табл. 4).

Более ранний нерест обеспечивает увеличение продолжительности периода успешного роста на первом году жизни у сеголетков рыб. Увеличению численности рыб способствует также благоприятное соотношение температурного и уровенного режимов в водохранилище. При удлинении периода летнего роста, нагула и накопления резервных веществ для последующей успешной зимовки происходит увеличение количества градусо-дней, что необходимо для эффективного существования молоди рыб именно в начале онтогенеза, на первом-втором году жизни. Для многих видов рыб даже небольшое увеличение температуры в мае, июне, июле и августе, иногда и в сентябре приводит к тому, что развитие и рост происходят при температурах, которые более близки к эколого-физиологическому оптимуму (ЭФО) жизнедеятельности рыб (Голованов, 2013). Практически полное исчезновение холодолюбивого вида-вселенца корюшки, и замена ее на теплолюбивый вид-вселенец каспийскую тюльку, тоже произошло вследствие существенного потепления в регионе Верхней Волги в период с 1995-1998 гг. по настоящее время.

Различия в притоке и водообмене, большой размах колебаний уровня воды, приводящий к образованию значительных площадей временного осушения мелководной зоны, температурный режим оказывают влияние на условия обитания гидробионтов и состояние экосистемы водохранилища.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант №14-05-00346-а), Программы фундаментальных исследований Отделения биологических наук РАН “Биологические ресурсы России” и Программы Президента РФ “Ведущие научные школы” НШ-2666.2014.4 “Экологические аспекты адаптаций и популяционная организация у рыб”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глобальный климат в 2001-2010 годы: Десятилетие экстремальных климатических явлений //Изменение климата. Информ. бюлл. – №7, 2014. – С. 9–11.

А.С. Литвинов, А.В. Законнова. Изменчивость стока Верхней Волги в створе Рыбинского гидроузла в период глобального потепления //Вода и водные ресурсы: Системообразующие функции в природе и экономике. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – С. 96–100.

Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. – Москва: Полиграф-Плюс, 2013. – 300 с.

FEATURES OF THE FORMATION OF HYDROLOGICAL REGIME AND ECOLOGICAL CONDITIONS IN THE RYBINSK RESERVOIR

Litvinov A.S., Golovanov V.K., Zakonnova A.V.

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences Borok, Russia, litvinov@ibiw.yaroslavl.ru

ABSTRACT

This study considers changes in water resources and thermal regime of the Rybinsk Resrvoir in 2001–2013. An increase in water temperature has led to disappearance of an invasive cold water species and provided ecological and physiological optimum for many fish species.

ДИАТОМОВЫЕ ПЛАНКТОНА И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГЛУБОКОГО ОЗЕРА: ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДЫ В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И ПРОГНОЗ НА БУДУЩЕЕ

Митрофанова Е.Ю., Сутченкова О.С.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

emit@iwep.ru

Рассмотрен состав диатомовых водорослей в планктоне и донных отложениях глубокого олиготрофного Телецкого озера (Алтай, Россия), выделены виды-индикаторы температуры и pH среды, оценено состояние среды в прошедшие десятилетия и тысячелетия по составу и количеству диатомовых водорослей.

Диатомовые водоросли – одна из широко распространенных и значимых групп водорослей в водоемах различного типа. Обладая прочным кремниевым панцирем и хорошо сохраняясь в ископаемом состоянии, а также имея известные экологические характеристики, диатомеи являются незаменимыми индикаторами условий среды, как в настоящее время, так и в прошлом. Особенно разнообразны и обильны диатомеи в глубоких холодных водоемах умеренной зоны, к каким относится оз. Телецкое, расположенное на юге Западной Сибири, в горах Алтая. Озеро вытянуто на 77,8 км с юго-востока на северо-запад, максимальная ширина 5,2 км, максимальная глубина 323,3 м. [Selegei et al., 2001]. Озеро отличается короткими периодами стратификации и длинными периодами перемешивания, неустойчивым ледоставом или его отсутствием на большей части акватории ежегодно, а также интенсивным внешним водообменом (5,3–5,6 лет [Калугин и др., 2000]), что создает особые гидродинамические условия для развития водорослей в толще воды, и диатомовых в том числе. С начала XX века изучению этой группы водорослей в данном водоеме было уделено немало внимания, так как диатомеи занимают ведущее положение, как в таксономическом разнообразии, так и обилии водорослей. Список диатомовых водорослей для альгофлоры данного водоема в настоящее время содержит более 400 видов, и он постоянно пополняется.

Для анализа были привлечены данные по планктону пелагиали за 1989–2011 гг. (район Яйлю, расположенный на стыке широтной и меридиональной частей озера) и донным отложениям из керна длиной 1940 мм, который был отобран в 2006 г. с вершины подводного хребта Софьи Лепневой. Скорость осадконакопления на хребте составляет 0,3 мм/год [Калугин и др., 2009], с учетом влажности осадка –

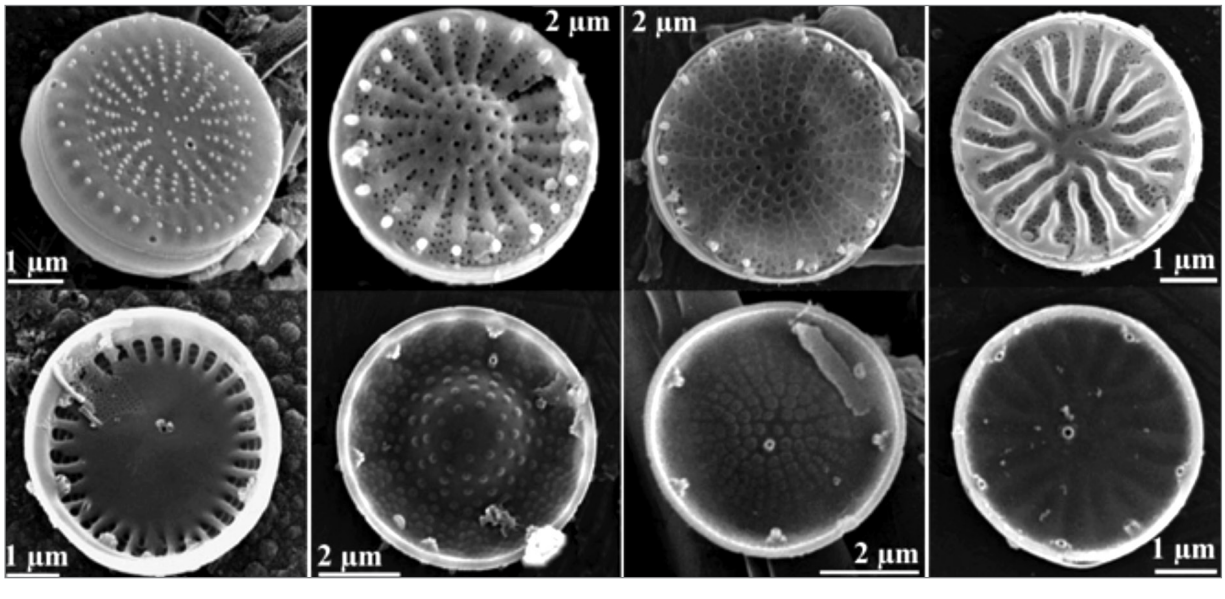


Рис. 1. Мелкоклеточные центрические диатомеи. Слева направо: *Cyclotella delicatula* Genkal, *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve et Möller, *S. makarovae* Genkal и *Stephanocostis chanthaicus* Genkal et Kuzmina (вверху – внешняя сторона створок, внизу – внутренняя). СЭМ Hitachi S-3400 N.

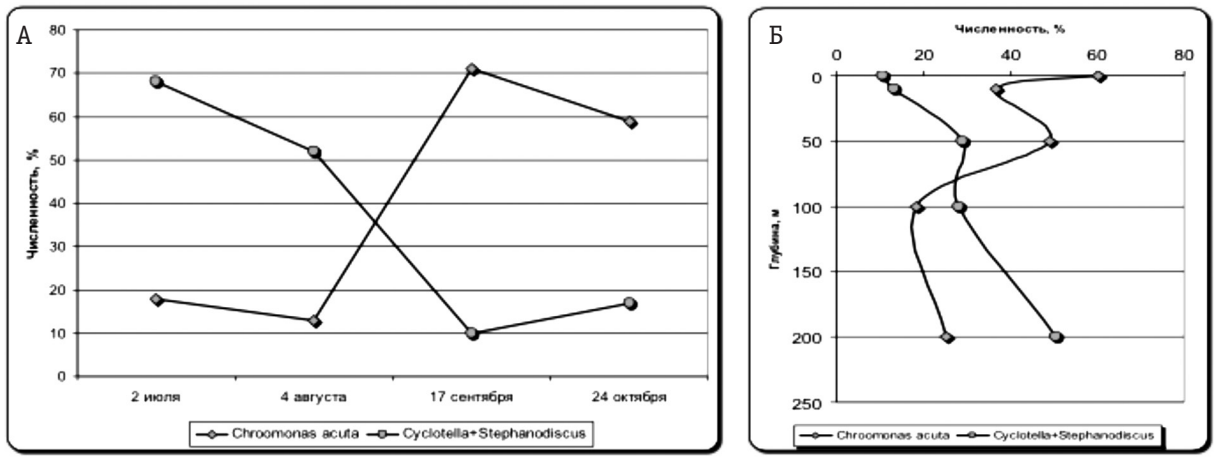


Рис. 2. Изменение доли группы мелкоклеточных центрических диатомовых водорослей и *Chroomonas acuta* Uterm. в численности фитопланктона в поверхностном слое Телецкого озера в течение сезона (А, ст. Яйлю, 1991 г.) и по вертикали (Б, ст. Яйлю, 12.08.2011 г.).

0,45 мм/год, поэтому керн, разрезанный послойно с интервалом в 5 мм, вскрывает осадки возрастом около 4000 лет.

Диатомовые в альгофлоре озера среди прочих отделов по числу видов занимают первое место (56,6%), а также вносят большой вклад в структуру сообщества водорослей озерной пелагиали (58,5%). Они преобладают на различных ступенях таксономической структуры как альгофлоры озера в целом, так и фитопланктона в том числе. Из 426 видов (634 видов и разновидностей), известных для альгофлоры озера, 243 вида (327 разновидностей и форм) выявлено для планктона озера. Среди диатомовых пелагиали присутствует большое число заносных донных форм, обитателей литоральных участков и флоры притоков (82,7% состава отдела). Ядро фитопланктона озера формируют центрические диатомовые, дающие основную долю численности и биомассы. Группа мелкоклеточных центрических диатомовых (4–6 мкм в диаметре), преобладающих по численности, состоит из *Cyclotella delicatula* Genkal,, *Stephanodiscus minutulus*, *S. makarovae* Genkal, а также *Stephanocostis chantaicus* Genkal et Kuzmina (рис. 1), которые, например, в поздне-летнем фитопланктоне в поверхностном слое пелагиали озера соотносятся по доле в численности как 6,0 : 3,5 : 2,6 : 1, соответственно.

Крупноклеточные представители центрических диатомей – *S. alpinus* Hust., *C. bodanica* Grun., *Aulacoseira subarctica* (O.Müll.) Haworth, в меньшей степени *S. hantzschii* Grun. и *A. italica* (Kütz.) Simon. – имеют незначительную долю в общей численности, но значимы в общей биомассе фитопланктона. Мелкоклеточные центрические диатомовые вместе с криптофитовой водорослью *Chroomonas acuta* Uterm. составляют две конкурирующие группы в доминантном комплексе фитопланктона озера, которые заменяют друг друга как в течение вегетационного сезона (рис. 2А), так и по вертикали (рис. 2Б).

За период с 1989 по 2011 гг. развитие планктона в целом и диатомовых в озере было неравномерным. Только 1989 г. отличался очень высокими значениями биомассы фитопланктона в столбе воды под 1 м^2 – 37,4 г/м^2 (пелагиаль Яйлю, август), в остальные годы этот показатель изменялся в пределах 0,8–7,1 г/м^2 (конец июля – начало августа). При этом диатомовые в отдельные сезоны года определяли полностью фон фитопланктон озера. Интересно, что для Байкала сходные значения биомассы фитопланктона в столбе воды под 1 м^2 характерны в малопродуктивные годы (9–70 г/м^2), в то время как в высокопродуктивные – на порядок-два больше (50–500 г/м^2) [Поповская, 1985].

Донные отложения являются “отражением” или “аккумулятором” деятельности альгофлоры озера. В исследованном керне донных отложений с подводного хребта Софьи Лепневой выявлено 194 вида (212 видов, разновидностей и форм) диатомовых водорослей и значительное варьирование количества их створок – от 0,86 (слой 135–140 мм) до 75,6 млн ств./г (слой 1425–1430 мм) при среднем значении по керну 22,3 ± 0,58 млн ств./г, в то время, как в Байкале, например, количество створок диатомей в донных отложениях на порядок выше – до 128 млн ств./г [Грачев и др., 1997].

Среди общего числа проанализированных слоев керна оз. Телецкое отмечено 27 слоев с особенно высоким количеством створок диатомовых водорослей (выше 40 млн ств./г), в большинстве из которых (18) количество диатомовых створок варьирует в интервале от 40 до 49,9 млн ств./г. Из 27 слоев

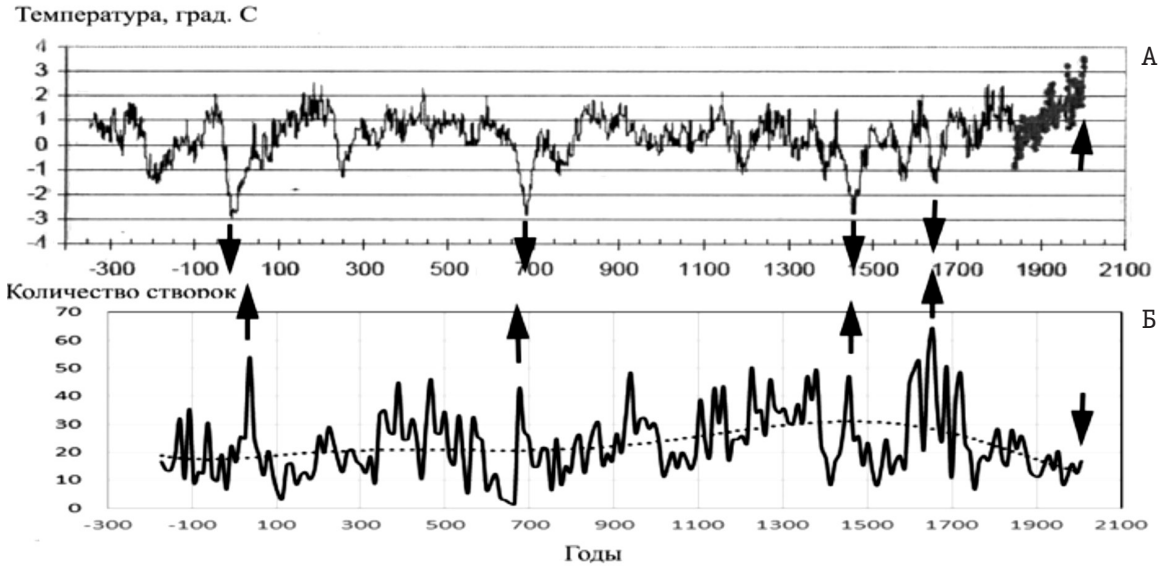


Рис. 3. Кривые реконструкции среднегодовой температуры по геохимическим показателям (А, по [Смолянинова, Калугин, 2013]) и изменения количества створок диатомовых водорослей (млн ств./г) с линией тренда в донных отложениях оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой (Б)

Рис. 4. Кривые соотношения планктонных (Р) и бентосных (В) форм и реконструированной pH в донных отложениях оз. Телецкое с подводного хребта Софьи Лепневой

керна с высокими количествами створок на верхние 0–1000 мм керна приходится больше таких слоев (19), чем на нижние 1000–1940 мм, хотя самые наибольшие количества створок отмечены именно в нижних слоях керна. Как отмечает Н.А. Скабичевская [2000], за последнее тысячелетие пики численности диатомей, особенно представителей холодолюбивого комплекса, были приурочены к периодам с пониженной температурой воды в озере. Если кривую изменения количества створок диатомей с подводного хребта (за последние 2000 лет) сравнить с динамикой среднегодовой температуры оз. Телецкое, реконструированной по геохимическим показателям донных осадков [Смолянинова, Калугин, 2013], то такие соответствия отчетливо выделяются (рис. 3). В настоящее время при некотором повышении температуры обнаруживается тенденция спада в развитии диатомовых водорослей, о чем могут свидетельствовать данные по современному фитопланктону.

При выделении среди диатомей в донных отложениях видов-индикаторов pH и их доли в общем количестве по формуле, предложенной Дж. Ренбергом и Т. Хеллбергом [Renberg, Hellberg, 1982] и модифицированной Т.И. Моисеенко с соавт. [1997], вычисляется теоретическая величина pH для каждого слоя донных отложений. Анализ состава танатоценозов показал, что видов-индикаторов pH среды выявлен 161 вид (или 83% от общего числа), преобладают алкалифильные виды (34%), индифференты (30%), менее многочисленны ацидофилы (10%) и алкалибионты (9%). В результате была получена кривая изменения pH за последние 4000 лет жизни озера. Реконструированные значения pH для исследованного керна донных отложений оз. Телецкое изменялись в пределах 7,48–

7,98 при средней величине 7,61 ± 0,004 (рис. 4). Линия тренда показала незначительное увеличение pH от верхних слоев керна к нижним, но все значения находились в пределах слабощелочной зоны (7 < pH < 8,5).

При этом в керне донных отложений можно выделить три зоны. На интервале керна 0–1280 мм pH изменялась в пределах 7,48–7,69 при среднем значении 7,58 ± 0,002, 1285–1685 мм – 7,51–7,86 и 7,62 ± 0,45 и на 1690–1940 мм – 7,50–7,98 и 7,72 ± 0,02, соответственно, т.е. во временном интервале от 2006 до -766 pH изменялась всего на 0,21, от -777 до -1690 – на 0,35, а в последнем временном отрезке, от -1701 до -2240 гг. – на 0,48. Для верификации реконструированные результаты были сопоставлены с инструментальными данными по СФКМ Яйлю на оз. Телецкое за период с 1985 по 2003 гг. Диапазон изменения pH за этот период оказался в тех же пределах и также соответствовал слабощелочной среде – от 7,04 до 7,78. Среднее значение pH для временного периода 1985–2003 гг. составило 7,44 ± 0,06, и было очень близко к реконструированным значениям, особенно для верхнего отрезка керна (7,58 ± 0,002), что подтверждает правильность реконструкции значений pH. В тех же трех временных отрезках, которые были выделены по pH, происходит изменение и соотношения планктонных (P) и донных (B) форм диатомовых водорослей, которое может косвенно свидетельствовать об изменении уровня воды в озере. На интервале керна 0-1280 мм P/B изменялось в пределах 0,08–11,38 при среднем значении 3,30 ± 0,13, на интервале 1285–1685 мм – 0,17–23,09 и 7,65 ± 0,46 и на 1690–1940 мм – 0,07–38,78 и 16,27 ± 1,44, соответственно, т.е. от верхних слоев к нижним происходит постепенное увеличение доли планктонных форм, что может свидетельствовать об увеличении уровня воды в водоеме.

В целом, современное состояние планктона и диатомовых в нем, а также реконструированные кривые значений pH и соотношения планктонных и донных форм в донных отложениях оз. Телецкое могут свидетельствовать о постоянстве условий среды в водоеме, как в настоящее время, так и последние 4000 лет. Незначительные изменения в условиях среды кардинально не влияют на состав и функционирование диатомоценозов, как основной группы в альгофлоре данного водоема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Грачев М.А., Лихошвай Е.В., Воробьева С.С. и др. Сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена в осадках озера Байкал//Геология и геофизика, 1997. – Т. 38. – №5. – С. 957–980.

Калугин И.А., Дарьин А.В., Бабич В.В. 3000-летняя реконструкция среднегодовых температур Алтайского региона по литолого-геохимическим индикаторам донных осадков оз. Телецкое // Докл. Академии Наук, 2009. – Т. 426. – №4. – С. 520–522.

Калугин, И.А., Селегей В.В., Бобров В.А., Воробьева С.С., Кривоногов С. Паводковая периодичность осадконакопления в Телецком озере, обусловленная региональными колебаниями климата на юге Сибири за последние 570 лет // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Вып. 2. – Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии, 2000. – С. 269–281.

Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Каган Л.Я. Горные озера как индикаторы загрязнения воздуха // Водные ресурсы,1997. – Т. 24. – №5. – С. 600–608.

Поповская Г.И. Фитопланктон Байкала как основа биологических ресурсов озера//Проблемы исследования крупных озер СССР. – Л.: Наука, 1985. – С. 206–209.

Скабичевская Н.А. Диатомеи Телецкого озера и климатические реконструкции последнего тысячелетия // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Вып. 2. – Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии, 2000. – С. 428–432.

Смолянинова Л.Г., Калугин И.А. Способ реконструкции палеоклимата по литолого-геохимическим свойствам донных отложений с использованием вейвлет-анализа и искусственных нейросетей на примере оз. Телецкое (Алтай) // Нейроинформатика, 2013. – Т. 7. – №1. – С.18–28.

Renberg J., Hellberg T. The pH history of lakes in south-western Sweden, as calculated from the subfossil diatom flora of the sediments // AMBIO, 1982. – V. 11. – P. 30–33.

Selegei V., Dehandschutter B., Klerks J., Vysotsky A. Physical and geological environment of Lake Teletskoye // Ann. Scien. Geolog., 2001. – V. 105. – 310 p.

DIATOMS IN PLANKTON AND BOTTOM SEDIMENTS OF DEEP LAKE: INDICATORS OF ENVIRONMENTAL CHANGE IN PAST, PRESENT AND FUTURE

Mitrofanova E.Yu., Sutchenkova O.S.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, emit@iwep.ru

ABSTRACT

The composition and abundance of diatoms in plankton and bottom sediments of deep oligotrophic Lake Teletskoye (Altai, Russia) were considered, the species - indicator of temperature and pH were revealed, the environment state by the composition and number of diatom algae in the past millennia were evaluated and the future conditions predicted.

РТУТЬ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Моршина Т.Н., Мамченко Т.Б., Вирченко Е.П., Копылова Л.П.

ФГБУ "НПО "Тайфун", г. Обнинск Калужской обл.
tmorshina@mail.ru

Исследовано распределение общей ртути и метилртути в донных отложениях озера Байкал.

Потенциальную опасность для загрязнения окружающей среды озера Байкал представляет ртуть, распространение которой в настоящее время приобрело глобальный масштаб. Ртуть существует в природе в виде неорганических и органических форм. Преобладающей формой ртути в воде, донных отложениях и почвах является неорганическая двухвалентная ртуть, в атмосфере доминирует элементарная ртуть. Метилртуть в окружающей среде появляется при метилировании неорганической ртути и активно накапливается в биологических тканях. Токсичность ее на порядки превышает токсичность неорганических соединений ртути. [Кузубова и др., 2000; Петросян, 2007]. В донных отложениях содержание метилртути может достигать 10%, но, как правило, составляет от 0,1 до 3% от общего содержания. [Environmental chemistry…, 2012; Ullrich et al., 2001].

Целью работы явилось изучение распределения общей ртути и метилртути в донных отложениях озера Байкал. Объекты исследования: пробы донных отложений, отобранные в сентябре 2014 г. ФГБУ "Иркутское УГМС" и ФГБУ ГХИ на севере Байкала в районе Байкало-Амурской магистрали (БАМ), на Селенгинском мелководье и в районе Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК). Глубины отбора проб на Селенгинском мелководье 25-50 м, на севере Байкала от 30 до 200 м, в районе БЦБК от 7 до 340 м.

Определение общей ртути и метилртути проводили методом атомной абсорбции в холодном паре. Общую ртуть извлекали смесью азотной, серной и хлорной кислот при нагревании; органическую – экстракцией раствором бромида калия в серной кислоте в присутствии сульфата меди с последующей экстракцией в толуол, реэкстракцией в тиосульфат натрия и разложением смесью кислот.

Результаты проведенных исследований показали, что содержание общей ртути в донных отложениях озера Байкал характеризуется значительной пространственной изменчивостью с диапазоном колебаний от 7,0 до 64 мкг/кг сухого веса (см. рисунок 1). Среднее содержание ртути на севере Байкала составило 28,9±16,0, на Селенгинском мелководье – 27,8±12,8 и в районе БЦБК – 33,0±15,6 мкг/кг.

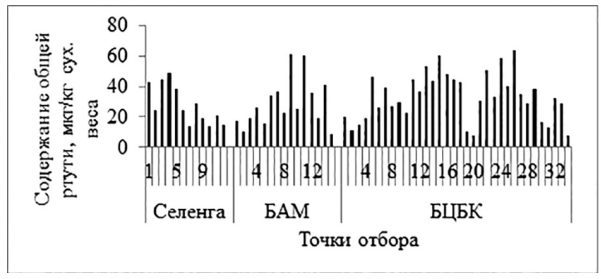


Рис. 1. Распределение общей ртути в донных отложениях

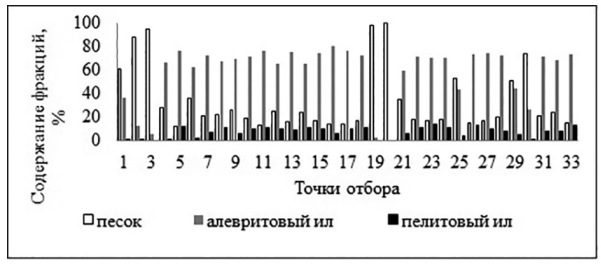


Рис. 2. Гранулометрический состав донных отложений (БЦБК)

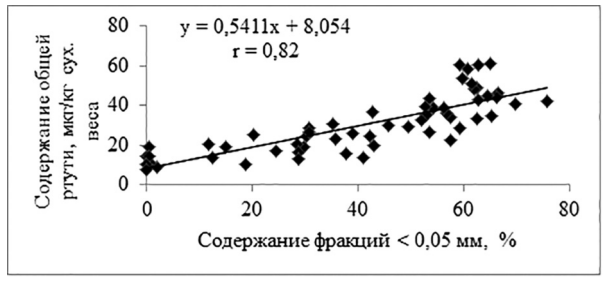


Рис. 3. Зависимость содержания общей ртути от содержания мелкоалевритовой и пелитовой фракций

Содержание ртути в донных отложениях Байкала соответствует средним уровням, установленным для континентальных озер Сибири [Страховенко и др., 2010].

Одним из наиболее значительных факторов, обусловливающих способность донных отложений концентрировать и удерживать микроэлементы, является гранулометрический состав [Даувальтер, 2012]. Результаты гранулометрического анализа показали, что для большинства проб (68%) характерно преобладание алевритовых фракций, 25% исследованных образцов относится к пескам. Доля пелитового ила в донных отложениях не превышает 10-15%. На рисунке 2 представлен грануломе-

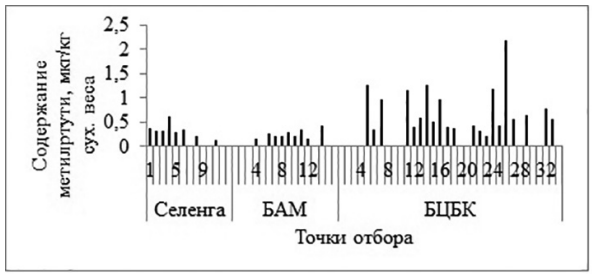


Рис. 4. Распределение метилртути в донных отложениях

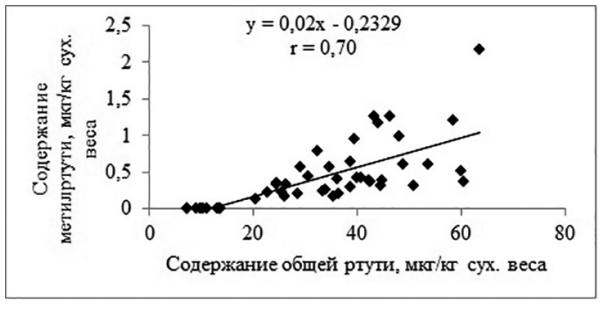


Рис. 5. Зависимость содержания метилртути от содержания общей ртути

трический состав донных отложений, отобранных в районе БЦБК.

Металлы хорошо аккумулируются тонкозернистой фракцией осадков с размером фракций < 0,05 мм, содержание которых в 50% исследованных проб изменяется от 50 до 76%. Зависимость между содержанием общей ртути и суммой пелитового и мелкоалевритового ила (размер частиц меньше 0,05 мкм) показывает устойчивый рост содержания ртути с увеличением доли ила в донных отложениях, коэффициент корреляции r = 0,82 (см. рисунок 3).

Высокий коэффициент корреляции между содержанием ртути и илистой фракцией донных отложений свидетельствует о том, что варьирование уровней содержания ртути в донных отложениях обусловлено гранулометрическим составом. Эффект концентрирования в илистой фракции характерен также для Fe, Mn, Cd, Cu, Zn (r = 0,5–0,8).

Содержание метилртути в разных районах Байкала представлено на рисунке 4 и изменяется от < 0,15 до 2,18 мкг/кг сухого веса. Максимальные уровни метилртути отмечены в донных отложениях в районе БЦБК (0,57 ± 0,44), на севере Байкала среднее содержание метилртути (0,21 ± 0,10) и на Селенгинском мелководье – (0,27 ± 0,10) мкг/кг сухого веса.

Накопление метилртути в донных отложениях коррелирует с содержанием общей ртути (r = 0,70) (см. рисунок 5), но не связано с содержанием илистой фракции.

Максимальная эффективность метилирования (отношение метилртути к общей ртути) также отмечена в районе размещения Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (1,69%), на Селенгинском мелководье – 0,98% и на севере Байкала – 0,73%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. – 242с.

Кузубова Л.И., Шуваева О.В., Аношин Г.Н. Метилртуть в окружающей среде: распространение, образование в природе, методы определения. Аналитический обзор. – Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2000. – 82 с.

Петросян В.С. Глобальное загрязнение окружающей среды ртутью и ее соединениями //Россия в окружающем мире: 2006 (аналитический ежегодник). – М.: МНЭПУ, Авант, 2007. – с. 149–163

Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н. Сравнительный анализ распределения ртути в озерных системах различных регионов Сибири //Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума (Москва, 7–9 сентября 2010 г.) – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – 427с.

Environmental chemistry and toxicology of mercury. – John Wiley & Sons, Inc. Publication, 2012. – 574 p.

Ullrich S.M, Tanton T.W, Abdrashitova S.A. Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation//Critical Reviews Environ. Sci. Technol., 2001. – Vol. 31. – No. 3. – p. 241–293.

MERCURY IN SEDIMENTS OF LAKE BAIKAL

Morshina T.N., Mamchenko T.B., Virchenko E.P., Kopylova L.P.

RPA "Typhoon" Obninsk Kaluga region, Russia, tmorshina@mail.ru

ABSTRACT

The distribution of total mercury and methylmercury in sediments of Lake Baikal is studied.

МАЛЫЕ ОЗЕРА, КАК ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В СТРУКТУРЕ ЛАНДШАФТОВ ТИХВИНСКО-ВЕПСОВСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Нестерова Л. А., Малоземова О.В.

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

l-nesterova@mail.ru

Морфологические особенности озерных ландшафтов обусловлены разнообразием литологической основы территории. Однако на уровне вида ландшафта морфометрические показатели не столь очевидны и часто зависят от индивидуальных условий.

Озера, являясь частью ландшафта, имеют особенности сообразно различиям в ландшафтной структуре природно-территориальных комплексов. Ландшафты северо-запада России относятся к районам, где становление лимнологической структуры территории происходило, главным образом, под действием геологической деятельности ледника.

Физиономичность ландшафтов Тихвинско-Вепсовской провинции создается абразионной озерно-аккумулятивной равниной, образованной на месте озерно-ледникового водоема валдайского ледника, волнистыми и плоскими моренными равнинами, зандровыми равнинами, которые переходят в аккумулятивные террасированные озерно-ледниковые равнины, обычно сильно заболоченные. Наибольшие площади заняты холмисто-моренными грядами. Они не имеют ориентировки, понижения освоены эрозионной сетью. Достаточно часто встречаются возвышенные камово-моренные холмистые равнины, располагающиеся на высотах 180-130 м. В ландшафтах разнообразны карстовые процессы. Сильное расчленение территории, а также избыточное увлажнение (табл. 1) обусловливает формирование речной и озерной сети.

Геокомплексы разного ранга можно классифицировать в виды, классы, типы, а также подклассы, подтипы. Ландшафты, например, в типы объединяются по наиболее общим чертам сходства в генезисе и структуре, а следовательно, и в характере основных географических процессов. В виды объединяются ландшафты, наиболее близкие по генезису, структуре, морфологии (например, ландшафты низинных озерно-ледниковых равнин). Классификация данных ландшафтов может быть представлена в следующем виде (табл. 2).

Для наиболее полной характеристики ландшафта необходимо знание его морфологического строения (т.е. набора фаций, урочищ и местностей). Структура доминантных урочищ, как правило, выносится в название ландшафта. Например, доминантными урочищами Тихвинско-Чагодощенского ландшафта являются волнистые озерно-ледниковые равнины с сосняками бруснично-чернично-зеленомошными разнотравно-ягельными на подзолистых почвах, а также березо-сосновых лесов на иллювиально-железисто-гумусовых подзолах, торфянистых и торфяно-подзолисто-глеевых почвах и верховых болот. В Судско-Чагодском ландшафте преобладают моренные гряды с ельниками разнотравными на дерново-подзолистых и подзолистых почвах, кроме этого, морено-камовые холмы с еловыми и елово-сосновыми зеленомошными и вторичными мелколиственными лесами на подзолистых и торфяно-подзолисто-глеевых почвах и пологоволнистая моренная равнина, занятая елово-сосновыми бруснично-чернично-зеленомошными лесами на подзолистых почвах [Нестерова, 2006]. Различия в ландшафтной структуре природно-территориальных комплексов должны отражаться в типических чертах большинства водоемов.

Преобладают совсем небольшие озера с площадями более 0,01 но менее 0,1 км^2. Самые маленькие озера имеют площади от 0,004 до 0,008 км^2, так-

Таблица 1. Климатическая характеристика ландшафтов

НАЗВАНИЕ СТАНЦИИ	ЛАНДШАФТ	ВЫСОТА НАД УРОВНЕМ МОРЯ, М	СРЕДНЯЯ ТЕМПЕРАТУРА ЯНВАРЯ/ИЮЛЯ, °С	СУММА ТЕМПЕРАТУР ВЫШЕ 10°С	ОСАДКИ, ММ/ГОД
Лодейное Поле	Нижне-Свирский	23	-09,7/16,7	1634	527
Вознесенье	Верхне-Свирский	39	-10,1/16,5	1556	528
Токари	Свирско-Оятский	135	-10,5/16,1	1432	–
Винницы	Вепсовский	90	-10,9/15,9	1422	653
Ефимовский	Судско-Чагодский	173	-10,6/15,9	1526	639

Таблица 2. Классификация ландшафтов Тихвинско-Вепсовской провинции

ЛАНДШАФТ	КАТЕГОРИЯ					
	ТИП	ПОДТИП	КЛАСС	ПОДКЛАСС	РОД	ВИД
Нижне-Свирский	таежный	средне-таежный	равнинный	низинный	восточноевропейский	озерно-аккумулятивный и абразионный
Верхне-Свирский				низинный		озерно-ледниковый
Свирско-Оятский				возвышенный		моренный волнистый равнинный
Вепсовский		южно-таежный		возвышенный		грядово-холмисто-моренный
Тихвинский				низинный		озерно-ледниковый заболоченный
Тихвинско-Чагодощенский				возвышенный		холмисто-моренно-озерный
Судско-Чагодский				низинный		зандровый

же достаточное количество наблюдается в группе озер, имеющих площадь от 0,1 до 1 км^2.

В предыдущих работах авторов были выделены местоположения озерных котловин [Малоземова, 2012]. Чаще всего встречаются небольшие озера (“озерки”), расположенные в болотах в виде цепочек. Например, в болоте Ямницкая чисть насчитывается 18 озер с площадью в пределах 0,004–0,008 км^2. Коэффициент удлиненности “озерков” близок к коэффициенту для округлых и округло-овальных форм, они же характеризуются небольшой изрезанностью береговой линии (S – показатель, характеризующий степень развития береговой линии, не превышает 1,5). При этом болотные урочища во всех ландшафтах являются второстепенными, дополняя морфологическую характеристику, но не определяя ее. Другое характерное расположение озер по речным системам – озера связаны между собой протоками, например р. Лидь берет свое начало из оз. Святозера, по ее течению отмечаются следующие озера: Мохозеро, Мялтозеро, Пелушское, Петровское, Островское, Глубокое, Речное, Рябово, Глубокое, Малое, Лидское, Кейгошское. Здесь отмечаются озера со значительной изрезанностью береговой линии: Пелушское – 24, Шидрозеро – 23, Лидское – 19, скорее это субдоминантные урочища, нежели второстепенные.

В доминантных урочищах озер немного, но это наиболее крупные озера, как например, Шимозеро (8,21 км^2), Шидозеро (5,88 км^2), Пашозеро (5,18 км^2), Шугозеро (5,07 км^2), Пелушское (3,08 км^2), Лидское (3,20 км^2), Шигольское (2,80 км^2), Вялгозеро (2,44 км^2) и др.

Формирование котловин больших озер находится в непосредственной зависимости от литогенной основы, поэтому в Вепсовском ландшафте, литогенная основа которого представляет собой конечно-моренный пояс, и, кроме этого, он отличается максимальными высотами и расчлененностью поверхности, а доминантными урочищами этого ландшафта являются урочища моренных гряд и морено-камовых холмов с ельниками на подзолистых в сочетании с торфяно-подзолисто-глеевыми почвами и сосняками на подзолистых опесчаненных почвах, можно заметить соответствие крупных озер доминантным урочищам. Однако и в субдоминантных, и даже второстепенных урочищах могут встречаться крупные озера: Пяжозеро (13,8 км^2), Линжозеро (9,11 км^2) находятся в урочищах межгрядовых и межкамовых понижений, а Долгомошье (4,36 км^2), Нунгоша (2,56 км^2) занимают болотные пространства.

Глубокие озера также тяготеют к доминантным урочищам, Муромозеро (максимальная глубина 54 м), Святозеро (10 м), Вялгозеро (18 м) находятся в Вепсовском и Тихвинско-Чагодощенском ландшафтах. Здесь на показатели глубины оказывают влияние карстующиеся породы, широко распространенные в данных ландшафтах.

Значительные глубины Муромозера, ступенчатое очертание береговой линии (перегибы ступеней близки к 90 градусам) позволяют предположить, что на формирование котловины озера, кроме ледниково-аккумулятивных факторов, также могли оказать влияние и эндогенные факторы, что является нетипичным для рассматриваемого региона. При этом коэффициент удлиненности (3,27) определяет форму котловины как близкую к овальной, что естественно для зоны аккумуляции ледникового материала.

Таким образом, преобладающее количество озер Тихвинско-Вепсовской провинции располагается во втростепенных урочищах, представленных заболо-

ченной флювиогляциальной равниной и болотами. Водоемы имеют малую площадь (“озерки”), незначительную глубину, представляют собой зарастающие, некогда более крупные, водоемы. Изрезанность береговой линии (S = 1,5), является нехарактерной для зоны ледниковой аккумуляции.

В доминантных и субдоминантных урочищах ярко проявляется зависимость морфометрических характеристик от литогенной основы. Как указывалось выше, все наиболее крупные и глубокие озера расположены в доминантных урочищах, отличаются более изрезанной береговой линией и часто имеют в плане неправильную лопастную форму с заливами.

Тем не менее, видимо, в аккумулятивной зоне деятельности ледника морфометрические различия озер неочевидны. Все озера характеризуются схожими параметрами, независимо от того, какой аккумулятивный процесс являлся ведущим – ледниковый или водно-ледниковый.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Малоземова О.В. Морфометрическая характеристика озер в различных ландшафтах востока Ленинградской области //Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И.Герцена, 2012. – №144. – С. 112–121.

Нестерова Л.А. Доминантные и второстепенные урочища ландшафтов востока Ленинградской области // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика. – М.: Географический факультет МГУ, 2006. – С. 210–213.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS

Nesterova L.A., Malozemova O.V.

The Herzen State Pedagogical University of Russia, St.-Petersburg, Russia

l-nesterova@mail.ru

ABSTRACT

The morphological features of lacustrine landscapes are determined by the diverse lithology of the territory. At that, the morphometric indicators are not very obvious in terms of landscape type and often depend on the individual conditions.

МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Постникова П.В.

ФГБУН Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

polina@icm.krasn.ru

Целью исследования являлось изучение межгодовой динамики гидрооптических величин как показателя устойчивости функционирования Красноярского водохранилища. Современные исследования представлены за период 2000-2014 гг. В работе представлены распределения концентрации хлорофилла "а" и фотосинтетической активности фитопланктона, а также основные гидрооптические показатели и уровень минерализации как в самом водохранилище, так и в наиболее существенных его заливах.

Постоянные мониторинговые наблюдения дают возможность своевременно разрабатывать мероприятия и осуществлять водоохранные работы на основе научно-обоснованных положений по современному состоянию экосистемы и динамике ее гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов с учетом многолетних рядов наблюдений [Алимов, 2008]. В качестве объекта исследований выбрано Красноярское водохранилище – уникальный глубоководный и слабопроточный искусственный водоем, созданный на Енисее при строительстве Красноярской ГЭС, который функционирует более 30 лет. При постройке водохранилищ основным фактором, изменяющим условия существования биоты реки, является замедление течения и водообмена. Этот фактор способствует эвтрофированию водоема и структурным изменениям в фитопланктонном сообществе [Бульон, 2005]. Специфика абиотических и биотических параметров экосистемы Красноярского водохранилища, проявление негативных, неблагоприятных последствий функционирования водохранилища для населения прибрежной зоны, включая гг. Дивногорск и Абакан, а также расположенный ниже по р. Енисей г. Красноярск, обусловили необходимость организации систематических наблюдений и исследований на нем [Гольд, 2008]. Целью исследования являлось изучение межгодовой динамики гидрооптических величин как показатель устойчивости функционирования Красноярского водохранилища. Современные исследования представлены за период 2000–2014 гг. С помощью дифференциального спектрофотометра ДСФГ-2 были оценены стандартные характеристики качества воды как в самом водохранилище, так и в наиболее существенных его заливах: количество минеральной и органической взвеси, а также содержание растворенных органических веществ, получены размерные характеристики частиц, присутствующих в пробах, определены основные гидрооптические показатели. Изучение горизонтального распределения концентрации хлорофилла "а", а также фотосинтетической активности фитопланктона выполнено с помощью лабораторного флуориметра ЛФЛ-И [Лопатин, 2000]. Одновременно оценивались изменения концентрации солей в пробах для выявления антропогенного влияния на основные заливы и вдоль русловой части Красноярского водохранилища. Отбор проб воды производился на различных участках Красноярского водохранилища от залива Улазы до залива Кондырла, также собраны первичные данные с 13 заливов Приморского плеса (заливы: Улазы, Куртак, Глядень, Убей, Сисим, Даурский, Вагонуль, Кондырла, Бюза и Малая Дербина, Караульный, Кривляк, Черемушки).

На рисунке 1 представлена динамика изменения концентрации хлорофилла (Схл) и фотосинтетической активности фитопланктона (КФА) для центральной части Красноярского водохранилища (Приморский плес).

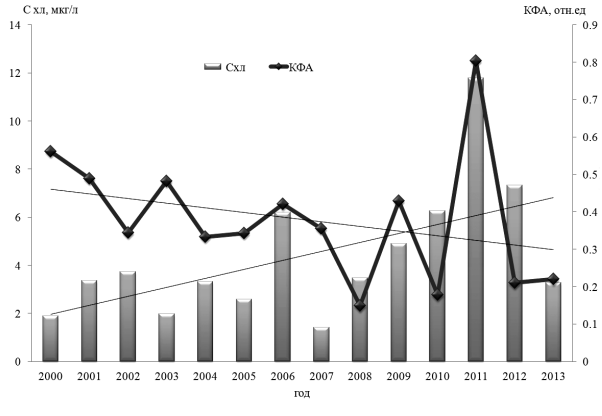


Рис. 1. Межгодовая динамика концентрации хлорофилла и фотосинтетической активности фитопланктона для центральной части Красноярского водохранилища.

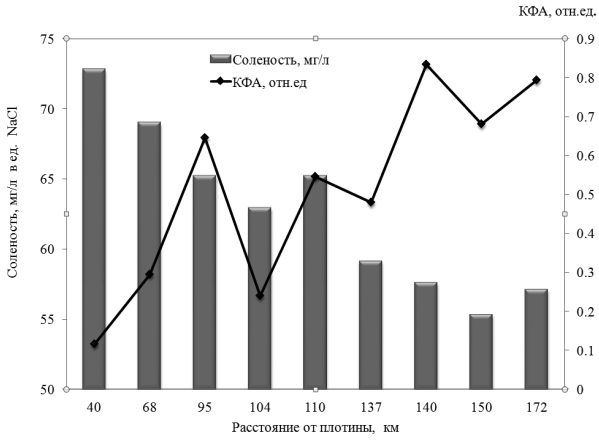


Рис. 2. Распределение солености и фотосинтетической активности фитопланктона вдоль основного русла Красноярского водохранилища вверх по течению при удалении от плотины ГЭС

Содержание хлорофилла "а" и фотосинтетическая активность фитопланктона имеют обратную зависимость на протяжении всего периода измерений за исключением 2011 года, когда наблюдался значительный рост обоих параметров. В это же время, по данным гидробиологических измерений наблюдался пик численности и биомассы фитопланктона при постоянном возрастании, начиная с 2007 года.

По данным мониторинга в 2000–2014 гг. в Красноярском водохранилище, выделены годы с различным уровнем наполнения: маловодные, средневодные и многоводные, и отмечено, что содержание растворенного органического вещества коррелирует с уровнем наполнения водохранилища, а концентрация минеральной взвеси – имеет обратную зависимость.

При изучении распределения концентрации хлорофилла "а", а также фотосинтетической активности фитопланктона за вегетационный период 2014 года, было установлено, что в основном русле водохранилища идет рост фотосинтетической активности, а также снижение уровня солености воды при удалении от плотины (рис. 2), что указывает как на антропогенное влияние зарегулирования на активность фитопланктонного сообщества, так и на качество воды.

Как отмечено в работах [Гольд, 2003, Иванова, 2004], ослабление эффекта антропогенного эвтрофирования, проявившееся в значительном снижении развития сине-зеленого планктона и увеличении доли диатомового (55–94% от общей биомассы) проявилось после 2000 г. и является показателем снижения трофности Красноярского водохранилища.

Проведенные исследования указывают на изменчивый характер показателей активности фитопланктонного звена Красноярского водохранилища, что позволяет выделять периоды цветения водоема, и это подтверждается гидробиологическими данными.

На состояние водохранилища влияют как уровни наполнения водохранилища, так и удаленность от плотины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб.: Наука, 2001. – 147 с.

Бульон В.В. Первичная продукция и рыбопродуктивность водоемов: моделирование и прогноз // Биология внутр. вод. – 2006. – № 1. – С. 48–56.

Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество воды //отв. за выпуск З.Г. Гольд. – Красноярск: Изд. Сибирского федерального ун-та, 2008. –538 с.

Лопатин В.Н., Апонасенко А.Д., Щур Л.А. Биофизические основы оценки состояния водных экосистем (теория, аппаратура, методы, исследования) – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.–360 с.

Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И. и др. Межгодовая динамика биологических показателей в оценке качества воды и структуры экосистемы глубоководного водоема (на примере Красноярского водохранилища) // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы II Междунар. науч. конф., Минск – Нарочь, 22–26 сент. 2003 г. – Минск: Изд. Белорус. ун-та, 2003. – С. 115–117.

Иванова Е.А. Динамика и функциональная роль фитопланктона в экосистемах водохранилищ бассейна Верхнего Енисея: Автореф. дис. … докт. биол. наук. – Красноярск, 2004. – 32 с.

INTERANNUAL DYNAMICS OF OPTICAL CHARACTERISTICS OF THE KRASNOYARSK RESERVOIR AS AN INDICATOR OF ITS RECENT FUNCTIONING STABILITY

Postnikova P.V.

Institute of Computational Modeling of SB RAS, Krasnoyarsk, polina@icm.krasn.ru

ABSTRACT

The aim of the research was to investigate inter-annual variability of hydro-optical parameters as an indicator of the Krasnoyarsk reservoir functioning stability. Modern studies are presented for the period 2000-2014 years. In the work the distribution of chlorophyll "a"concentration, the photosynthetic activity of phytoplankton and standard assessments of the water quality in the reservoir itself, and in the most important bays are presented.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОЗЕРНО-РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ БАЙКАЛ-ХУБСУГУЛ

Потемкина Т.Г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Лимнологический институт
Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск

tat_pot@lin.irk.ru

Рассмотрены вопросы влияния глобального потепления климата и антропогенной деятельности на гидролого-морфологические процессы озерно-речной системы Байкал-Хубсугул. Проведен анализ изменений стока воды и наносов рек, уровней воды в озерах, температуры воздуха, почвы и грунтов, количества атмосферных осадков, многолетней мерзлоты, определены тенденции и взаимосвязи между основными гидрологическими и метеорологическими характеристиками. Выявлено, что влияние глобального потепления в районе Байкала и Хубсугула более значительно, чем в других регионах, так как темпы роста температуры воздуха здесь почти в 2 раза выше темпов роста глобальной температуры; водоносность рек постепенно увеличивается (кроме р. Селенги), сток наносов уменьшается, уровень воды оз. Хубсугул повышается. Современное состояние озерно-речной системы Байкал-Хубсугул контролируется преимущественно природными процессами, но в разных частях водосборов озер оно в большей или меньшей степени корректируется антропогенными факторами.

Рассмотрены вопросы влияния глобального потепления климата и антропогенной деятельности на гидролого-морфологические процессы озерно-речной системы – Байкал-Хубсугул. Проведен анализ изменений стока воды и наносов рек, уровней воды в озерах, температуры воздуха, почвы и грунтов, количества атмосферных осадков, многолетней мерзлоты, определены тенденции и взаимосвязи между основными гидрологическими и метеорологическими характеристиками. Выявлено, что влияние глобального потепления в районе Байкала и Хубсугула более значительно, чем в других регионах, так как темпы роста температуры воздуха здесь почти в 2 раза выше темпов роста глобальной температуры; водоносность рек постепенно увеличивается (кроме р. Селенги), сток наносов уменьшается, уровень воды оз. Хубсугул повышается. Современное состояние озерно-речной системы Байкал-Хубсугул контролируется преимущественно природными процессами, но в разных частях водосборов озер оно в большей или меньшей степени корректируется антропогенными факторами.

В последние десятилетия изменение климата, антропогенная деятельность и последствия их влияния на окружающую среду стали глобальной темой. Влияние этих факторов испытывают и озерно-

Таблица 1. Морфометрические характеристики озер Байкал и Хубсугул [Атлас Байкала, 1993; Атлас озера..., 1989]

ХАРАКТЕРИСТИКА	ОЗ. БАЙКАЛ	ОЗ. ХУБСУГУЛ
Площадь водного зеркала, км^2	31500	2760
Площадь водосбора (без площади озера), км^2	540000	4920
Объем водной массы, км^3	23000	383
Длина, км	636	136
Средняя глубина, м	731	139
Средняя ширина, км	49,0	20,0
Наибольшая глубина, м	1637	262
Наибольшая ширина, км	79,5	36,5

речные системы. Изменяются как режим стока рек, так и режим приемных водоемов.

Байкал и Хубсугул – тектонические впадины Байкальской рифтовой зоны. Оба озера проточны и соединяются между собой рекой, образуя озерно-речную систему, в южное звено которой входит Хубсугул. В гидрографическом отношении озерно-речная система Байкал-Хубсугул входит в состав бассейна Северного ледовитого океана.

Несмотря на различие размеров (табл. 1), озерам свойственна асимметрия поперечного профиля, удлиненность их впадин, наличие узкого мелководья, значительная крутизна подводных склонов, скалистость берегов, островов и полуостровов. Байкал и Хубсугул имеют существенное морфологическое сходство, часто их называют озерами-двойниками, поэтому при рассмотрении некоторых вопросов гидрологического режима бассейн Байкала может служить аналогом бассейна Хубсугула.

В настоящее время влияние глобального потепления климата и антропогенной деятельности на гидролого-морфологические процессы озерно-речной системы – Байкал-Хубсугул усиливается. Проявление этого влияния в разных частях водосборов обоих озер неодинаково и зависит как от природных условий, так и от различной по характеру и интенсивности деятельности человека [Потемкина, 2011].

Влияние глобального потепления на окружающую среду в районе Байкала и Хубсугула более интенсивно, чем в других регионах, так как темпы роста температуры воздуха здесь почти в 2 раза выше темпов роста глобальной температуры. Потепление, усилившееся во второй половине 1970-х гг., должно было способствовать увеличению испарения, уменьшению стока воды, и, как следствие, снижению стока наносов. Однако на фоне прогрессирующего потепления водоносность рек Байкала постепенно увеличивается (от 2 до 5,3%, исключая Селенгу, где сток воды уменьшился на 12%), а сток наносов байкальских рек весьма значительно уменьшается (на 50–77%) (табл. 2).

Уровень воды в Байкале зарегулирован и контролируется работой Иркутской ГЭС.

Уровень воды Хубсугула повысился на 60 см в течение прошедших 20 лет [Fushimi, 2004], площадь его водного зеркала за период с 1992 по 2008 год увеличилась на 59,8 км^2 [Оюунгэрэл, Мунхдулам, 2011]. Береговая зона озера оказалась подтопленной. Основной источник повышения уровня воды в озере – многолетняя мерзлота, деградация которой усилилась в последние десятилетия [Sharkhuu et al., 2007] в связи с потеплением климата и активизацией антропогенной деятельности (выпас скота, вырубка деревьев, лесные пожары).

Влияние атмосферных осадков на увеличение водоносности рек Байкала незначительно, поскольку их распределение на территории водосбора озера неравномерно, а многолетние изменения характеризуются преимущественно слабо выраженными трендами. В районе Хубсугула количество дней с осадками и годовая сумма осадков увеличились несущественно, но отмечен значительный рост ежегодного числа жарких дней и теплых ночей, участились сильные засухи. Такие процессы увеличивают риск опустынивания для лесных экосистем и пересыхания рек в бассейне озера Хубсугул.

Водосборы Байкала и Хубсугула расположены в зоне распространения многолетней мерзлоты. Ее деградация вследствие глобального потепления служит для озерно-речной системы дополнительным источником питания. В Байкальском водосборном бассейне процесс таяния вечной мерзлоты происходит интенсивнее, чем в Хубсугульском. Деградация многолетней мерзлоты частично влияет на увеличение водоносности рек Байкала, приводит к повышению уровня воды в Хубсугуле и других близлежащих озерах. Ее влияние на водный сток рек Хубсугула несущественно. Локальная человеческая деятельность на территории водосборов Байкала и Хубсугула (выпас скота, вырубка леса, лесные пожары, развитие туристического бизнеса, инженерно-технические работы и др.) ускоряет процесс деградации вечной мерзлоты.

Таблица 2. Изменения стока воды (Q, км^3/год), стока наносов (R, 10^3 т/год) и коэффициенты корреляции (K) между ними за рассматриваемые периоды

	Q	R	K	Q	R	K	ИЗМЕНЕНИЯ*, %	
РЕКА	1946–1973 ГГ.			1974–2011 ГГ.			ΔQ	ΔR
Селенга	29,6	2252	0,74	26,0	1132	0,58	– 12	– 50
Верхняя Ангара	8,32	416	0,70	8,76	142	– 0,01	+5,3	– 66
Баргузин	3,89	162	0,55	4,00	50	0,01	+ 2,8	– 69
Утулик	0,51	48	0,42	0,52	11	0,25	+ 2,0	– 77

*Примечание. Увеличение (+), уменьшение (–).

Стоку наносов свойственна более сложная схема реагирования на изменения окружающей среды, чем стоку воды. Так, таяние вечной мерзлоты лишь опосредованно влияет на сток наносов рек [Потемкина, 2011].

Необходимо отметить, что процессы реагирования стока воды и особенно стока наносов на изменения климата во многом остаются еще недостаточно понятыми и осмысленными из-за нехватки исследований, данных наблюдений, сложности процессов и, следовательно, трудности их интерпретации, отсутствия методов комплексных оценок. Антропогенный фактор влияния на речные системы также остается неоцененным. Поэтому количественная оценка влияния обоих факторов – изменения климата и антропогенной активности – на гидролого-морфологические процессы озерно-речных систем имеет крайне важное значение для будущих исследований. Имеющиеся данные по рассматриваемому вопросу позволяют полагать, что современное состояние озерно-речной системы Байкал-Хубсугул, контролируемое преимущественно природными процессами, в разных частях водосборов озер в большей или меньшей степени корректируется антропогенными факторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас Байкала. М: Роскартография, 1993. – 160 с.

Атлас озера Хубсугул. М: ГУГК, 1989. – 119 с.

Оюунгэрэл Б., Мунхдулам О. Современное состояние особо охраняемых природных территорий монголии//География и природ. ресурсы, 2011. – №2. – С. 168–172.

Потемкина Т.Г. Тенденции формирования стока наносов основных притоков озера Байкал в XX – начале XXI столетиях// Метеорология и гидрология, 2011. – №12. – С. 63–71.

Fushimi H. Effects of global warming on Asian lakes from viewpoints of water resources and environmental change// Himalayan Journal of Sciences. Japan, 2004. – Vol. 2. – No 4. – P. 135.

Sharkhuu N., Etzelmuller B., Heggem E.S.F., Nelson F.E., Shiklomanov N.I., Goulden C.E., Brown J. Permafrost monitoring in the Hovsgol mountain region, Mongolia// J. Geophys. Res., 2007. – Vol. 112. – F02S06; doi:10.1029/2006JF000543.

EFFECTS OF CHANGES IN THE ENVIRONMENT ON HYDROLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PROCESSES OF THE BAIKAL-HOVSGOL LAKE-RIVER SYSTEM

Potemkina T.G.

Institute of Limnology, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, tat_pot@lin.irk.ru

ABSTRACT

In the article the analysis of the influence of global warming and human activities factors on the hydrological and morphological processes of lake-river system of Baikal-Hovsgol is presented. The changes of water runoff and sediments in rivers, water level in lakes, air temperature, soil and subsoil temperature, precipitation are considered. Processes of permafrost degradation are studied. Trends and relations between the main hydrological and meteorological characteristics are identified. The results allow us to suggest that the effect of global warming in the area of Lake Baikal and Lake Hovsgol is more significant than in other regions, since the growth rate of the air temperature is almost two times higher than the rate of growth of global temperature. Against the background of progressive warming, the water content of Baikal rivers gradually increases (except for the Selenga river), the water level of Lake Hovsgol increases, sediment load of Baikal rivers decreases. The current state of the Baikal- Hovsgol lake-river system is controlled mainly by natural processes, but in different parts of the catchment areas of lakes it is corrected to a greater or lesser extent by human factors.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ РЕЧНЫМИ НАНОСАМИ

Рахуба А.В.[1], Шмакова М.В.[2]

[1] Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти

[2] Институт озероведения РАН, СПб

rahavum@mail.ru, m-shmakova@yandex.ru

В данной работе на основе модельных экспериментов исследуется режим взвешенных наносов и пространственная изменчивость донных отложений Куйбышевского водохранилища.

Заиление водохранилищ – это изменение отметок дна, повлекшее за собой уменьшение объема воды. Основными причинами заиления являются наносы, поступающие вместе с речным стоком и с территории водосбора, ветровой перенос летучих песков с суши, выпадение в осадок химических соединений, биомасса водной растительности, абразия берегов [Шамов, 1939]. Вклад того или иного фактора в динамику заиления водохранилищ обусловлен прежде всего типом водохранилища, его гидравликой, характеристиками водосбора и климатом. Существующие в настоящее время методы расчета заиления водохранилищ, как правило, дают лишь общую оценку условно равномерного заполнения водохранилища речными наносами. Эти методы не учитывают сложную морфометрию водохранилищ, распределение поступившего с речным стоком твердого вещества по всей акватории водохранилища и его внутригодовую динамику, обусловленную изменением водности в течение года, регулированием стока водохранилища, влиянием ветра и ледовых явлений, осыпание берегов, образование органического осадка и так далее.

В связи с этим оценка динамики подводного рельефа водохранилищ должна быть основана на гидродинамических уравнениях взвесенесущих водных масс и учитывать основные факторы, определяющие этот процесс.

Математическое моделирование заиления водохранилищ позволяет не только оценивать динамику отметок дна при текущих гидродинамических условиях, но и давать прогнозы при изменении условий формирования жидкого и твердого стока на водосборе, вызванного различными антропогенными мероприятиями. Также важно заметить, что при математическом моделировании предполагается непрерывная взаимосвязь между изменением морфометрических характеристик котловины водохранилища и переменными состояния водной массы.

В качестве примера гидродинамической модели водохранилища можно привести модель, разработанную А.В. Рахубой в Институте экологии Волжского бассейна РАН. Эта модель основана на системе уравнений "мелкой воды" [Рахуба, 2012]:

Уравнения количества движения:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} - lv = F_x,$$
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + g\frac{\partial \zeta}{\partial y} + lu = F_y. \qquad (1)$$

Преобразованное уравнение сохранения массы, с учетом кинематических условий на свободной поверхности и на дне:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u\frac{\partial \zeta}{\partial x} + v\frac{\partial \zeta}{\partial y} = w,\ z = \zeta;$$
$$u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} + w = 0,\ z = -h; \qquad (2)$$

и проинтегрированное по глубине будет иметь вид:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial[(h+\zeta)u]}{\partial x} + \frac{\partial[(h+\zeta)v]}{\partial y} = 0, \qquad (3)$$

где $u(x, y, t)$ и *$v(x, y, t)$* – усредненные по глубине продольная и поперечная скорости, *$h(x, y, t)$* – невозмущенная глубина, *$\zeta(x, y, t)$* – уровень свободной поверхности, *$H = (h + \zeta)$* – полная глубина, *g* – ускорение свободного падения, *$l = 2\omega sin\phi$* – параметр Кориолиса, $\omega = 2\pi/$сут – угловая скорость вращения земли, ϕ – географическая широта.

Компоненты внешней силы *Fx* и *Fy* учитывают касательные напряжения, связанные с ветром и донной поверхностью, а также горизонтальный турбулентный обмен:

$$F_x = c_a\frac{\rho_a}{\rho H}W_{(x)}|W| - \frac{f_{дно}}{H}u|v| + K_L\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P_a}{\partial x},$$
$$F_y = c_a\frac{\rho_a}{\rho H}W_{(y)}|W| - \frac{f_{дно}}{H}v|v| + K_L\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P_a}{\partial y}. \qquad (4)$$

Для касательного напряжения ветра: c_a – безразмерный коэффициент аэродинамического сопротивления водной поверхности, $\rho_a/\rho = 10^{-3}$ – отношение

плотностей воздуха и воды, $W_{(x)}$ и $W_{(y)}$ – компоненты составляющей скорости ветра, W – результирующий вектор скорости ветра.

Для касательного напряжения обусловленного трением о донную поверхность: v – результирующий вектор скорости течения, $f_{дно} = g/C^2$ – безразмерный коэффициент придонного трения, g – ускорение свободного падения, C – коэффициент Шези.

Горизонтальный турбулентный обмен задается коэффициентом K_L, а изменение атмосферного давления задается P_a.

Уравнения решаются при задании следующих граничных условий для u, v, ζ. На твердых боковых границах нормальная компонента скорости u_n равна нулю. Для тангенциальной компоненты u_τ вводится квадратичный закон трения, аналогичный придонному. Таким образом, граничное условие на твердых боковых границах имеет вид

$$u_n = 0, \quad K_L \frac{\partial u_\tau}{\partial n} = -f_b u_\tau \bar{v}, \qquad (5)$$

где f_b – безразмерный коэффициент бокового трения.

На открытых боковых границах одним из граничных условий является равенство нулю касательной к границе составляющей скорости: $u_\tau = 0$, второе граничное условие может быть разных типов. Для первого типа задается нормальная компонента скорости как функция времени: $u_n = f(t)$. Для второго типа задается уровень воды: $\zeta = \zeta(t)$. Для третьего типа задается линейная зависимость между нормальной компонентой скорости и уровнем $u_n = \pm(g/h)^{1/2}\zeta$.

Численно реализованная в программной среде "ВОЛНА" [Рахуба, 2012], система гидродинамических уравнений позволяет оптимально рассчитывать характеристики движения воды с учетом ветрового воздействия в расчетной области, максимально приближенной к реальной конфигурации водного объекта.

Приведенные выше уравнения дополняются аналитической формулой расхода наносов

$$G = \frac{\rho_{грунта}}{\rho_{грунта} - \rho_{воды}} Q \left[\frac{c}{Hg} - (1 - f)\rho_{воды} I \right] \qquad (6)$$

где G – расход наносов, кг/с; Q – расход воды, м^3/с; $\rho_{грунта}$ и $\rho_{воды}$ – плотности грунта и воды соответственно, кг/м^3, g – ускорение свободного падения, м/с^2; I – уклон дна; H – глубина потока, м; f – коэффициент внутреннего трения, б/р; c – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с^2). Формула (6) является следствием основного уравнения движения воды и твердого вещества, выражающего баланс сил, действующих в системе "водный поток – донные отложения – наносы" [Шмакова, 2013]. Формула не имеет эмпирических параметров и апробирована на достаточно большом количестве водотоков, лежащих в различных физико-географических зонах и имеющих разные гидравлические и морфологические характеристики [Шмакова, 2013].

Совместное решение представленных выше уравнений и аналитической формулы расхода наносов позволяет вычислить изменения морфометрических характеристик ложа водохранилища. При изменении гидравлики потока меняется и его транспортирующий потенциал в отдельных ячейках. В зависимости от изменения транспортирующего потенциала соответствующая масса наносов или осаждается на дно, или, наоборот, вымывается с площади, характеризуемой размером ячейки.

Представленная модель легла в основу расчетов изменения отметок дна приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища, вызванного влиянием неустановившегося режима стока.

Куйбышевское водохранилище. Куйбышевское водохранилище (нижнюю его часть часто называют Жигулёвским морем) – самое крупное на реке Волге водохранилище, третье в мире по площади. Возникло в 1955–1957 гг. после завершения строительства плотины Жигулевской ГЭС, перегородившей долину Волги в Жигулях у города Ставрополь (ныне Тольятти). Подпор уровня воды у плотины 29 м, он распространяется по Волге до города Новочебоксарска, по реке Каме – до города Набережные Челны. Крупные заливы водохранилище образует по долинам Камы, Свияги, Казанки и другим рекам. Основное назначение водохранилища – выработка электроэнергии, улучшение судоходства, водоснабжение, ирригация [Лукин, 1961].

Данные для расчета. Расчет заиления приплотинной части Куйбышевского водохранилища основан на совместном решении системы гидродинамических уравнений [Рахуба, 2012] и формулы расхода наносов, приведенных выше. Акватория приплотинной части Куйбышевского водохранилища была разбита на 10268 расчетных узлов прямоугольной сетки с шагом 200 м. Модельный шаг по времени составил 3 с. Вычисления проводились по данным наблюдений за расходом воды в створе плотины Куйбышевского водохранилища за 2001 год в период с 15 апреля по 7 августа.

Моделирование было проведено для следующих основных режимов:

1. Стационарный режим расчета, который позволил верифицировать параметры гидродинамической модели и аналитической формулы расхода наносов.
2. Нестационарный режим расчета в период весеннего половодья и части летней межени. По результатам расчета были выделены основные фазы гидрографа различной продолжительности – подъем половодья, период высокой воды, спад и межень.

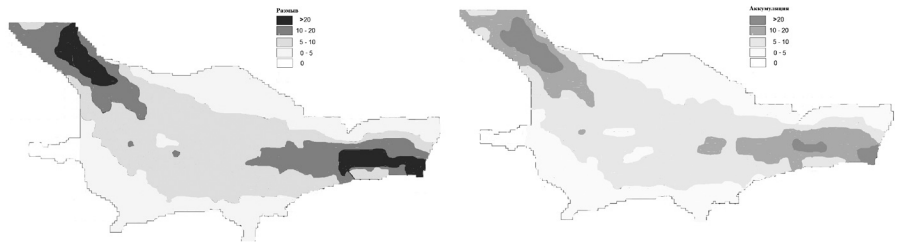


Рис. 1. Карты размыва (слева) и намыва (справа) за периоды подъема и спада половодья, кг/с

Для этих периодов были рассчитаны для каждой расчетной точки аккумуляция и размыв.

Анализ результатов. Результаты расчета отложения и размыва дна показали, что основной вклад в размыв вносит период подъема воды, а в намыв – период спада. Приводя рассчитанные данные о размыве и намыве к продолжительности каждого из четырех выделенных периодов, и пересчитав в толщину залегания, получим, что в мелководной зоне величина отложения за расчетный период составила 5 мм.

На рис. 1 приведены карты размыва (слева) и намыва (справа) за периоды подъема и спада половодья. Размывающая способность течений достаточно велика. Максимальный размыв приходится на глубоководную зону в районе Климовского сужения и приплотинную зону водохранилища, и составляет 41,5 кг/с. Данные натурных исследований по наносом Куйбышевского водохранилища, представленные в работе [Ступишин и др., 1981] подтверждают явление смыва продуктов заиления в период весенней пульсации скоростей стокового течения.

На спаде половодья скорость стокового течения снижается, усиливая аккумулирующую способность водохранилища, которая также приходится на глубоководные районы. Максимальный намыв здесь составляет 42,4 кг/с. В мелководных зонах Куйбышевского водохранилища размыв и аккумуляция за счет действия стокового течения незначительны и изменяются в диапазоне от 0 до 0,2 кг/с. Таким образом, модельные расчеты показывают, что неустановившийся режим на Куйбышевском водохранилище способствует неравномерному распределению донных отложений. Полученные результаты в среднем соответствуют интенсивности заиления Куйбышевского водохранилища речными наносами – 8–9 мм/год [Ступишин и др., 1981].

Выводы. При изучении условий формирования динамики подводного рельефа крупных водохранилищ наряду с особенностями морфологии котловины и характером обрушения берегов большое значение имеет оценка гидродинамической активности водных масс, которая связана с неустановившимся режимом стока. В данной работе на основе модельных экспериментов был исследован режим взвешенных наносов и пространственная изменчивость донных отложений Куйбышевского водохранилища. В результате расчетов получены карты аккумуляции/размыва приплотинной части Куйбышевского водохранилища в различные фазы гидрографа – на подъеме половодья, в период большой воды, на спаде половодья и в летнюю межень. Наиболее интенсивные процессы переформирования дна приходятся на места руслового сужения, что объясняется резким изменением пропускной способности русла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лукин А.В. Куйбышевское водохранилище // Изв. ГосНИОРХ. Т.L. 1961

Рахуба А.В. Гидроэкологические исследования водных объектов с использованием измерительно-вычислительной системы “Хитон – Волна” // Информационно-вычислительные технологии и их приложения. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – С. 64–68.

Ступишин А.В., Трофимов А.М., Широков В.М. Географические особенности формирования берегов и ложа Куйбышевского водохранилища. – Казань, 1981. – 184 с.

Шамов Г.И. Заиление водохранилищ. М–Л: Гидрометеоиздат, 1939, 139 с.

Шмакова М.В. Теория и практика математического моделирования речных потоков. СПб: Изд. Лема, 2013. – 144 с.

MATHEMATICAL MODELING OF RESERVOIR SILTING DUE TO THE RIVER SOLID FLOW

Rakhuba A.V.[1], Shmakova M.V.[2]

[1] *Institute of Ecology of the Volga basin RAS, Toliatti, Russia, rahavum@mail.ru*

[2] *Institute of Limnology RAS, St.Petersburg, Russia, m-shmakova@yandex.ru*

ABSTRACT

Regime of suspended sediment and spatial variability of the bottom sediment of the Kuibyshev Reservoir are investigated in this paper on the base of model experiments.

ЗОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОЗЁРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Савченко Н. В.

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск

savchenkonv52@mail.ru

Изучен многолетний режим водной миграции и аккумуляции 32 химических элементов. Выявлены зональные закономерности современного функционально-динамического состояния озёр и вероятные тенденции их развития в будущем.

Один из представительных регионов мира – Западная Сибирь – известен чрезвычайно высокой степенью заболоченности и озёрности. Общее число озёр в регионе превышает 998 тыс., что составляет 24,4% озёрного фонда и 9% водноозёрных акваторий материка Евразии. Средний показатель озёрности, равный 9,5%, значительно изменяется по территории (от 0,2 до 88%) и превышает общероссийский показатель в 4,3 раза [Савченко, 2012].

В настоящее время озёра этого региона представляют собой весьма уязвимые экосистемы: с одной стороны, по своему гидрографическому положению они являются естественными коллекторами для питающих их водосборов, а с другой – многие территории их водосборов вовлечены в сферы интенсивного хозяйственного освоения газовой, нефтяной и лесной промышленности, транспортного и производственного строительства. По мере развития производства и роста населения, хозяйственная, рекреационная и экологическая роль озёр постоянно будет возрастать. В этой связи возрастает общественный и научный интерес к выявлению их функционального состояния, и, в первую очередь, качественно-гидрохимических свойств. Однако в научной литературе до сих пор отсутствуют работы по этой проблеме. Имеются лишь разрозненные публикации, посвящённые характеристикам основного ионно-гидрохимического состава, минерализации, pH и органического вещества (ОВ) отдельных озёр. Такой подход не даёт полного и чёткого представления об экологическом состоянии водоёмов, так как самую большую группу химического состава озёрных компонентов составляют макро- и микроэлементы, сведения о которых по озерам, как России, так и её сибирских регионов до 80-х годов прошлого века почти полностью отсутствовали. Лишь за последние 35 лет с развитием хроматографии, спектрографии, полярографии, атомной абсорбции и других высокоточных геохимических методов, информация о них стала быстро накапливаться.

В контексте вышесказанного, цель нашего исследования заключалась в том, чтобы показать фундаментально-прикладные возможности элементно-геохимического мониторинга озёр для установления их функционально-динамического (качественного) состояния. Это, в свою очередь, позволяет оценивать не только степень экологической устойчивости озёрных экосистем к лимитирующим антропогенным и ландшафтным факторам окружающей среды, но и выявлять её пространственно-временные закономерности, а также дифференцировать перспективы хозяйственного использования водоёмов.

Устойчивость – важнейшее свойство, характеризующее качество природной среды, позволяющее научно обосновывать пределы трансформации природных систем различного ранга, прогнозировать и разрабатывать мероприятия, предотвращающие неблагоприятные изменения в них. Однако в настоящее время нет общепринятых теоретических и методических разработок, с помощью которых оперативно и надёжно можно определить функционально-динамическое состояние лимноэкосистем. Для решения этой задачи, как показывает наш опыт, корректным и информативным является опыт использования ландшафтно-геохимических коэффициентов и миграционно-геохимических формул (МГФ) [Нечаева, 1985; Савченко, 1997], рассчитываемых и синтезированных на основе мониторинговых геохимических наблюдений (табл. 1). Суть их заключается в том, что в исследованных озёрах определялось абсолютное содержание химических элементов в биоте, воде и подстилающих породах. Затем абсолютные показатели (мг/л и мг/кг) переводились в относительные: $К_{ба}$ – коэффициент озёрно-биогенной аккумуляции (отношение средневзвешенного содержания элемента в золе биоты к содержанию этого элемента в дренируемых породах,%) и $К_{лм}$ – коэффициент водно-озёрной миграции (отношение содержания элемента в минеральном остатке воды к его содержанию в дренируемых породах,%). На основе полученных значений этих коэффициентов разрабатывалась формула геоэкологической устойчивости [Савченко, 2004]:

Таблица 1. Элементно-геохимический состав озёрных вод Западной Сибири

ОЗЁРНЫЙ РАЙОН	СРЕДНЕВЗВЕШЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТА В ВОДЕ ЗА 1981–2013 ГГ., МГ/Л														
	Na	K	Mg	Ca	$N_{общ}$	$P_{общ.}$	Mn	Fe	Zn	Cu	Co	Li	Sr	Ni	Pb
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ямальский (78)	5,4	0,8	1,5	2,6	0,57	0,16	0,02	0,3	0,19	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$	0,001	0,27	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$
Пурский (56)	3,8	0,7	1,3	3,9	0,25	0,12	0,16	0,3	0,2	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$	0,031	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$
Тазовский (42)	2,4	0,6	1,2	3,4	0,2	0,1	0,02	0,16	0,12	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$	0,012	10^{-5}	10^{-4}
Мессояхский (31)	2,6	0,6	1,1	2,4	0,9	0,17	0,05	0,24	0,2	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$	0,034	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$
Гыданский (41)	6,4	0,5	1,5	2,8	0,52	0,15	0,03	1,2	0,1	$< 10^{-5}$	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$	0,01	$< 10^{-6}$	$< 10^{-5}$
Нижнеобский (26)	11,2	0,2	0,3	0,8	0,7	0,22	0,1	0,76	0,08	0,001	$< 10^{-6}$	0,002	0,035	10^{-4}	10^{-4}
Нижнеенисейский (18)	9,4	0,6	3,5	11,6	0,05	0,1	0,01	0,03	0,3	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	0,001	$< 10^{-4}$	0,0008	$< 10^{-5}$
Надымский (29)	6,8	0,5	0,7	2,9	1,1	0,3	0,08	1,07	0,2	0,007	$8 \cdot 10^{-5}$	0,002	0,046	0,0005	0,0125
Ненецкий (21)	4,2	0,6	1,6	4,8	0,4	0,1	0,03	0,1	0,01	0,006	$2 \cdot 10^{-5}$	0,001	0,02	10^{-4}	10^{-4}
Казымский (21)	4,2	0,8	1,5	5,2	0,15	0,17	0,06	0,85	0,32	0,006	$3 \cdot 10^{-5}$	0,002	0,06	10^{-4}	10^{-4}
Ноябрьский (19)	9,2	0,5	3,2	10,2	0,03	0,1	0,02	0,96	0,09	$2 \cdot 10^{-4}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-5}$	0,02	10^{-4}	10^{-4}
Сургутский (96)	8,5	0,9	4,6	10,8	0,15	0,16	0,08	1,07	0,08	$6 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	0,03	0,06	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
Вахский (38)	2,5	0,1	1,5	4,6	0,12	0,02	0,02	1,3	0,1	0,007	$1 \cdot 10^{-3}$	0,003	0,4	0,006	0,002
Кондинский (44)	2,6	0,7	4,2	5,2	0,4	0,2	0,05	1,8	0,06	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,008	0,026	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Среднеобский (81)	12,0	0,7	2,2	6,6	0,1	0,08	0,06	1,04	0,03	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	10-3	0,05	10^{-3}	10-4
Нижнетобольский (44)	10,8	1,4	5,7	24,0	0,1	0,04	0,3	1,2	0,1	$7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,2	н/об	0,005
Верхнетобольский (15)	8,2	1,6	20,6	24,8	0,06	0,08	0,5	0,9	0,01	н/об	0,003	0,05	1,4	н/об	0,0016
Ишимский (151)	174,2	20,8	81,5	28,2	0,04	0,02	0,06	0,09	0,08	0,002	$2 \cdot 10^{-5}$	0,2	0,8	10-4	$2 \cdot 10^{-3}$
Среднеиртышский (47)	189,2	24,5	83,2	22,2	0,1	0,08	0,08	1,33	0,01	0,008	$3 \cdot 10^{-3}$	0,06	0,9	0,004	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$
Камышловский (32)	218,0	48,9	182,6	64,0	0,6	0,08	0,04	0,09	0,01	0,05	н/об	0,04	0,85	0,0002	0,002
Чано-Барабинский (302)	615,2	21,6	108,0	21,6	0,23	0,05	0,06	0,33	0,02	0,014	$1 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,25	0,062	0,075
Кулундинский (63)	1173,2	21,7	240,0	55,6	0,51	0,05	0,05	0,07	0,01	0,05	н/об	0,03	1,8	0,08	0,002
Верхнеобский (33)	112,0	28,2	168,0	22,4	0,6	0,04	0,08	0,6	0,01	0,05	2·10-4	0,02	1,8	0,009	0,006

Примечание. В скобках – число обследованных озёр; н/об – элемент не обнаружен, сл. – следы присутствия элемента

$$\text{Класс водной миграции} \quad \frac{\sum \text{Элементов биогенной аккумуляции}}{\sum \text{Элементов водной миграции}} =$$

= коэффициент динамической напряженности ($К_{дн}$)

Если значение $К_{дн}$ = 1, то озёрная экосистема сбалансирована по вещественно-энергетическому кругообороту и является устойчивой; если $К_{дн} > 1$, то вещественно-энергетический баланс нарушен: процесс накопления вещества доминирует над его выносом, и водоём подвергается эвтрофикации; если $К_{дн} < 1$, то преобладает вынос вещества из озера, и происходит его олиготрофикация. Следовательно, в двух последних случаях можно уверенно констатировать, что устойчивость озёрной экосистемы нарушена. Степень её нарушения пропорциональна величине $К_{дн}$. Заключения, сформулированные на основе МГФ, позволили сделать следующие выводы:

1) Во всех регионах Сибирской Субарктики крайне неустойчивыми экосистемами обладают термокарстовые озёра. Они активно накапливают органическое вещество (ОВ), а также Fe, N, P, Ca, Mo, Ti, Mg, Li, Mn, подвержены глубокой эвтрофикации и даже, дистрофикации. Закономерно, что в направлении от Нижнеенисейского озёрного района к Ямальскому эти процессы усиливаются ($К_{дн}$ изменяется от 5,2 до 10,2).
2) В крупных озёрах флювиально-гляциального (тектонического) генезиса устойчивость экосистем нарушается противоположным процессом: вынос Mn, Ca, P, N, Zn, Cu, Pb, Ti, Mo, Cd, Ni, B, K и ОВ существенно преобладает над их привносом. $К_{дн}$ изменяется в регионе с запада на восток (Ямал – Нижний Енисей) от 0,002 до 0,6. В этой связи все водоёмы этого типа являются ультроолиготрофными.
3) Наиболее сбалансированными в экологическом отношении во всех субарктических озёрных районах являются пойменно-террасовые озера. В элементно-геохимическом круговороте у них одновременно участвуют многие элементы –

СРЕДНЕВЗВЕШЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТА В ВОДЕ ЗА 1981–2013 ГГ., МГ/Л.															
Cd	Ti	V	Ba	Cs	Si	Al	Cr	Rb	Sn	Be	Mo	Ag	Hg	As	B
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
10^{-4}	0,018	0,001	0,007	0,38	0,06	0,001	сл.	0,0012	$2{\cdot}10^{-4}$	$< 2{\cdot}10^{-5}$	сл.	сл.	сл.	сл.	0,014
10^{-4}	0,016	0,001	0,006	0,12	0,035	0,00012	н/об	0,0011	н/об	н/об	сл.	н/об	н/об	н/об	0,033
$< 10^{-5}$	0,091	0,0015	0,007	0,18	0,4	0,00016	н/об	0,0014	$2{\cdot}10^{-4}$	$< 2{\cdot}10^{-5}$	сл.	н/об	н/об	н/об	0,04
$< 10^{-5}$	0,061	0,0006	0,005	0,22	0,45	0,003	н/об	0,0014	$2{\cdot}10^{-4}$	$< 2{\cdot}10^{-5}$	сл.	н/об	н/об	н/об	0,04
10^{-4}	0,043	0,0011	0,005	0,08	0,06	0,0003	н/об	0,0012	н/об	н/об	сл.	н/об	н/об	н/об	0,035
10^{-4}	0,011	0,0012	0,0045	0,09	0,62	0,0001	н/об	0,0014	н/об	$< 2{\cdot}10^{-5}$	сл.	н/об	н/об	н/об	0,02
$< 10^{-5}$	н/об	0,0012	0,018	н/об	0,82	0,004	10^{-5}	н/об	$< 2{\cdot}10^{-5}$	$< 2{\cdot}10^{-5}$	н/об	$0{,}5{\cdot}10^{-4}$	н/об	н/об	н/об
0,00006	0,064	0,0014	0,06	0,08	0,64	0,055	0,0007	0,002	$2{\cdot}10^{-4}$	$< 2{\cdot}10^{-5}$	0,024	$0{,}5{\cdot}10^{-6}$	$3{\cdot}10^{-4}$	$5{\cdot}10^{-4}$	0,06
$< 10^{-5}$	н/об	0,002	0,04	0,02	0,7	0,06	0,0004	н/об	$2{\cdot}10^{-4}$	$< 2{\cdot}10^{-5}$	н/об	$0{,}5{\cdot}10^{-6}$	н/об	$2{\cdot}10^{-4}$	н/об
$< 10^{-5}$	0,07	0,0026	0,05	н/об	0,8	0,06	10^{-4}	0,0012	$2{\cdot}10^{-4}$	$< 2{\cdot}10^{-5}$	0,043	$0{,}5{\cdot}10^{-4}$	н/об	н/об	0,076
н/об	0,003	0,0019	0,054	0,03	0,94	0,2	$1{,}4{\cdot}10^{-4}$	н/об	$2{\cdot}10^{-4}$	10^{-5}	н/об	$0{,}5{\cdot}10^{-4}$	н/об	н/об	н/об
н/об	0,05	0,004	0,06	0,05	1,9	1,2	$2{\cdot}10^{-4}$	0,001	$2{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	$< 8{\cdot}10^{-4}$	$0{,}1{\cdot}10^{-3}$	н/об	н/об	0,3
0,0001	0,05	0,004	0,08	0,3	2,2	1,7	$3{\cdot}10^{-4}$	0,001	$2{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	$< 8{\cdot}10^{-4}$	$0{,}2{\cdot}10^{-3}$	0,02	0,01	0,2
н/об	0,05	0,0046	0,06	0,182	2,8	1,4	$3{,}2{\cdot}10^{-4}$	0,001	$2{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	$< 8{\cdot}10^{-4}$	$0{,}2{\cdot}10^{-3}$	н/об	н/об	0,2
< 10-5	0,01	$< 5{\cdot}10^{-4}$	0,06	н/об	1,8	0,74	0,001	0,01	$2{\cdot}10^{-5}$	10^{-4}	н/об	10^{-4}	н/об	н/об	0,27
н/об	0,01	0,0048	0,12	н/об	2,72	1,1	$3{,}2{\cdot}10^{-4}$	0,005	$2{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	$6{\cdot}10^{-3}$	$3{\cdot}10^{-4}$	н/об	$5{\cdot}10^{-4}$	0,36
0,001	0,19	0,005	0,09	н/об	0,74	0,016	0,04	0,0015	$2{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	$1{,}5{\cdot}10^{-3}$	$3{\cdot}10^{-6}$	н/об	$< 2{\cdot}10^{-4}$	0,26
н/об	0,09	0,0054	0,15	н/об	0,6	0,003	$< 10^{-5}$	0,0002	н/об	10^{-4}	0,06	$3{\cdot}10^{-6}$	н/об	н/об	0,36
н/об	0,07	0,004	0,054	0,03	1,9	1,2	$1{,}2{\cdot}10^{-3}$	н/об	$2{\cdot}10^{-4}$	10^{-4}	0,011	$4{\cdot}10^{-4}$	н/об	н/об	0,3
н/об	0,064	0,0044	0,16	0,022	0,16	0,0036	0,002	0,002	н/об	$2{\cdot}10^{-3}$	0,09	$< 2{\cdot}10^{-6}$	н/об	н/об	0,4
0,0007	0,11	0,0031	0,18	0,3	0,04	0,0012	$3{\cdot}10^{-3}$	0,075	$2{\cdot}10^{-3}$	$4{\cdot}10^{-3}$	0,006	$< 5{\cdot}10^{-6}$	0,02	0,01	0,38
$2{\cdot}10^{-5}$	0,13	0,004	0,12	0,3	0,02	0,0005	$2{\cdot}10^{-4}$	0,002	$5{\cdot}10^{-4}$	$5{\cdot}10^{-3}$	0,002	$3{\cdot}10^{-6}$	0,001	0,002	0,42
$< 10^{-5}$	0,15	0,004	0,09	0,5	0,024	0,0006	0,001	0,006	$< 10^{-5}$	$2{\cdot}10^{-3}$	0,01	$< 2{\cdot}10^{-6}$	н/об	н/об	0,38

Pb, Ni, Al, Sr, Mo, Ca, K, Ti, S, Si, Li, Fe, Mg, Mn, Zn, V, B, а $К_{дн}$ изменяется в пределах от 0,8 до 1,3.

4) На всей территории тундровой Субарктики озёра имеют слабую минерализацию (32-59 мг/л), преимущественно кислую реакцию среды (pH = 5,2–6,8) и очень низкую жёсткость (1,2–1,8°Н). Вода относится к гидрокарбонатному классу, натриевой группе, первому типу (C^{Na}_{I}). Кислородный режим в большинстве озёр благоприятный в течение всего года сравнительно с водоёмами лесотундровых регионов, где зимой возможны заморы.
5) В лесоболотных районах наблюдается заметное усиление функционально-динамических процессов всех генетических типов озёр. Самыми устойчивыми экосистемами обладают озёра пойменного типа и крупные материковые водоёмы. В элементно-геохимическом круговороте (аккумуляции и миграции) одновременно участвуют многие элементы (Mn, Ca, P, N, Zn, Cu, Pb, Ti, Mo, Cd, Ni, B, K), а $К_{дн}$ изменяется от 0,96 до1,005. Слабоустойчивыми и неустойчивыми в лесоболотной зоне являются экосистемы озёр внутриболотного генезиса. В водной толще и озёрных илах накапливается много ОВ, тяжёлых металлов (особенно железа) и азота. $К_{дн}$ изменяется от 1,3 до 7,05.
6) Лесостепной и степной регионы Западной Сибири, несмотря на максимальную антропогенную нагрузку на озёра, чрезмерную пестроту и комплексность химического состава их вод, илов и почв прилегающих водосборов, характеризуются наиболее позитивными показателями экологической устойчивости их экосистем. Высокой устойчивостью обладают экосистемы водоёмов суффозионно-просадочного происхождения проточно-сточного гидрологического типа, а также большинства озёр пойменного генезиса. В озёрных компонентах активно накапливаются As, S, F, Fe, Al, Ni, Zn, Ag и также активно выносятся Na, Li, Mg, K. В обоих процессах одновременно и активно участвуют N, V, Ca,

B, Cu, Pb, Mo, иногда Hg и Cs. Примечательно, что за последние 25 лет, в связи со спадом сельскохозяйственного производства и масштабов его химизации и мелиорации, устойчивость большинства озёрных экосистем (в том числе и других генетических типов) заметно возросла.

Для подтверждения корректности вышеизложенных заключений была применена альтернативная методика экологической оценки озёр по трофическим критериям, разработанная В.Г. Драбковой с соавторами [Драбкова и др., 1994]. Для этого были использованы материалы гидробиологических исследований в характеризуемом регионе, полученные автором в период с 1978 по 2012 годы [Савченко, 2012]. Анализ количественных и качественных показателей продуктивности основных групп гидробионтов показал, что выводы о состоянии устойчивости по трофическим критериям совпадают на 86–92% с результатами по миграционно-геохимическим коэффициентам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Драбкова В.Г., Беляков В.П., Денисова И.А. и др. Закономерности формирования экосистем тундровых озёр и их изменение под влиянием антропогенного воздействия //Особенности структуры экосистем Крайнего Севера. – СПб: Наука, 1994. – С. 242–248.

Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. – Иркутск: ИГ СО АН СССР, 1985. – 210 с.

Савченко Н.В. Озёра южных равнин Западной Сибири. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 1997. – Ч.I.С. 1– 182 с., Ч. II. С. 183–296.

Савченко Н.В. Гидрохимическое состояние озёр низменных равнин северной Евразии (на примере Западной Сибири). – Новосибирск, 2004. – 92 с. – Деп. в ВИНИТИ, №1266 – В 2004.

Савченко Н.В. Биогеохимический мониторинг лимногеосистем Западной Сибири и его основные итоги // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Т.3. – Материалы Всероссийской. научной. конференции с международным участием. – Барнаул, 20–24 августа 2012г. – С. 106–111.

ZONAL REGULARITIES OF CHEMICAL ELEMENTS MIGRATION IN THE LAKE COMPLEXES OF WESTERN SIBERIA

Savchenko N.V.

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia, savchenkonv52@mail.ru

ABSTRACT

The long-term regime of water migration and accumulation of 32 chemical elements is studied. On its basis, zonal regularities of modern functional and dynamic state of lakes and probable trends of their future development are identified.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ОЗЕРА БАЙКАЛ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ

Синюкович В.Н.[1], Курбатова Н.Н.[2]

[1] Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

[2] Иркутское УГМС, Иркутск

sin@lin.irk.ru

На основе результатов наблюдений за уровенным режимом оз. Байкал в бытовых и зарегулированных условиях оцениваются изменения основных характеристик уровня (амплитуда многолетних и внутригодовых колебаний, время наступления сезонных экстремумов, скорости подъема и спада), обсуждаются их причины и высказываются соображения о совершенствовании использования водных ресурсов озера.

Со строительством Иркутской ГЭС на р. Ангаре в 56 км от ее истока оз. Байкал фактически превратилось в водохранилище сезонного и частично многолетнего регулирования. Повышение уровня озера в результате создания плотины ГЭС началось осенью 1958 г. [Синюкович, 2005], а период нормальной эксплуатации Байкала и Иркутского водохранилища отсчитывается с 1962 г. [Гидрометеорологический режим..., 1980], хотя уже с 1960 г. (рис. 1) озеро наполнялось до отметок, близких к нормальному подпорному уровню (НПУ).

Основным фактором формирования уровня оз. Байкал является приток речных вод с его водосборной территории, составляющей 540 тыс. км^2, а также режим попусков воды через Иркутский гидроузел. Большая площадь водной поверхности озера, составляющая 31500 км^2, определяет плавные изменения его уровня. Наряду с этим, ход уровня существенно искажается сгонно-нагонными явлениями и сейшевыми колебаниями. Годовой приток рек в озеро в среднем составляет около 64 км^3, изменяясь в отдельные годы от 32 до 98 км^3 и крайне неравномерно распределяясь внутри года.

С 1988 г. уровенный режим Байкала регламентируется "Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского)" [Основные правила..., 1988] (ПИВР), в соответствии с которыми НПУ озера оставляет 457 м в тихоокеанской системе высот (ТО), а уровень мертвого объема (УМО) – 455,54 м. Кроме того, в многоводные годы предусматривается форсировка уровня до 457,40 м, что позволяет назначать его изменения в интервале 1,86 м (до 1988 г. – 1,96 м). Однако, с 2001 г. по Постановлению Правительства РФ №234 от 26.03.2001 г. [Постановление..., 2001]

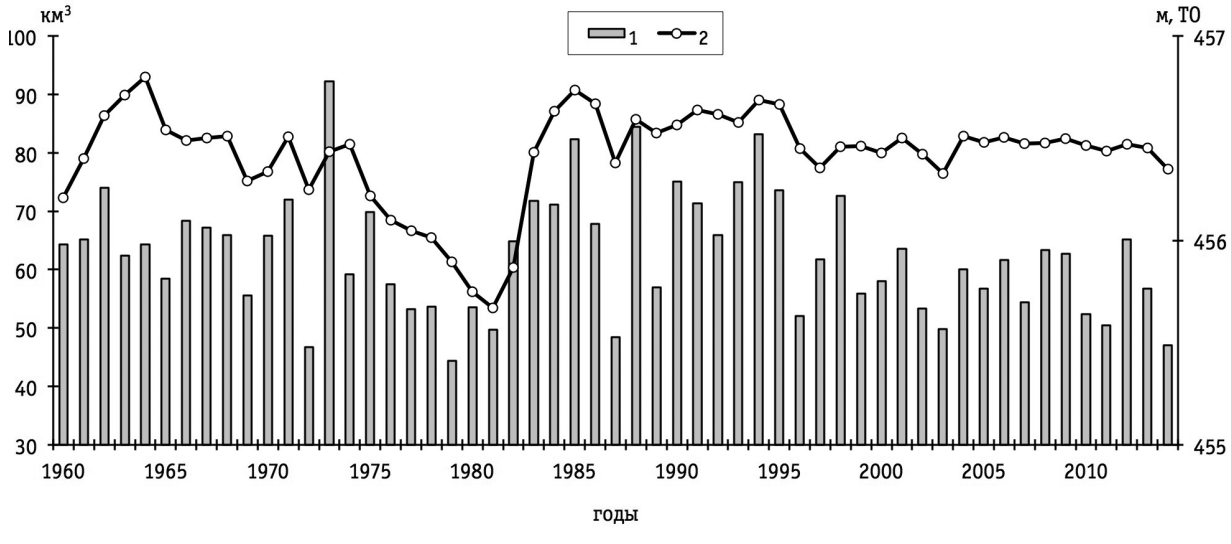


Рис. 1. Поверхностный приток в оз. Байкал (1, левая ось) и его уровень (2, правая ось) в годы зарегулированного режима

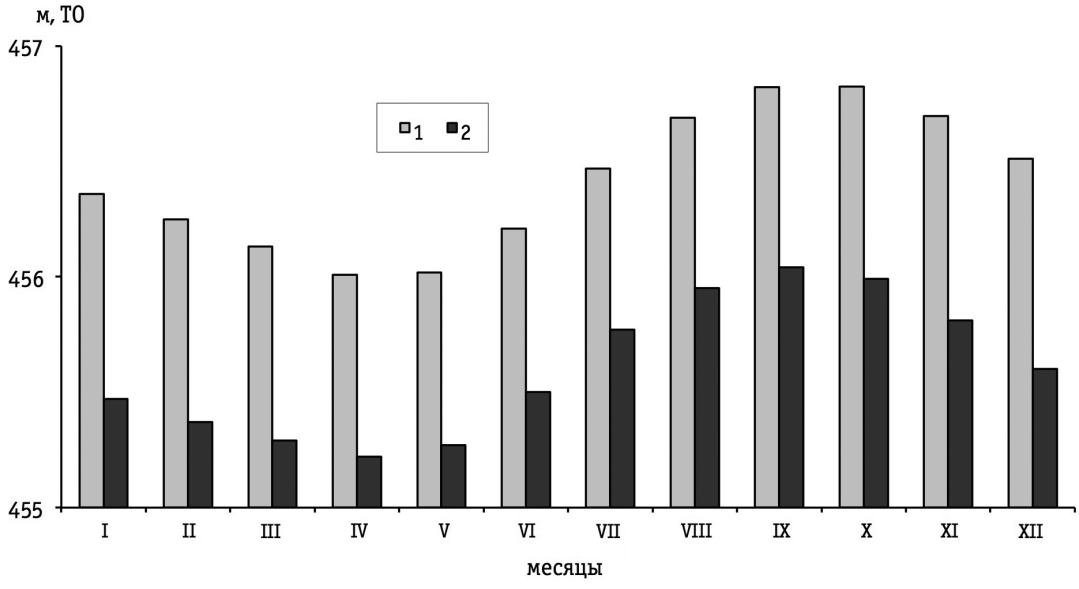


Рис. 2. Внутригодовые изменения уровня в разные периоды

1 – после зарегулирования (1960–2014 гг.),
2 – естественный режим (1898–1958 гг.).

предельные значения уровня водоема были установлены на отметках 456 и 457 м и, поскольку ПИВР при этом не менялись, то в части допустимых уровней оз. Байкал эти нормативные документы стали противоречить друг другу. Предполагалось, что изменить ситуацию может принятие новых ПИВР, предусматривающих возможность расширения границ предельных уровней в аномально многоводные или маловодные периоды, на что указывалось специалистами Гидропроекта еще на стадии обоснования Постановления. Об этом же в 2003 г. шла речь на совещании у Председателя Правительства РФ, и в протоколе, утвержденном приказом МПР №376-р от 19.08.2003 г., значилось: "…до 1 января 2005 г. разработать правила использования водных ресурсов озера Байкал и Иркутского водохранилища, предусматривающие действия заинтересованных органов исполнительной власти по регулированию хозяйственной деятельности в условиях затяжного маловодья (многоводья) в бассейне озера, а также в сложившихся экстремальных ситуациях, связанных с этими явлениями".

Подготовка новых ПИВР неоправданно затянулась. Последний вариант правил [Проект…, 2013], доработанный в 2013 г. Московским Государственным Университетом Природообустройства, также не был принят. Поэтому дискуссия о наиболее приемлемой для Байкала амплитуде колебаний уровня и других его характеристиках, начавшаяся практически со времени подпора озера, не прекращается до сих пор. Но если раньше она в основном касалась максимальных уровней, то теперь главным является вопрос о нижнем пределе сработки водоема.

С позиций сохранения нормальных условий функционирования всех звеньев экосистемы оз. Байкал устанавливаемые параметры его водного режима должны быть как можно ближе к естественным условиям. По результатам водомерных наблюдений в период естественного режима можно сделать вывод, что максимальный уровень озера достигал отметки 456,95 м (1932 г.), а с учетом максимума, установленного по нивелировке засечки Б.И. Дыбовского на южном Байкале (1869 г.), даже 457,10 м. В соответствии с минимальным уровнем, составляющим 454,93 м (1904 г.), многолетняя амплитуда естественных колебаний уровня, таким образом, составляла 2,17 м. Внутри отдельных лет колебания были значительно меньше – от 0,48 (1903 г.) до 1,67 м (1932 г.) при среднем значении 0,83 м. С начала регулирования и до 2001 г. уровень озера изменялся фактически с тем же (2,15 м) размахом – от 455,27 (1982 г.) до 457,42 м (1988 г.). При этом внутригодовые его колебания также были близки к соответствующим значениям в естественных условиях – от 0,56 до 1,81 м. За последующий период 2001–2014 гг. фактический размах колебаний уровня составил всего 0,93 м, снижаясь внутри отдельных лет до 0,44 м.

Из этих данных видно, что до 2001 г. диапазон колебаний зарегулированных уровней Байкала фактически совпадал с соответствующим интервалом естественного периода, а в дальнейшем (после выхода Постановления) был существенно иным и,

с этих позиций, очевидно, не самым оптимальным для байкальской экосистемы.

По времени наступления сезонных экстремумов уровня следует отметить, что максимум летне-осеннего наполнения озера в естественных условиях приходился на середину сентября, а весенней сработки – на середину апреля. После зарегулирования неоднократно упоминалось о сдвиге сроков этих явлений в сторону запаздывания [Афанасьев, 1976; Атутов и др., 1999; Синюкович, 2005 и др.]. Однако в среднем эти изменения оказываются не столь велики и, возможно, обязаны не только искусственным факторам, но и изменениям климата. Средняя сдвижка сроков наибольшего наполнения озера после зарегулирования составила около 10 дней, а максимальной сработки – всего 2–3 дня. При этом их разброс во времени также изменился неодинаково. Если в годы естественного режима максимальное наполнения озера приходилось на период от 14 августа до 9 октября, то после зарегулирования – от 21 августа до 29 октября. Сроки же максимальной сработки озера изменились более значительно – от интервала 17 марта–9 мая в годы естественного режима до 12 апреля–22 мая в условиях подпора.

Что касается темпов изменения уровня в разные периоды, то средняя интенсивность его подъема в годы естественного режима составляла 5,5 мм/сут, а спада – 3,9 мм/сут [Афанасьев, 1976]. В пределах отдельных лет скорость подъема достигала 16 мм/сут, а спада – 6,1 мм/сут. За годы зарегулированного режима значения интенсивности подъема и спада уровня незначительно возросли и составляют, соответственно, 5,9 и 4,2 мм/сут, с максимумами в 1973 г. (11,2 и 8 мм/сут). Наиболее интенсивный спад уровня в среднем приходится на декабрь (6,1 мм/сут), а подъем – на июль (8,7 мм/сут). Однако максимальный месячный прирост уровня наблюдался в августе 1973 г. и составлял 17,7 мм/сут.

В результате, внутригодовые изменения уровня, осредненные за разные периоды, происходят достаточно синхронно (рис. 2), с наибольшими различиями естественных и зарегулированных уровней в зимние месяцы.

Представленные показатели уровенного режима оз. Байкал в условиях естественного режима и подпора указывают на возможности существенного перестроения практики управления использованием водных ресурсов озера в направлении большего приближения его водного режима к естественным условиям. Упомянутый же выше проект ПИВР в целом ориентирован на “удержание” уровня в диапазоне 456-457 м, хотя разработчиками признается неизбежность превышения уровня над отметкой 457 м в случаях аномально высокой водности. Расчетная отметка зеркала Байкала при пропуске половодья и паводков с объемом стока обеспеченностью 0,01% достигает в этом документе 458,02 м. Несмотря на то, что вероятность таких событий крайне невелика (1 год из 10 000 лет), модельные расчеты и для объемов стока другой обеспеченности (до 10%) подтверждают реальность выхода уровня озера за отметку 457 м.

Следует также отметить, что разработчики проекта исходят из максимального попуска воды через Иркутскую ГЭС до 6000 м^3/с, хотя такие объемы воды за всю историю существования Иркутского гидроузла не сбрасывались ни разу. Отчасти это предопределило более интенсивную застройку прибрежных территорий в нижнем бьефе Иркутской ГЭС, и на сегодняшний день, по условиям незатопления находящихся здесь объектов, максимальный расход воды р. Ангары составляет уже только 3200–3400 м^3/с [Савельев, 2000; Проект..., 2013]. Ситуация усугубляется при прохождении паводков на р. Иркут, впадающей в Ангару в пределах г. Иркутска. При суммарном расходе этих водотоков свыше 4000 м^3/с происходит затопление пойменной части р. Ангары в г. Иркутске и его пригородах [Проект..., 2013]. Следовательно, при невозможности пропуска через Иркутскую ГЭС расходов 6000 м^3/с вероятность выхода уровня оз. Байкал за отметку 457 м становится еще выше.

Ситуация со сработкой озера в апреле 2015 г. до отметки 455,86 м подтверждает проблематичность выполнения Постановления и в отношении нижних предельных отметок уровня в условиях маловодья. Все это указывает на нехватку соответствующих нормативных документов, предусматривающих действия различных ведомств в нештатных ситуациях во время аномально низких или высоких по водности периодов. Если ничего не изменится, то при повторении подобных ситуаций в будущем проблемы также будут решаться в режиме ручного управления.

Для выработки наиболее оптимального режима регулирования озера назначаемые параметры его уровенного режима должны быть ориентированы не на средние условия водности, а учитывать и экстремальные периоды, с разработанным порядком действий в конкретных ситуациях, предусматривающим наиболее оптимальные варианты выхода из них.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №14–45–04086 р_сибирь_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атутов А.А., Пронин Н.М., Тулохонов А.К. и др. Гидроэнергетика и состояние экосистемы озера Байкал. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 280 с.

Афанасьев А.Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна оз. Байкал. – Новосибирск: Наука, 1976. – 239 с.

Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Иркутское водохранилище. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 140 с.

Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского). М.: Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, 1988. – 65 с.

Постановление Правительства Российской Федерации от 26 марта 2001 года №234 "О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности".

Проект "Правил использования водных ресурсов Иркутского водохранилища и озера Байкал"., М.: 2013. – 168 с.

Савельев В.А. Современные проблемы и будущее гидроэнергетики Сибири. Новосибирск: Наука, 2000. – 200 с.

Синюкович В.Н. Реконструкция естественного уровенного режима оз. Байкал после строительства Иркутской ГЭС// Метеорология и гидрология, 2005. – №7. – С. 70–76.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF LEVEL REGIME IN LAKE BAIKAL UNDER NATURAL AND REGULATED CONDITIONS

Sinyukovich V.N.[1], Kurbatova N.N.[2]

[1] *Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, sin@lin.irk.ru*

[2] *Irkutsk Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Irkutsk, Russia*

ABSTRACT

Based on the observations of the level regime in Lake Baikal, the authors analyzed changes of the main characteristics of the lake level (amplitudes of long-term and annual oscillations, time of seasonal extremes and rates of flood and fall of water). The researchers discussed the reasons for these changes and considered the improvement of management of the lake water resources.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ГРУНТОВЫХ ВОД БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕЛИГЕР

Суслова С.Б., Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М.

Институт географии РАН, Москва

svsu@mail.ru

Обсуждаются результаты исследований, выполненных за период 2006–2015 гг., по изучению химического состава (минерализация воды, содержание фосфора и основные микроэлементы – Fe, Sr, Cu, Cr, Zn, V, Co, As и др.) озерных, речных и грунтовых вод бассейна оз. Селигер.

Внимание к оз. Селигер – второму истоку Волги и объекту наших исследований – определяется его важнейшей ролью в формировании качества речных вод Верхневолжья. Несмотря на заметное уменьшение поступлений загрязняющих веществ в озеро от промышленных предприятий и с сельскохозяйственных угодий, антропогенная нагрузка на ландшафты оз. Селигер в настоящее время существует. Основные источники воздействия – интенсивная застройка побережий частными землевладельцами и возрастающая туристическая и рекреационная деятельности. В связи с этим актуальность приобретает изучение современного состояния природных вод бассейна оз. Селигер и тенденций его изменения.

Комплексные исследования озера в начале 2000-х гг. [Леонов, Шапоренко и др., 2002; Структура…, 2004] выявили некоторое улучшение состояния его вод по ряду гидрохимических показателей (содержанию кислорода и сероводорода в воде, прозрачности и др.). Нами были продолжены гидрогеохимические мониторинговые исследования на оз. Селигер и его водосборе [Кудерина, Шилькрот, 2007; Суслова, Кудерина, 2013]. Пробы воды отбирались на Осташковском, Селижаровском плесах озера и на ключевых объектах (реки и ручьи, самоизливающиеся родники и колодцы) на водосборе Селижаровского плеса. Определялись удельная электропроводность (с пересчетом на минерализацию), pH и цветность воды, содержание фосфора минерального ($P_{мин}$) и общего, а также около 40 микроэлементов методом ICP-MS на приборе ELAN– 6100 в ЦНИГРИ.

Результаты исследований последних лет (2006-2015 гг.) подтвердили ранее полученные данные о химическом составе озерных, речных и грунтовых вод, что свидетельствует о большом постоянстве во времени основных их химических показателей. Выявилась и большая сезонная изменчивость показателей речных вод, обусловленная разным вкладом в речной сток в отдельные годы и сезоны поверхностных (часто стока с болот) и грунтовых вод (табл. 1).

Из данных таблицы 1 следует, что минерализация озерных вод незначительна и отличается постоянством во все годы и сезоны. Самыми минерализованными в бассейне Селигера являются воды родников. Минерализация речных вод типична для зоны южной тайги, соответственно, типичны для рассматриваемых вод и ее сезонные колебания с минимумом в весеннее половодье и максимумом в межень при грунтовом питании. Вместе с тем, ионный состав всех природных вод – гидрокарбонатно-кальциевый. Показатель pH вод бассейна оз. Селигер изменяется от слабокислого (весна, осень, зима) до слабощелочного (весна-лето-осень).

Исследования содержания фосфора в природных водах и водах колодцев на селитебной территории выявили постоянные значительные различия. В последних нередко наблюдаются очень высокие концентрации фосфора, что обусловливается, несомненно, антропогенным фактором. По-видимому,

Таблица 1. Показатели pH поверхностных и грунтовых вод бассейна оз. Селигер, их минерализация (М) и содержание фосфора за период 2006–2015 гг.

ОБЪЕКТ	pH	М, мг/л	P мин, мг/л
Оз. Селигер – Осташковский плес	6,0–7,6	100–110	0,008–0,046
Р. Крапивенка	6,0–8,1	50–285	0,005–0,015
Р. Лесная Крапивенка	5,6–7,5	30–220	0,002–0,043
Родник – д. Осцы	6,8–7,7	280–310	0,001–0,068
Родник – д. Рогожа	6,9–7,5	280–300	0,060–0,090
Колодцы	6,9–7,6	140–390	0,090–0,420
Колодец – д. Панюки	5,1–7,3	75–140	2,9–9,1

Таблица 2. Распределение микроэлементов в природных водах бассейна оз. Селигер

МКГ/Л	ОЗЕРО СЕЛИГЕР (N=18)	Р. КРАПИВЕНКА (n=10)	РОДНИК Д. ОСЦЫ (n=5)	КОЛОДЕЦ Д. ПАНЮКИ (n=7)	КЛАРК РЕЧНОЙ ВОДЫ (РАСТВОР. ФОРМА) (*)
>100	**Fe**	**Fe**	**Fe>Sr**	**Fe**	Al
100–10	Sr>Br>Ba>**Ti**>Al	Br> Sr> **Ti**>Al>Ba	Br> **Ti**>Ba>**Mn**	Sr>Br=Zn=Al>**Rb>Ti**	Sr>Fe>Ba>Br=Zn>
10–1	I>**Cr**>Zn=Cu>Rb> **V**>Ni	**Cr**>I>Ni>Zn>Cu> Rb>**V**	**Cr**>I>Al>Ni>Zn> Li>Rb	Ba>Cu>Ni>Mn>**Cr**> As>**V**>Li>I	Mn>Cu>Ti>Li=Ni> As=I=Rb
1–0,1	As> Li> Mn>**W**=Sb >Mo >**Sn**=Co	Li>As>Mn>U>Sb> Mo=**W>Sn**=Co=Pb	Cu=V>Mo>As>**W**>Sb> U>Co>**Sn**	Mo>Co>**W**>Sb>**Sn**	Cr=V=Sb=Pb>Mo>U> Co>Cd
0,1–0,05	U= Hg>Pb>Cd	Hg>Cd	Hg=Pb>Cd	Hg>U=Pb>Cd	Hg>Sn>W

Примечание. Жирным шрифтом выделены элементы, содержание которых превышает кларки

* Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. – М.: Недра. 1990. 335 с.

Таблица 3. Средние концентрации растворенных микроэлементов в озерной, речных и грунтовых водах в бассейне Селигера за период 2006–2013 гг. и за 2010 г.*, мкг/л

	Fe	Sr	Cr	Zn	Cu	V	Co	As	U
оз. Селигер	196/480	66,4/40,4	3,5/2,6	1,8/0,5	1,8/2,3	1,3/3,1	0,13/0,27	0,8/1,4	0,08/0,07
р. Крапивенка	471/1334	93,5/85,5	7,3/4,4	1,8/1,2	1,6/1,9	1,2/2,8	0,21/0,76	1,0/1,3	0,6/0,8
р. Сиговка	303/523	63,9/37,9	2,9/2,5	2,0/2,8	1,5/1,3	1,8/3,5	0,15/0,27	0,9/1,5	0,2/0,04
родник д. Осцы	638/1646	184,9/130,3	8,7/5,5	1,3/1,8	0,9/1,8	0,9/2,5	0,34/0,94	0,8/1,4	0,4/1,1
колодец д. Панюки	193/462	72,2/72,6	2,0/1,7	59,6/108,9	4,7/4,9	1,6/4,1	0,16/0,30	1,8/2,5	0,05/0,01

* Значения концентрации за 2010 г. приведены в знаменателе

связано это не только с загрязнением среды, но также и с активизацией в данных условиях миграции фосфора из ранее накопленных его резервов в почвах [Шилькрот, 2012].

Мониторинговые работы (2006–2013 гг.) в бассейне Селигера позволили выявить некоторые особенности микроэлементного состава его вод (табл. 2).

Анализ распределения микроэлементов, представленный в виде рядов снижения средних концентраций в сравнении с кларками речной воды, показал, что они обогащены Fe, Ti, Cr, V, W, Sn, тогда как содержание Al, Zn, Cd понижено по сравнению с кларковыми значениями. Из таблицы 2 видно, что микроэлементный состав озерных и речных вод очень близок, за исключением U и Pb, содержание которых в водах р. Крапивенки несколько выше. Воды родников наиболее обогащены Fe, Sr, Cr и Co, повышенным относительно поверхностных вод и кларка является содержание в них Mn, а концентрации Cu, V и Zn минимальны. Колодезные воды выделяются среди других объектов максимальным содержанием Zn, Rb, Cu, As и относительно малыми количествами Cr, Fe, U (табл. 3).

Для сравнения выбран 2010 год, когда на европейской части России была аномально жаркая погода. Видно, что концентрации большинства элементов (Fe, Cu, V, Co, As, U и др.) в этот год заметно возросли, особенно Fe, V и Co (в 2-3 раза), в то время как Sr и Cr уменьшились. Увеличение концентраций элементов в природных водах в летнюю межень со значительным ростом в них Fe и Mn, очевидно, обусловлено высокой долей болотных вод в питании водотоков исследуемого региона [Структура…, 2004; Григорьева, Комиссаров, 2014].

Межгодовая динамика микроэлементного состава вод бассейна Селигера не имеет четко выраженного характера. При этом анализ сезонной дифференциации микроэлементов в водах показал, что элементный состав грунтовых вод стабилен в течение года, тогда как в поверхностных озерных и речных водах в зимнюю межень возрастают концентрации Sr, Al, Ti, Ba, Zn, Cu,W, а летом – Fe, V, Co, Ni, Pb.

По сравнению с началом 2000-х гг. [Леонов, Шапоренко и др., 2002; Структура…, 2004] в поверхностных водах заметно снизилось содержание Pb, Mn, Ni, Cd и, как правило, оно не превышает ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения. В то же время, концентрации Fe, Cu, V, Cr, As, Co постоянно высокие (табл. 3, рис. 1).

Результаты исследований химического состава озерных, речных и грунтовых вод бассейна Селигера позволили выявить постоянство многих их химических показателей. Для речных вод обнаружена значительная сезонная изменчивость гидро- и геохимических свойств, обусловленная условиями питания – либо поверхностным стоком с болот, либо

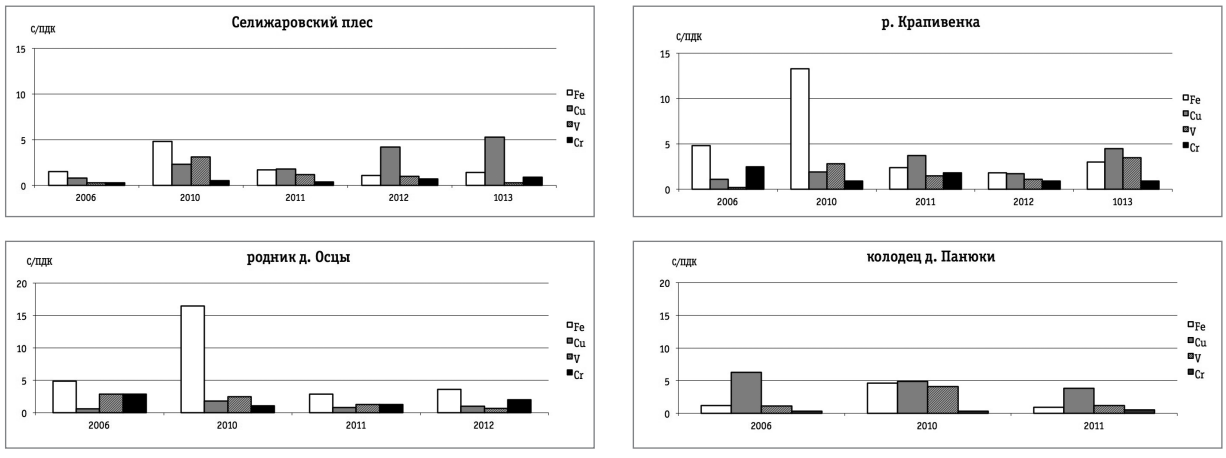


Рис. 1. Содержание Fe, Cu, V, Cr в озерных, речных и грунтовых водах бассейна Селигера (в долях от ПДК$_{р/х}$).

грунтовыми водами. Последние характеризуются самой высокой минерализацией и обогащены многими микроэлементами (Fe, Mn, Ti, Cr, V, W, Sn и др.). Грунтовые воды колодцев селитебных территорий отличаются высокими концентрациями минерального фосфора и Zn. Выявленные особенности химического состава грунтовых вод имеют большое значение в формировании качества речных и озерных вод бассейна Селигера.

Работа выполнена по Программе Президиума РАН №4 и Проекту 3.2 Направления 3 Программы Президиума РАН №I.18П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. Сравнительная гидрохимическая оценка современного состояния некоторых водных объектов верхней Волги // Водные ресурсы, 2014. – №3. –С. 269–283.

Кудерина Т.М., Шилькрот Г.С. Мониторинг состояния озера Селигер в новых условиях природопользования. – Теория и практика восстановления внутренних водоемов // Сб. трудов междун. науч.-практ. конф. 15–18 окт. 2007 г. – СПб.: ЛЕМА. 2007. – С. 224–230.

Леонов А.В., Шапоренко С.И., Шилькрот Г.С., Ясинский С.В. Геоэкологическая характеристика оз. Селигер // Водные ресурсы, 2002. – №2. – С. 152–167.

Структура и функционирование геосистемы озера Селигер в современных условиях. – СПб.: Наука, 2004. – 253 с.

Суслова С.Б., Кудерина Т.М. Геохимия природных ландшафтов Селижаровского плеса озера Селигер // Геоэкологические проблемы современности. Доклады V Межд. науч. конф. – Владимир, 2013. –С. 191–194.

Шилькрот Г.С. Миграция фосфора в системе почва – грунтовые воды в сельских ландшафтах лесной зоны. – Геохимия ландшафтов и география почв (К 100-летию М.А. Глазовской) //Сб. докладов Всерос. науч. конф. 4-6 апреля 2012 г. Москва. – М.: Изд.-во геогр. ф-та МГУ, 2012. – С. 363–365.

THE MULTIANNUAL DYNAMIC OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE AND GROUND WATERS IN THE BASIN OF THE LAKE SELIGER

Suslova S.B., Shilkrot G.S., Kuderina T.M.

Institute of geography RAS, Moscow, svsu@mail.ru

ABSTRACT

The results of investigation (during period of 2006-2015) of chemical composition (mineralization of water, content of phosphorus and microelements – Fe, Sr, Cu, Cr, Zn, V, Co, As, etc.) of surface water and groundwater in the Lake Seliger catchment is discussed.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОСБОРА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СЪЁМОК И ТЕСТОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Уличев В.И.[1], Чичкова Е.Ф.[2], Дудаков М.О.[1]

[1] Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург

[2] ЦНИИ Робототехники и технической кибернетики, г. Санкт-Петербург

ulich@inbox.ru, chichkova@rtc.ru, mike814@ya.ru

Представлена методика оценки экологического состояния водосбора Ладожского озера на основе дистанционного контроля территории по космической съемке и по данным БПЛА, проведенного в 2014 году.

Ладожское озеро – крупнейший пресный водоем Европы и безальтернативный источник водоснабжения Санкт-Петербурга [Румянцев и др., 2015] и ряда городов и населенных пунктов Ленинградской области и Республики Карелия. Качество воды в Ладожском озере в значительной мере определяется негативными антропогенными процессами на водосборе озера [Ладожское озеро. Атлас.., 2002, Ладога…, 2013]. Значительную роль в них занимают заброшенные полигоны отходов предприятий оборонной промышленности и навозохранилища, а также несанкционированные свалки бытовых отходов. Последние часто содержат строительные красители, относящиеся к стойким органическим загрязнителям и представляющие огромную угрозу для здоровья людей. Во время дождей и снеготаяния хранящиеся на полигонах и свалках опасные химические загрязнения по водотокам поступают в Ладогу и воздействуют на экосистему озера. Выявление заброшенных полигонов и несанкционированных свалок на практике представляет

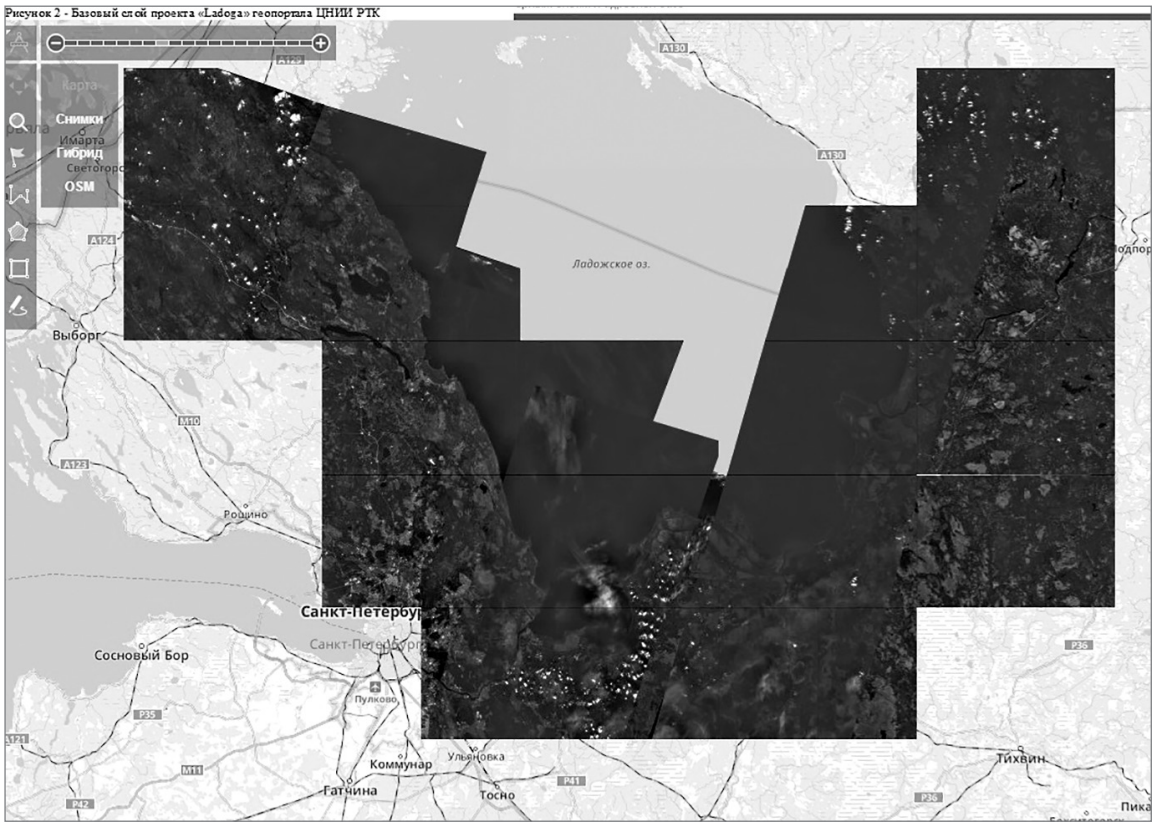


Рис. 1. Векторный слой проекта “Ladoga” геопортала ЦНИИ РТК GeoMixer

серьезную проблему. Для ее решения весьма перспективным представляется использование методов дистанционного зондирования Земли.

Для проведения экологического контроля по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) Институтом озероведения РАН и ЦНИИ РТК была проведена установочная методическая работа в 2014 г. При разработке методики поиска и выявления несанкционированных свалок по космической информации проводилась верификация полученных данных с помощью квадрокоптера БПЛА "DJI Phantom 2".

Для создания электронной карты, нанесения векторных слоев и размещения фотоматериалов экспедиционных съемок с квадрокоптера использовалась технология Scanex GeoMixer. В геопортале ЦНИИ РТК GeoMixer был создан проект "Ladoga" в виде векторного слоя, который приводится на рисунке 1. В качестве базовых слоев проекта "Ladoga" использовались мозаики космических снимков со спутника RapidEye за июль-август 2012 и 2013 года из базы данных ЦНИИ РТК. Файл снимка в формате NITF, помимо изображений, содержит также метаданные, характеризующие условия съемки и параметры для выполнения географической привязки.

Обработка космических снимков заключалась в следующем:

1) Объединение изображений нескольких каналов в единый снимок.
2) Предварительная радиометрическая коррекция для выравнивания яркостей снимков и преобразования их к 8-битному диапазону, применяемому для отображения в геопортале.
3) Географическая привязка снимков.
4) Создание мозаики из снимков.

При анализе использовались данные 6,5 метрового разрешения. Свалки бытового мусора за счёт содержания в них материалов с высокими коэффициентами отражения (бумага, пластик, битое стекло) дают резкое повышение яркости на космических снимках в видимом диапазоне спектра. Как правило, свалки расположены вдоль линейных объектов (автомобильных и железных дорог) с ведущими к ним тропами через лес или через густо произрастающие деревья. Признаком для обнаружения свалок на снимках высокого разрешения служит также зернистая текстура, образующаяся за счет неровностей поверхности свалок. Засыхание деревьев в результате попадания, например, ядов от мусора в почву также является прямым признаком наличия свалки. Всего при анализе космической съемки было обнаружено 15 предполагаемых объектов свалок (мест экологической опасности для Ладожского озера). Векторный слой возможного расположения свалок в GeoMixer содержит их предполагаемые координаты.

Следующим этапом исследований было проведение полевых выездов с целью оптимизации методики обнаружения свалок опасных отходов в тестовых береговых зонах Ладожского озера по данным космической информации с заданными координатами и их верификации. По прибытии в район исследований с указанными координатами, проводилась наземная фотосъёмка. Также осуществлялся запуск беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 2 с подвешенной камерой высокого разрешения GoPro 3, способной выполнять видеозаписи с высоты 100–1200 м. Это позволило нам расширить рекогносцировку местности и зафиксировать объекты или явления, ранее недоступные. Из 15 предполагаемых объектов по данным космических снимков были обнаружены 4 несанкционированные свалки ТБО. В процессе обследования тестовых участков по указанным координатам помимо самих полигонов (свалок) удалось обнаружить загрязнённые и сильно эвтрофированные прибрежные воды Ладожского озера в соответствии с [Антропогенное эвтрофирование…, 1982].

Во время проведения маршрутной съемки по указанным координатам выяснилось, что не все тестовые участки соответствовали критериям поиска. На месте обозначенных "свалок" оказывались другие объекты, например, заросший луг и объекты хозяйственного назначения, гранитный карьер, в соответствии с рисунками. Для более точного определения координат и идентификации свалок опасных отходов необходимо детально улучшить методику дешифрирования космических снимков.

При обследовании тестовых участков по заданным координатам обнаружены также места возможного несанкционированного дампинга. В Приозерском районе на водосборе в черте интенсивного дачного строительства были выявлены такие участки. Например, в районе посёлка Денисово формируется несанкционированный полигон на вырубленном участке леса. В том же квадрате обследования недалеко от п. Пятиречье в лесной полосе также выявлено начало образования свалки ТБО.

Вдоль Мурманского шоссе у реки Назия (п. Приладожский) расположен пустырь, при его посещении обнаружены песчаные отвалы. С помощью квадрокоптера выявлены затопленные низины (со стоячей водой и едким запахом). Самый крупный по площади затопленный участок (с масляной плёнкой и едким запахом) расположен непосредственно возле русла реки Назия, которая впадает в Ладожское озеро. Обнаруженные участки со стоячей грязной водой находятся выше уровня поймы реки.

Можно предположить, что во время, снеготаяния или активного выпадения осадков грязная вода из затопленных низин попадает в реку Назия.

На следующем этапе работы предстояло разместить фотоматериалы, полученные в результате маршрутных аэрофотосъемок с помощью БПЛА вблизи берегов Ладожского озера, в геопортале ЦНИИ РТК GeoMixer “Ladoga”. GeoMixer не позволяет хранить графические файлы непосредственно в атрибутах векторного слоя. Поэтому с целью хранения графических файлов для их последующего использования в геопортальных проектах был создан хостинг хранения данных ЦНИИ РТК. Постановка координат для опорных точек осуществлялась в проекции Pulkovo-1942, имеющей минимальные искажения для Ленинградской области. В качестве выходной проекции была выбрана географическая, как более распространенная и унифицированная. Результирующий геопривязанный растр в формате IMG или GeoTIFF размещался в геопортале отдельным слоем данных.

Полученные результаты проведённых исследований могут являться основой для планирования системы мониторинга Ладожского озера и также необходимы для принятия решений в области природоохранных мер Ладожского озера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. – Л.: Наука, 1982. – 304 с.

Ладога. – СПб.: Нестор-История, 2013. – 468 с.

Ладожское озеро. Атлас. СПб.: Изд-во Института озероведения РАН, 2002. – 129 с.

Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Чичкова Е.Ф., Уличев В.И. Основы методики контроля над объектами накопленного экологического ущерба // Перспективные направления развития науки в Петербурге. – СПб.: Санкт-Петербургский научный центр РАН, 2015. – С. 253–265.

METHODS OF ASSESSING THE ECOLOGICAL STATUS OF THE LAKE LADOGA CATCHMENT BASING ON SATELLITE IMAGERY AND TEST OBSERVATIONS USING UNMANNED AERIAL VEHICLE

Ulichev V.I.[1], Chichkova E.F.[2], Dudakov M.O.[1]

[1] Institute of Limnology RAS, St-Petersburg, Russia

[2] Central Research Institute of Robotics and Technical Cybernetics, St-Petersburg, Russia

ulich@inbox.ru, chichkova@rtc.ru, mike814@ya.ru

ABSTRACT

The method for the estimation the ecological status of the lake Ladoga catchment basing on the remote monitoring of the territory by on-site imagery and unmanned aerial vehicles data held in 2014 is presented.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРМОГИДРОДИНАМИКИ И ЭКОСИСТЕМ КРУПНЫХ ОЗЁР

Филатов Н.Н.[1], Меншуткин В.В.[2]

[1] Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

[2] Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН, Санкт-Петербург

nfilatov@rambler.ru

Рассматриваются современные проблемы исследования термогидродинамических процессов и водных экосистем крупных озёр и совершенствования получения новых экспериментальных данных и моделей экосистем озёр.

В настоящем докладе дается обзор выполненных исследований изменчивости гидрологического режима, экосистем крупных озёр по работам [Меншуткин, Руховец, Филатов, 2014; Руховец, Филатов, 2014; Rukhovets, Filatov, 2010], а также приводятся новые сведения об актуальных проблемах математического моделирования и экспериментальных исследований термогидродинамики и экосистем для решения задач рационального использования и сохранения водных ресурсов озёр.

Натурные экспериментальные исследования возможны только в отношении ограниченного числа характеристик системы, т.е. экосистема в натурных условиях не является полностью наблюдаемой системой, в то время как математическому моделированию в принципе доступны все элементы экосистемы озёр [Меншуткин, 2010]. До сих пор по данным натурных измерений остается почти не изученным зимний режим крупных озёр. Значительный интерес вызывают проблемы изучения реакции озёрных экосистем на глобальное потепление, понимание роли озёр с ледовым покровом в выбросах парниковых газов в глобальном углеродном балансе. Таким образом, процессы подо льдом крупных озёр мира по-прежнему остаются “белым пятном” в современной лимнологии, и только в последние годы начали проводиться комплексные мультидисциплинарные исследования подо льдом крупных озёр [Филатов, Тержевик, 2015; MacKay et al., 2011; Oveisy et al., 2012].

Среди других проблем получения экспериментальных данных можно отметить следующие: при расчете среднегодовых характеристик ограничиваются использованием средних значений; экстраполируются данные, полученные при ограниченном комплексе условий; не ясна роль таких элементов озёрной экологической системы, как инвазивные виды, простейшие и водные грибы, методика определения эколого-физиологических характеристик которых для включения их в модель экологической системы еще слабо разработана [Петрова и др. 2010; Ладога, 2013]. Экспериментальное определение конкретных значений идентифицируемых параметров модели для водоема бывает затруднительно, и приходится, в лучшем случае, довольствоваться калибровкой моделей [Руховец и др. 2011].

Многие процессы и явления живой природы описываются дифференциальными уравнениями, которые основаны не на физических законах и не на уравнениях химических реакций, и не могут быть воспроизведены точно на языке химических реакций [Меншуткин, 2010]. Основу уравнений экологических моделей озёрных систем составляют различные эмпирические закономерности, установленные в процессе изучения и обработки результатов наблюдений, и содержащие в изобилии эмпирические зависимости и параметры [Алимов,2001]. Константы или коэффициенты в этих закономерностях не являются универсальными, в отличие от физических законов. Именно это является одной из значимых причин, затрудняющих создание универсальных моделей водных экосистем.

При конструировании экологических моделей озёр, как отмечается в [Меншуткин и др., 2014], самым важным является наличие качественных исходных данных, а стремление к возможно большей детализации должно быть уравновешено пониманием того, что резкий рост числа переменных в модели, как правило, не улучшает модель, а самое важное – при создании модели экосистемы необходимо опираться на выполнение законов сохранения вещества и энергии в водной экосистеме.

Практика применения моделей для Ладожского и Онежского озёр показала, что для калибровки

и верификации моделей полезным является создание таблиц феноменологии процессов и явлений в озёрах, полученных по данным многолетних исследований, например о времени начала формирования и окончания разрушения термобара, термоклина, становления и разрушения ледяного покрова и др., полученных по данным наблюдений [Руховец, Филатов, 2014].

Моделирование течений и термического режима водоема всегда, явно или неявно, предполагает, что исследователи ставят перед собой задачу воспроизведения явлений того или иного пространственного и временно́го масштабов, выбор которых зависит от целей исследований, уровня знаний об интересующих объектах и от того, какими вычислительными возможностями обладают исследователи. При моделировании поля температуры и скоростей течений озёр сезонного и климатического масштабов расчеты сводятся к построению периодического решения, для чего требуется проводить вычисления для значительного периода времени, кратного времени условного водообмена озера, которое для Ладожского и Онежского озёр равняется 12–14 годам. В этом случае расчеты выполняют до тех пор, пока озеро "не забудет" начальные условия, и его циркуляция и температурный режим не станут определяться текущими внешними воздействиями. Для дискретных моделей необходим выбор правильного воспроизведения основных качественных и количественных свойств моделей, с чем связан выбор разрешения сетки для проведения расчетов и, соответственно, выбор мощности вычислительной системы. В настоящее время для этого используются вычислительные кластеры. Дискретные модели экосистем больших стратифицированных озёр должны быть согласованы с дискретными моделями гидротермодинамики озёр в том смысле, что конструкции моделей экосистем должны обеспечивать выполнение законов сохранения вещества, если нет источников и стоков, и законов изменения, если есть обмен веществом на границах водоема [Меншуткин и др., 2013, 2014]. Возможные пути дальнейшего развития математического моделирования озёрных экосистем формулируются следующим образом:

1. Совершенствование "традиционных" моделей зависит от развития знаний об озёрной биоте, в особенности для зимних условий.
2. Для повышения точности и эффективности используемых вычислительных методов необходимо использовать более подробные сетки с расчетами на вычислительных кластерах.
3. Применение т.н. адаптационных моделей, структура которых может меняться под влиянием изменения внешних воздействий, что позволяет выполнять прогностические расчеты динамики экосистем при изменяющихся внешних воздействиях.
4. Внедрение синтеза "традиционного" и "нетрадиционных" (когнитивные, нечеткие множества и др.) подходов к созданию моделей [Ibelings et al., 2010; Mooij et. al., 2010], которые могут стать инструментом как для определения состава основных компонентов экосистемы, так и для заполнения "дыр" в знаниях.
5. Автоматизация построения моделей водных экосистем на основе использования баз знаний (библиотеки знаний) о хорошо известных моделях и данных измерений характеристик наблюдаемого водного объекта [Atanasova et al., 2004]. Внедрение т.н. процесс-ориентированных моделей [Omstedt, 2010].

Одной из важнейших задач сохранения водных ресурсов является создание интегрированных систем управления водопользованием, обеспечивающих информационную поддержку органов природоохраны [Данилов-Данильян, Хранович, 2010; Руховец, Филатов, 2014]. Задача управления экосистемой крупных озёр, таких как Великие американские озёра, Байкал, Ладожское, Онежское, при современном состоянии знаний об этих объектах управления и, особенно, об их реакциях на внешние воздействия, еще далека от своего практического воплощения [Зилов, 2006; Ладога, 2013; Jorgensen, 2008; MacKay et. al., 2009]. Без надежного мониторинга, натурных экспериментов никакая, даже самая лучшая теория, не способна обеспечить работоспособные рекомендации по управлению данной озёрной экосистемой, но и без проверенной и хорошо обоснованной теории самые тщательные и подробные измерения параметров экосистемы, в лучшем случае, приведут к необходимости использования модели типа "черного ящика", а это, как показывает опыт, далеко не всегда приводит к успеху.

Успех оптимального управления экосистемой определяется степенью адекватности применяемой модели экосистемы самому управляемому объекту. Любые построения типа "игры с природой" могут оказаться бесполезными в случае применения слишком упрощенной модели или не учитывающей существенных свойств объекта. Для водных экологических систем это особенно важно, поскольку эти системы склонны к адаптационным изменениям, которые приводят их в состояния, которые никогда до этого не наблюдались.

Как показал опыт, даже прогнозирование внутривековых колебаний уровня и других элементов

гидрологического режима крупных водных объектов (Каспийское море, оз. Байкал, оз. Ладожское, оз. Онежское) оказалось далеко не тривиальной задачей (Филатов и др. 2015), и поэтому решение задачи необходимо выполнять в рамках совместного анализа уравнения водного баланса водоема и уравнения баланса влаги региона, включающего конкретный водоем и его бассейн, а также путем проведения экспериментов с помощью МОЦАО, разработанной в ИВМ РАН [Володин и др. 2013], с целью исследования влияния Атлантического океана на формирование климатической изменчивости озёр Европейской части России. Такой подход позволяет дать физически полное объяснение изменения уровня крупных озёр, включая Каспийское море, Ладожское, Онежское и Байкал и, следовательно, сформировать его прогноз. Подобные расчеты, выполняемые в настоящее время коллективом исследователей ИВПС КарНЦ, ИВП и ИВМ РАН в рамках проекта РНФ №14-17-00740, являются основой для совершенствования абиотического блока моделей экосистем крупных озёр при прогнозировании их динамики.

При этом даже наиболее совершенные в настоящее время модели экосистем, разработанные в СПб ЭМИ РАН для Ладожского и Онежского озёр, требуют совершенствования. В, частности, в этих моделях [Меншуткин и др. 2014] недостаточно развит атмосферный блок, плохо описан ледовый покров, задано недостаточное разрешение (2 км) горизонтальной сетки для численного моделирования. Поэтому в рамках указанного проекта РНФ внедряется трехмерная модель термогидродинамики озёр, ранее разработанная для Каспийского моря в ИВМ РАН [Ибраев, 2008], с заданием атмосферных воздействий из нескольких моделей реанализа, разрабатывается более совершенный блок для описания ледового покрова, существенно уменьшена сеточная область для численных экспериментов, которые проводятся на вычислительных кластерах, что позволит более корректно описать термогидродинамические процессы в озёрах, такие как апвеллинги, фронтальные зоны, термобар, а также процессы в прибрежной зоне озёр.

Работа выполнена по гранту РНФ №14-17-00740.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб: Наука, 2000. – 147 с.

Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В. Модель земной системы INMCM4: воспроизведение и прогноз климатических изменений в 19-21 веках //Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2013. – Т. 49. – №4. – С. 379–400.

Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. – М: Научный мир, 2010. – 232 с.

Зилов Е.А. Математическое моделирование экосистемы озера Байкал: вчера, сегодня, завтра // Известия Самарского НЦ РАН, 2006. – Т.8. – С. 58–64.

Ладога / Под. ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. – СПб.:Нестор-История, 2013. – 468 с.

Ибраев Р.А. Математическое моделирование термогидродинамических процессов в Каспийском море. – Москва, ГЕОС, 2008. – 130 с.

Меншуткин В.В. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). – Петрозаводск – СПб., 2010. – 419 с.

Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Моделирование экосистем пресноводных озёр (обзор). 2. Модели экосистем пресноводных озёр //Водные ресурсы, 2014. – Т. 41. – №1. – С. 24-38.

Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Озёра и климат: модели и методы. – В кн. Модели и методы в проблеме взаимодействия атмосферы и гидросферы: учебное пособие / под ред. В.П. Дымникова, В.Н. Лыкосова, Е.П. Гордова. – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2014. – Гл.10. – С. 256–326.

Меншуткин В.В., Л.А. Руховец, Н.Н. Филатов. Состояние и перспективы развития моделирования экосистем пресноводных их использование моделей для решения задач сохранения их водных ресурсов. – СПб.: Нестор-История, 2014 г. – СПб.: 118 с.

Петрова Н.А., Петрова Т.Н., Сусарева О.М., Иофина И.В. Особенности эволюции экосистемы Ладожского озера под влиянием антропогенного эвтрофирования // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, №5. С.580–590.

Руховец Л.А., Петрова Н.А., Меншуткин В.В., Астраханцев Г.П., Минина Т.Р., Полосков В.Н. Петрова Т.Н., Сусарева О.М. Исследование реакции экосистемы Ладожского озера на снижение фосфорной нагрузки // Водные ресурсы, 2011. – Т. 38. – №6. – С. 740–752.

Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю. Совместный Российско-Швейцарский проект по исследованию зимнего режима Ладожского и Онежского озёр. //Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Серия Лимнология, 2015. – №5. – 5 с.

Филатов Н.Н., Выручалкина Т.Ю., Дианский Н.А. Назарова Л.Е.., Синюкович В.Н. Внутривековая изменчивость уровня крупнейших озёр России// Доклады Академии наук, 2015. (в печати).

Atanasova, N., Todorovski, L., Džeroski, S., and *Kompare, B.* Building a domain library for knowledge based approach to automated modeling of lakes// Proceeding of European Conference on Ecological Modelling. Bled., 2004. – P.17–18.

Golosov S., A. Terzhevik, I. Zverev, G. Kirillin and *C. Engelhardt.* Climate change impact on thermal and oxygen regime of Shallow lakes // Tellus, 2012. – Vol. 64. – P. 1–11.

Ibelings B.W., Vonk M., Los F.J., Van Der Molen D.T., Mooij W.M. Fuzzy modeling of cyanobacterial surface wa-

terblooms, validation with 12 years of NOAA-AVHRR satellite images // Ecological Applications, 2003. – №13. – P. 1456–1472.

Jorgensen S.E. Overview of the model types available for development of ecological models // Ecol. Mod., 2008. – V. 215. – P. 3–9.

MacKay M.D., P.J. Neale, C.D. Arp. Modeling lakes and reservoirs in the climate system. //Limnol. Oceanogr., 2009. – 54(6, part 2). – P. 2315–2329.

Mooij W.M., Trolle D., Jeppesen E, Arhonditsis G., Belolipetsky P.V., Chitamwebwa D.B.R., Degermendzhy A.G., DeAngelis D.L., De Senerpont Domis L.N., Downing A.S., Elliott J.A., Fragoso Jr. C.R., Gaedke U., Genova S.N., Gulati R.D., Hakanson L., Hamilton D.P., Hipsey, M.R., Hoen, J., Hulsmann S., Los F.H., Makler-Pick V., Petzoldt T., Prokopkin I.G., Rinke K., Schep S.A., Tominaga K., Van Dam, A.A., Van Nes E.H., Wells S.A., Janse J.H. Challenges and opportunities for integrating lake ecosystem modeling approach // Aquatic Ecology. 2010. 44 (3). P. 633–667.

Omstedt A. Process oriented numerical modeling in lakes, coastal seas and oceans. Univ. Gotheborg. http://www-oceanclimate/PROBE_0_Part1.pdf., Part 2, Part 3. 2008.

Oveisy A., Boegman L. and *Imberger J.* Three-dimensional simulation of lake and ice dynamics during winter // Limnology and Oceanography, 2012. – V.57. – №1, – P. 43–57.

Rukhovets L., Filatov N. (Eds.) Ladoga and Onego – Great European Lakes. Observation and Modeling. Springer Praxis, 2010. – 302 p.

CURRENT PROBLEMS OF MODELING AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF LARGE LAKES' THERMOHYDRODYNAMICS AND ECOSYSTEMS

Filatov N. N.[1], Menshutkin V.V.[2]

[1] *Northern Water Problems Institute, KRC RAS, Petrozavodsk, Russia, nfilatov@rambler.ru*

[2] *St.Petersburg Institute economy and mathematics, RAS, St.Petersburg, Russia*

ABSTRACT

Current problems of investigating large lakes' thermohydrodynamic processes and aquatic ecosystems and improvement of obtaining new experimental data base and data knowledge as well as developing models for lake ecosystems are considered.

ИНВАЗИИ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА Р. ОБЬ

Яныгина Л.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

zoo@iwep.ru

Вселение чужеродных видов в водные экосистемы в последние десятилетия стало одним из наиболее значимых факторов антропогенного преобразования среды. Особенно подвержены инвазиям эволюционно молодые экосистемы, к которым относятся и водохранилища. Рассмотрены основные пути вселения чужеродных видов в крупные водохранилища бассейна р. Обь: Новосибирское и Бухтарминское. Отмечена ведущая роль промышленного рыбоводства в распространении чужеродных видов в бассейне р. Обь. Проанализировано влияние чужеродных видов на формирование донных сообществ.

Строительство водохранилищ на крупнейшей реке России – р. Обь (Новосибирское водохранилище) и ее главном притоке – р. Иртыш (Бухтарминское водохранилище) привело к существенным изменениям условий существования гидробионтов на зарегулированных участках, замене реофильных элементов фауны лимнофильными, структурным перестройкам зооценозов [Баженова и др., 2009; Яныгина, 2011]. Последующее проведение рыбоводных мероприятий на этих водохранилищах, включающее в том числе и вселение новых видов макробеспозвоночных с целью повышения кормовой базы рыб, а также массовые непреднамеренные интродукции гидробионтов, привели к дальнейшим изменениям состава и структуры биоценозов, в том числе и донных сообществ.

Цель работы: выявление особенностей структурных перестроек донных сообществ крупных водохранилищ бассейна р. Обь после вселения в них чужеродных видов макробеспозвоночных.

Таблица 1. Чужеродные виды зообентоса крупных водохранилищ бассейна р. Обь

ТАКСОН	ЕСТЕСТВЕННЫЙ АРЕАЛ	ВОДОХРАНИЛИЩЕ	ДАТА ВСЕЛЕНИЯ/ ОБНАРУЖЕНИЯ
Тип **Arthropoda** класс **Crustacea**			
Gmelinoides fasciatus (Stebbing)	Оз. Байкал	Бухтарминское	1967
		Новосибирское	1964–1980
Micruropus possolskii Sowinsky	Оз. Байкал	Новосибирское	1964–1980
		Бухтарминское	1967
M. kluki (Dybowsky)	Оз. Байкал	Бухтарминское	2006
Mysis relicta Loven,	Север Евразии	Бухтарминское	1973
Neomysis intermedia (Czerniavsky)	Побережье Тихого океана	Новосибирское	1971–1980
Paramysis intermedia Czernjavsky	Понто-Каспийский	Бухтарминское	1966
P. lacustris (Czerniavsky)	Понто-Каспийский	Бухтарминское	1966
Pallaseopsis quadrispinosa (Sars)	Европа	Бухтарминское	1969
Astacus leptodactylus Eschscholtz	Европа	Бухтарминское	2000
		Новосибирское	1990-ые
Тип **Mollusca** класс **Gastropoda**			
Unio pictorum (Linnaeus)	Европа	Бухтарминское	1997
Viviparus viviparus (Linnaeus)	Европа	Новосибирское	1990-ые
		Бухтарминское	1994
Lithoglyphus naticoides (C.Pfeiffer)	Понто-Аральский	Бухтарминское	1998
Borysthenia naticina (Menke)	Европа	Бухтарминское	2009

Примечание: при составлении таблицы использованы данные [Визер, 2006; Баженова и др., 2009; Yanygina, Vinarski, 2010]

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЧУЖЕРОДНОЙ ФАУНЫ

В крупных водохранилищах бассейна р. Обь (Новосибирском и Бухтарминском) отмечено 13 чужеродных видов макробеспозвоночных, большинство из которых (9 видов) относится к ракообразным (табл. 1).

Видовое богатство чужеродных видов Новосибирского водохранилища составляет около 3% от общего видового списка макробеспозвоночных, в Бухтарминском водохранилище – около 4% и приближается по этому показателю к такому признанному "центру ксеноразнообразия" как Финский залив Балтийского моря [Orlova et al., 2006].

Для рассматриваемых водохранилищ отмечена высокая доля непреднамеренных вселенцев – появление почти половины новых видов не предусматривалось планомерными интродукционными мероприятиями. При этом среди чужеродных видов ракообразных около 80% видов вселялись в водохранилища преднамеренно, в то время как появление всех видов моллюсков является результатом непреднамеренных интродукций.

Среди вселенцев преобладали виды европейского происхождения (38% видов), ниже доля байкальского (23%) и понтокаспийского (15%) комплексов. Высокая доля видов европейского комплекса связана преимущественно с непреднамеренной интродукцией моллюсков в водохранилища и отражает исторические тенденции формирования фауны моллюсков региона. На протяжении длительного исторического периода (со второй половины олигоцена) фауна моллюсков Сибири формировалась под влиянием североевропейского и Южно-Уральского коридоров [Долгин, 2005; Красногорова, 2011]. Эти факторы, а также сходство климатических, географических и экологических условий Западной Сибири с Европой предопределяет преобладание европейской фауны моллюсков на большей части территории Западной Сибири [Старобогатов, 1970]. Вероятно, проникновение европейских видов моллюсков в водохранилища бассейна р. Обь при участии человека ускоряет эволюционно обусловленные тенденции формирования фауны моллюсков этого региона.

СКОРОСТЬ ИНВАЗИЙ

Несмотря на значительную удаленность друг от друга и расположение на разных реках, тенденции изменения скорости инвазий, отмеченные в Новосибирском и Бухтарминском водохранилищах, были схожими (рис. 1). В этих водохранилищах, созданных в конце 1950-х – начале 1960-х, в первые годы после образования проводились рыбоводные мероприятия, включавшие как вселение новых видов рыб преимущественно европейского комплекса, так и кормовых организмов – макробеспозвоночных европейского, понто-каспийского, байкальского и дальневосточного комплексов. Интродукционные мероприятия, в результате которых в Новосибирском водохранилище натурализовалось 3 новых вида макробеспозвоночных, а в Бухтарминском – 6 видов, были закончены к концу 1970-х [Визер, 2006; Баженова и др., 2009]. В последующие два десятилетия в этих водоемах не отмечали новых видов макробеспозвоночных, и только в начале 1990-х было зарегистрировано появление моллюсков европейского комплекса *Viviparus viviparus* в Новосибирском и Бухтарминском водохранилищах. В 1997 г. в Бухтарминском водохранилище началось расселение *Unio pictorum*, в 1998 – *Lithoglyphus naticoides* [Баженова и др., 2009]. В последующие годы эти виды вошли в комплекс доминирующих видов различных участков этих водохранилищ [Баженова и др., 2009; Яныгина, 2011].

Для оценки интенсивности инвазионного процесса в различные периоды эксплуатации водохранилищ была рассчитана скорость инвазии – среднее из числа зарегистрированных натурализовавшихся чужеродных видов за каждое десятилетие. Максимальная скорость инвазий (0,7 видов в год для Бухтарминского водохранилища и 0,3 – для Новосибирского) отмечена на начальном периоде существования водоемов и связана с проведением преднамеренных интродукций кормовых организмов. Увеличение скорости инвазий в 1990-е годы связано с обнаружением в этот период непреднамеренно интродуцированных видов, занесенных в водоемы с рыбопосадочным материалом и кормовыми организмами. Значительный временной период между окончанием интродукционных мероприятий и первыми обнаружениями непреднамеренных вселенцев,

Рис. 1. Скорость инвазий (число видов в год) в водохранилища бассейна р. Обь

составляющий для некоторых видов до 40 лет, ставит задачу организации долговременного мониторинга биологических инвазий водоемов, используемых для промышленного рыбоводства.

ОЦЕНКА РОЛИ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Влияние вселенцев оценивали по методике определения уровня биологического загрязнения, связанного с вселением чужеродных видов [Яныгина, 2014]. В соответствии с этой методикой для оценки роли вселенцев в донных сообществах использовали следующие показатели: доля чужеродных видов от общего количества видов; встречаемость чужеродных видов; доля численности вселенцев от общей численности сообщества; доля биомассы вселенцев от общей биомассы сообщества и изменение среды обитания гидробионтов в результате вселения чужеродных видов.

Доля чужеродных видов в общем видовом богатстве донных сообществ сравнительно невелика и составила около 3% для Новосибирского водохранилища и около 4% – для Бухтарминского. Существенно выше этот показатель в европейских водохранилищах, например, в Куйбышевском водохранилище – 21% [Курина, 2014], что связано с расселением чужеродных видов не только при рыбоводных мероприятиях, но и с использованием судоходных каналов, а также путем переноса с балластными водами. При этом в крупных водохранилищах бассейна Оби не отмечено снижения видового богатства аборигенных видов в результате интродукций.

Несмотря на невысокое видовое богатство, чужеродные виды успешно освоили различные участки водохранилищ и входили в состав наиболее часто встречающихся видов как в Бухтарминском, так и в Новосибирском водохранилище. В Бухтарминском водохранилище в последние годы наиболее часто встречаются понтокаспийские мизиды (*Paramysis lacustris* 38–75% проб на различных участках водохранилища, *P. intermedia* 25–50%) и байкальские гаммарусы (*G. fasciatus* 17–42%) [Девятков, 2014]. В средней части Новосибирского водохранилища максимальные показатели встречаемости отмечены для *Viviparus viviparus* (до 89% проб), на песчаных грунтах мелководной прибрежной зоны наиболее часто встречается *G. fasciatus* (до 100% проб).

Доля чужеродных видов в численности и биомассе донных сообществ изменялась в широких пределах и зависела от зоны водоемов, сезонной динамики показателей аборигенных сообществ, пресса хищных рыб. Так на песчаных грунтах литорали Новосибирского водохранилища с глубинами до 2 м байкальские амфиподы в среднем за сезон создают до 83% биомассы зообентоса [Визер, 2006], на песчано-илистых грунтах более глубоководных участков средней части водохранилища значительную долю в биомассу донных сообществ вносят моллюски *Viviparus viviparus* (до 99,9%) [Яныгина, 2011]. В Бухтарминском водохранилище максимальной биомассы среди вселенцев достигали *Lithoglyphus naticoides* (в горнодолинной части до 50%), на остальных участках водохранилища численность и биомасса акклиматизантов в среднем не превышала 15% от соответствующих показателей зообентоса [Баженова и др., 2009; Девятков, 2014].

Наиболее значимая трансформация среды обитания аборигенного зообентоса отмечена при интродукциях крупных видов моллюсков, наиболее массовыми из которых в водохранилищах бассейна р. Обь являются *Viviparus viviparus*. Отличительной особенностью распределения вивипарид в водных объектах является образование агрегаций, в результате которых массовые скопления раковин таких крупных моллюсков как вивипариды, создают особую среду обитания для других гидробионтов. Так в средней части Новосибирского водохранилища на участках массового развития живородки отмечено незначительное снижение числа видов и видового разнообразия (по индексу Шеннона) бентосных сообществ, а также повышение численности и биомассы зообентоса по сравнению с незаселенными *V. viviparus* зонами [Яныгина, 2011].

Успех расселения животных в первую очередь зависит от биотических взаимоотношений в водоеме-реципиенте – обеспеченности пищей, конкуренции и хищничества [Дгебуадзе и др., 2006]. Во всех случаях вселения чужеродных видов в водных экосистемах бассейна р. Обь не произошло конкурентного исключения аборигенных видов. Инвазиям были подвержены водные объекты мезотрофного и эвтрофного типа с высоким уровнем обеспеченности пищей донных сообществ. Одним из возможных факторов, способствующих натурализации чужеродных видов, является низкая продуктивность донных сообществ при сравнительно высоком трофическом статусе водоемов, оцениваемым по гидрохимическим и первично-продукционным характеристикам. Возможно, недоиспользование трофических ресурсов аборигенными макробеспозвоночными является одним из факторов успешного вселения чужеродных видов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №13-05-00937.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баженова О.П., Куликов Е.В., Куликова В.Е., Девятков В.И., Евсеева А.А. Сукцессии биоценозов Бухтарминского водохранилища. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. – 244 с.

Визер А.М. Акклиматизация байкальских гаммарид и дальневосточных мизид в Новосибирское водохранилище. дис… канд. биол наук. – Томск, 2006. – 173 с.

Дгебуадзе Ю.Ю., Фенева И.Ю., Будаев С.В. Роль хищничества и конкуренции в инвазионных процессах на примере зоопланктонных сообществ//Биол. внутренних вод. – 2006. – №1. – С. 67–73.

Девятков В.И. Макрозообентос Бухтарминского водохранилища в 2011–2014 годах // Экологические аспекты природопользования в Алтае-Саянском регионе. Мат. Международ. Конф. – Белокуриха, 2014. – С. 126–130.

Долгин В.Н. История и пути формирования пресноводной малакофауны севера Сибири // Проблемы гидробиологии Сибири: Материалы Всерос. конф. / под ред. В.И.Романова. – Томск: Дельтаплан, 2005. – С. 76–85.

Красногорова А.Н. Двустворчатые моллюски семейства Sphaeriidae Южного, Среднего Урала и Западной Сибири. Автореф. дис… к.б.н. – Томск, 2011. – 24 с.

Курина Е.М. Чужеродные виды донных сообществ Куйбышевского и Саратовского водохранилищ: состав, распространение и биология массовых видов. Дис… канд. биол наук. – Тольятти, 2014. – 242 с.

Сон М.О. Моллюски–вселенцы в пресных и солоноватых водах Северного Причерноморья. – Одесса: Друк, 2007. – 132 с.

Старобогатов Я.И. Фауна моллюсков и зоогеографическое районирование континентальных водоемов земного шара. – Л.: Наука, 1970. – 372 с.

Яныгина Л.В. Роль Viviparus viviparus (L.) (Gastropoda, Viviparidae) в формировании сообществ макрозообентоса Новосибирского водохранилища // Российский журнал биологических инвазий. – 2011. – №7. – С.98–107.

Яныгина Л.В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: влияние природных и антропогенных факторов. Автореф. дис…д.б.н. – Владивосток, 2014. – 40 с.

Orlova M.I., Telesh I.V., Berezina N.A., Antsulevich A.E., Maximov A.A. and *Litvinchuk L.F.* Effects of nonindigenous species on diversity and community functioning in the eastern Gulf of Finland (Baltic Sea) // Helgol Mar Res. 2006. – №60 – p. 98–105.

Yanygina L.V., Vinarski M.V. Macroinvertebrates invasion in aquatic ecosystems of the Upper Ob basin // Чужеродные виды в Голарктике: тез. докл. конф. – Борок, 2010. – С. 98–99.

MACROINVERTEBRATES INVASION AS A FACTOR OF BENTHIC COMMUNITIES FORMATION IN LARGE RESERVOIRS OF THE OB RIVER BASIN

Yanygina L. V.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, zoo@iwep.ru

ABSTRACT

The introduction of alien species in aquatic ecosystems was among the most significant factors of man-made transformation of the environment in the last few decades. Being evolutionary young ecosystems, the reservoirs are particularly vulnerable to invasions. The main ways of alien species invasions in Novosibirsk and Bukhtarma large reservoirs of the Ob river basin were studied. The leading role of industrial fishery in the spread of alien species in the Ob river basin was noted. The impact of alien species on the formation of benthic communities was analyzed.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДООХРАННЫХ ЗОН ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

Ясинский С.В., Вишневская И.А., Шапоренко С.И., Бибикова Т.С.

Институт Географии РАН, Москва

yasisergej@yandex.ru

В работе дан ретроспективный обзор представлений о сущности водоохранных зон водных объектов, имеющихся в научной литературе. Раскрыто содержание положений о водоохранных зонах в действующем Водном Кодексе РФ. На примере определения границы водоохранных зон и прибрежных защитных полос Угличского водохранилища показаны технология и особенности разработки геоинформационной системы "Водоохранные зоны водных объектов".

В настоящее время состояние проблемы водоохранных зон водных объектов характеризуется следующими двумя обстоятельствами:

1 – наличием большого числа научных исследований и публикаций, в которых выделение и особый статус этих территорий, примыкающих к водному объекту, рассматриваются как мероприятие, обеспечивающее снижение поступления загрязняющих веществ и антропогенной нагрузки на водоем и улучшающее его гидроэкологическое состояние;

2 – вступившим с силу в 2006 г. Водным Кодексом РФ (ВК) (№74 ФЗ РФ) со статьей 65 этого закона, определяющей основные принципы и порядок установления этих зон и прибрежных защитных полос на водных объектах, вызвавшим новую дискуссию по этой проблеме [Водный кодекс РФ, 2006; Чалов, Морейдо, 2011; Шапоренко и др., 2009].

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ВОДООХРАННЫХ ЗОНАХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Проблема создания водоохранных зон (ВЗ) имеет давнюю историю, своими корнями начинающуюся со сводов законов, изданных Ярославом Мудрым в XI веке, Иваном Грозным в середине XVI века, и Уложения царя Алексея Михайловича, изданном в 1649 г. Петр I несколькими указами, изданными в период с 1703 по 1718 годы, запретил рубку леса "в полосе шириной 100 верст от больших и 50 верст от малых рек, независимо от того, кому принадлежали леса" [Рахманов, 1962].

Обширный обзор работ по организации водоохранных зон был произведен А. Б Авакяном с соавторами еще в 1980-х гг. [Авакян и др., 1984; Авакян, Салтанкин, 1984; Авакян и др., 1987]. Так, на начало 1980-х годов выделялись следующие виды водоохранных зон (ВЗ):

– *лесные* – водоохранные запретные лесные полосы вдоль рек, озер и водохранилищ шириной от 1 до 20 км (устанавливались с 30-х гг.);

– *береговые* – прибрежные ВЗ шириной до 100 м (устанавливались с 70-х гг.);

– *комплексные* – например, вокруг оз. Байкал и других крупных природных объектов (устанавливались примерно с конца 60-х гг.).

В общей литературной дискуссии можно выделить 14 частных классификационных значений термина ВЗ. Однако наиболее удачным являлось установление комплексных бассейновых ВЗ – это был новый подход к организации водоохранных мероприятий [Авакян и др., 1984]. В них вкладывался смысл единства средств охраны и объекта охраны. При таком подходе размеры самого водного объекта задают границы ВЗ в целом, в пределах которой выделяются подзоны, связанные с водоохранным регулированием отдельных элементов хозяйства. Строгость по запрету природопользования в этом подходе возрастает при приближении к водному объекту.

Следующим, новым этапом в выделении водоохранных зон и регламентации хозяйственной деятельности на их территориях являлось представление о зонах взаимовлияния в системе "водосбор – водоем" [Петров, 2004]. В рамках этого подхода предлагается выделять в качестве водоохраной зоны ту территорию, которая, с одной стороны, больше всего влияет на состояние водоема, а с другой – сама находится под непосредственным ощутимым влиянием водного объекта.

При таком подходе, водоохранная зона выступает не только в роли территориального понятия, но и как комплекс хозяйственно-организационных, эксплуатационных и юридических мероприятий. В территориальную структуру водоохраной зоны предлагается включать следующие территориально-аквальные комплексы [Петров, 2004]:

– *береговые* (зона переработки) – территория переработки (оползания) береговой полосы на

ширину распространения в течение 100 лет (расчетный срок службы плотины ГЭС), определяются по имеющимся методикам [Методические рекомендации…, 1975];

– *эрозионные* – овражно-балочные системы от ложбин стока и до устьев, со склонами крутизной выше 5° или другие потенциально эрозионно-опасные земли, непосредственно примыкающие к водохранилищу [Агролесомелиоративные мероприятия…, 1979];
– *подтопленные* – земли, на которых процесс повышения уровня грунтовых вод происходит временно или постоянно. Они выделяются по методическим рекомендациям [Методические рекомендации…,1975; Методические рекомендации…2009] или региональным методикам [Емельянов, 1980];
– *осушаемо-затопляемые* – территории между уровнем наибольшей предзимней (предполоводной) сработки водохранилища (осушная зона) и отметкой расчетного максимального уровня воды 1% обеспеченности (затопляемая зона).

Особая группа – геотехнические системы, являющиеся структурными частями ВЗ (польдеры, берегоукрепительные сооружения, мелиоративные системы и т.п.), созданные до выделения ВЗ, но цель создания которых связана с повышением водоохранных свойств территории, уменьшением процессов негативного взаимовлияния, а также повышения эффективности и комплексности использования водных объектов.

Учитывая все выше перечисленные условия выделения и существования, а также функции и цели ВЗ, становится понятно, что общая ширина ВЗ на разных участках может сильно разниться (от десятков метров до нескольких десятков километров). Границы водоохраной зоны могут меняться с созданием противоэрозионных, противопаводковых и других сооружений, изменяющих и процесс, и территорию взаимовлияния геосистемы водохранилища [Колбовский, Брагин, 2006; Петров, 2004; Ясинский, 2004].

ОСНОВНЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РФ В ЧАСТИ ВОДООХРАННЫХ ЗОН ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Статья 65 ВК жестко ограничивает размер водоохраной зоны для водных объектов различных размеров и прибрежных защитных полос. По сравнению с ранее действующим нормативно-правовым документом [Положение о водоохранных зонах…,1996] размер водоохраной зоны, на территории которой вводятся ограничения на ведение хозяйственной деятельности, существенно сокращен, например, для большинства водохранилищ с 500 до 200 м (п.4).

Важным является п. 13 статьи 65 ВК, в котором ширина ВЗ совпадает с прибрежной защитной полосой и составляет 200 м для водоемов имеющих ценное рыбохозяйственное значение. Перечень таких водоемов для Волго-Каспийского рыбохозяйственного бассейна установлен в [Правила рыболовства…, 2009]. С одной стороны п.13 расширяет перечень ограничений на ведение хозяйственной деятельности на всю территорию ВЗ и способствует охране водных объектов. С другой – противоречит п.16 этой статьи, который расширяет возможности интенсивного использования этой территории, поскольку "…допускает проектирование, строительство, реконструкцию, ввод в эксплуатацию хозяйственных и иных объектов при условии оборудования таких объектов сооружениями, обеспечивающими охрану водных объектов от загрязнения, засорения и истощения вод…". Реализация на практике этой статьи создаст дополнительные условия для усиления диффузного загрязнения, поскольку неизбежно возрастет доля непроницаемых площадей и разнообразные виды прямых и косвенных антропогенных нагрузок. Вызывает большие сомнения, что сокращение площади водоохранных зон и наличие в законе п. 16 ст. 65 ВК будет способствовать достижению основных целей установления водоохранных зон и прибрежных защитных полос, декларируемых п.1 ст.65 ВК. А именно: "… предотвращения загрязнения, засорения, заиления водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира".

Принципиально важным является определение положения береговой линии водоема, от которой отсчитывается ширина ВЗ. Под береговой линией, согласно ч. 4 ст. 5 ВК, понимается граница водного объекта, которая для водоемов суши и водотоков определяется "… по среднемноголетнему уровню вод в период, когда они не покрыты льдом; пруда, водохранилища – по нормальному подпорному уровню воды…". При этом не учитывается, что в период весеннего снеготаяния или сильных дождевых паводков, вода может затапливать всю территорию ВЗ, создавая страховые случаи для хозяйствующих на ней субъектов. В этой связи представляется, что для водотоков и озер размер ВЗ должен отсчитываться от максимального за период наблюдений уровня воды, а для водохранилищ – от форсированного подпорного уровня (ФПУ). От этих же уровней должна отсчитываться полоса общего пользования, ширина которой равна 20 м.

Водный Кодекс никак не регламентирует выделение водоохранных зон по островам, в пределах русел, разветвленных и неустойчивых по условиям формирования. Острова в акватории водных

Таблица 1. Объёмы выполненных работ в проекте по определению границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос Угличского водохранилища

№П/П	НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТ	ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ	ОБЪЁМЫ РАБОТ
1	Определение границы (береговой линии) водохранилища по линии НПУ=113,0 м БС	км	579
2	Определение и описание границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос	км	434
3	Определение координат опорных точек и описание мест их фиксации	точка	1925
4	Определение координат мест установки информационных знаков и привязка их на местности	точка	242
5	Создание цифровой тематической карты масштаба 1 : 10000 на территорию Ярославской области	кв. км	64
6	Создание цифровой тематической карты масштаба 1 : 10000 на территорию Тверской области	кв. км	126
7	Графический вывод цифровой тематической карты в формате ГИС Arc Map	кв. дм	505
8	Формирование землеустроительных дел с экспликациями земель по типам использования в пределах каждого района	шт	2

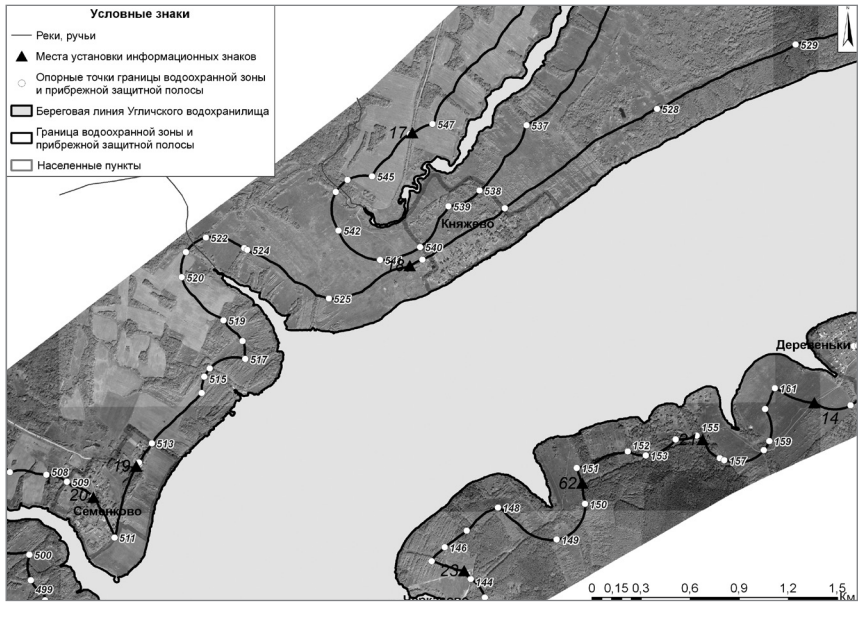


Рис. 1. Пример границы водоохраной зоны на участке Угличского водохранилища

объектов могут иметь значительные размеры, на их территориях может осуществляться интенсивная хозяйственная деятельность, а темпы размыва берегов на некоторых водных объектах могут достигать 5 м/год [Чалов, Морейдо, 2011].

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООХРАННЫХ ЗОН ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

Определение границ водоохраной зоны и прибрежной защитной полосы представляет собой сложную гидролого–геодезическую задачу, требующую применения большого арсенала технических средств и методов получения, обработки и анализа разнообразной информации и их отображения на картографических материалах. Ее реализация основана на выполнении “Правил установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов” с применением ГИС–технологий [Правила установления на местности…, 2009]. В таблице 1 приведен перечень работ, выполненных авторами при решении этих задач на примере Угличского водохранилища, являющего второй ступенью Волжско–Камского каскада.

При выполнении этих работ использовались космические снимки сверхвысокого разрешения (до 0,5–1,0 м), цифровые карты масштаба 1 : 10000, 1 : 25000, полевые геодезические измерения коор-

динат точек установки информационных знаков, геоинформационная система ArcGis. Пример границы водоохраной зоны на участке Угличского водохранилища показан на рисунке 1.

ГИС–проект "Водоохранная зона и прибрежная защитная полоса Угличского водохранилища" содержит 15 различных тематических слоев, полностью отражающих природные условия и особенности антропогенной нагрузки на эту территорию и является основой для планирования и контроля за реализацией различных мелиоративных мероприятий.

ВЫВОДЫ

Результаты научных исследований и рекомендаций по установлению водоохранных зон водных объектов и ограничений по использованию этих территорий остались невостребованными при разработке современного водного законодательства. Практика его применения выявила ряд важных вопросов, требующих уточнения и разработки новых положений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №15-05- 04207.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авакян А.Б., Корнилов Б.А., Эльпинер Л.И. Современные проблемы установления водоохранных зон //Водные ресурсы, 1984. –№2. – С. 3–13.

Авакян А.Б., Салтанкин В.П. Искусственные водоемы // Человек и природа. М.: Знание, 1984. – №6. – С. 17–68.

Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. – 327 с.

Агролесомелиоративные мероприятия по предотвращению водной эрозии почв. – М., 1979. – 33с.

Водный кодекс РФ №74-ФЗ от 3.06.2006 г.

Емельянов А.Г. Комплексное физико-географическое прогнозирование изменений природы. – Калинин, 1980. – 157 с.

Колбовский Е.Ю., Брагин П.Н. Проектирование водоохранных зон крупных рек в рамках процедуры ландшафтного планирования //Эколого – гидрологические проблемы использования водных ресурсов. Сборник научных трудов. – Казань. 2006. – С.376-380

Методические рекомендации по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ. – Л.: ВНИИГ, 1975. – 28 с.

Методические рекомендации по прогнозированию подтопления берегов водохранилищ и использованию подтопленных земель. – Л.,1978. – 88 с.

Методические рекомендации по расчетам подпора грунтовых вод, подтопления земель и потерь воды на фильтрацию в районах каналов и водохранилищ. – М., 1980. – 44 с.

Петров Б.Г. Куйбышевское водохранилище. Географические аспекты водоохранных мероприятий. – М.: "Экспресс", 2004. – 320 с.

Положение о водоохранных зонах водных объектов и их защитных полосах. Постановление Правительства РФ№1404 от 23 ноября 1996 г. – 4 с.

"Правила установления на местности границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос водных объектов" Постановление Правительства РФ №17 от 10.01.2009 г.

Правила рыболовства для Волжско – Каспийского рыбохозяйственного бассейна. Утверждены Приказом Федерального агентства по рыболовству от 13 января 2009 г. №1.

Рахманов В.В. Водоохранная роль лесов. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 235 с.

Чалов С.Р., Морейдо В.М. Проектирование водоохранных зон в бассейнах рек предгорных районов (на примере бассейна реки Авача, Камчатский край) //Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2011. – №5. – С.4-18

Шапоренко С.И., Леонов А.В., Дерий А.В., Федоров В.Д. Противоречия нового Водного Кодекса Российской Федерации и вопросы охраны водных объектов //Известия РАН, серия географ., 2009. – №1. – С. 14–22

Ясинский С.В. Геоэкологическое районирование водосбора (на примере Истринского водохранилища) //Водные ресурсы, 2004. – №5. – С. 627 – 634.

PRESENT STATE OF PROBLEM OF WATER PROTECTION ZONES FOR WATER BODIES (ON EXAMPLEOF UGLICH RESERVOIR)

Yasinskiy S.V., Vishnevskaya I.A., Shaporenko S.I., Bibikova T.S.

Institute of geography of RAS, Moscow, Russia

yasisergej@yandex.ru

ABSTRACT

A review of modern ideas about the matter of water protection zones for water bodies represented is presented in this article. It was disclosed the contents of the provisions about water protection zones in Water Code of the Russian Federation of 2006 year currently in force. The technology and features of the creation of geographic information system "Water protection zones of water bodies" were showed on example the definition of the boundaries of water protection zones for Uglich reservoir.

СЕКЦИЯ 4

ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОЙ ОТДАЧИ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА

Александровский А.Ю., Подольский М.С.

ФГБОУ ВПО "НИУ "МЭИ", Москва

ayaleksand@mail.ru

Рассматривается возможность перехода на переменную отметку предполоводной сработки водохранилищ Волжско-Камского каскада при использовании предварительного гидрологического прогноза притока воды во втором квартале.

Опыт длительной эксплуатации водохранилищ Волжско-Камского каскада (ВКК) выявил изменения условий их функционирования по сравнению с проектными, причем условия продолжают изменяться как из-за антропогенной деятельности, отличающейся от заложенных в проекты сооруженных ГЭС, так и под влиянием изменения климатических факторов.

Особенно остро ощущается недостаток водных ресурсов в весенне-летний период в низовьях Волги в маловодных условиях. Для обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса Нижней Волги в этих условиях рассматривается возможность перехода на переменную отметку предполоводной сработки водохранилищ ВКК при использовании предварительного гидрологического прогноза притока воды во втором квартале [Воропаев и др., 1994; Павлов и др., 1989].

Задача заключается в оценке возможности обеспечения экологически благоприятных весенних попусков на Нижнюю Волгу при согласовании современных и перспективных условий водопользования в бассейне р. Волги выше Волгоградского

Рис 1. Предлагаемая схема управления водными ресурсами в предполоводный период

гидроузла с требованиями обеспечения рационального использования водных ресурсов и устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса Нижней Волги.

Для удовлетворения требований повышения водоотдачи каскада во втором квартале в условиях сложившейся водохозяйственной системы, при ненаполнении Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ, рассматривается вариант изменения схемы регулирования стока путем перехода на переменную отметку сработки водохранилищ в зависимости от величины гидрологических прогнозов притока воды в водохранилища ВКК, их заблаговременности и точности. В этом случае дополнительная сработка водохранилищ каскада, выполняемая в период от получения гидропрогноза до начала половодья, производится при прогнозе многоводного притока во втором квартале, а при прогнозе маловодного притока сброс воды в нижние бьефы водохранилищ уменьшается, что позволяет повысить уровень предполоводной сработки водохранилищ и увеличить объем воды, сбрасываемый в нижний бьеф Волгоградского гидроузла.

Предлагаемая схема управления водными ресурсами в предполоводный период приведена на рис. 1.

Для оценки возможного дополнительного водохозяйственного эффекта увеличения весенних попусков на Нижнюю Волгу приняты обязательными к выполнению следующие условия, действующие в современных ПИВР водохранилищ ВКК:

– к концу половодья большинство водохранилищ ВКК должны быть наполнены до отметки НПУ;
– для обеспечения принятого графика весеннего рыбохозяйственного и сельскохозяйственного попусков разрешается приостанавливать весеннее наполнение Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ.

Для оценки водохозяйственного эффекта перехода на переменную отметку обязательной предполоводной сработки предлагается проводить корректировку ПИВР на март месяц (от момента получения предварительного прогноза до начала паводка). После начала паводка управление режимом использования водных ресурсов водохранилищ должно проводиться по действующим ПИВР каждого конкретного водохранилища.

В современной практике управления водными ресурсами водохранилищ предварительный прогноз притока выдается в начале марта и основывается на измеренном запасе воды в снежном покрове как на открытых территориях, так и на залесенной местности, состоянии подстилающей поверхности водосбора, влагонасыщения и глубины промерзания почв на 28 февраля каждого года.

Таблица 1. Оценка ошибки гидрологического прогноза притока воды во втором квартале в водохранилища ВКК, %

ВОДОХРАНИЛИЩЕ	ОШИБКА ПРОГНОЗА, %
Рыбинское	16,65
Горьковское	13,00
Чебоксарское	85,00
Камское	16,73
Воткинское	15,63
Нижнекамское	26,58
Куйбышевское	20,37
Саратовское	50,00
Волгоградское	58,75
Каскад	13,04

Оправдываемость гидрологического прогноза притока в водохранилища ВКК на второй квартал за период с 1982 г. по 2013 г. приведена в табл. 1. В качестве показателя ошибки прогноза принято значение среднеквадратического отклонения прогнозного притока от фактического значения за рассматриваемый период.

Исходная информация, используемая при тестировании схемы управления водными ресурсами в предполоводный период:

1. Предварительный гидрологический прогноз суммарного притока воды на 2-ой квартал, разработанный Гидрометслужбой с 1982 г. по 2013 г.
2. Фактический приток воды в водохранилища ВКК за 1916–2013 гг.
3. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ на р. Волге 1983 г. (Рыбинского, Угличского, Нижегородского, Куйбышевского, Саратовского, Волжского, Камского, Воткинского).
4. “Временные основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Чебоксарского и Нижнекамского”, 1982 г.
5. Предварительные требования к режиму сброса воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла в зависимости от объема попуска.

В качестве регулирующих сток водохранилищ, режим работы которых подлежит корректировке в зависимости от предварительного гидропрогноза, рассмотрены Рыбинское, Камское, Воткинское, Куйбышевское и Волгоградское водохранилища. В расчетах приняты: дата получения предварительного прогноза – начало марта, дата начала половодья – начало апреля. Использовалась следующая последовательность расчетов:

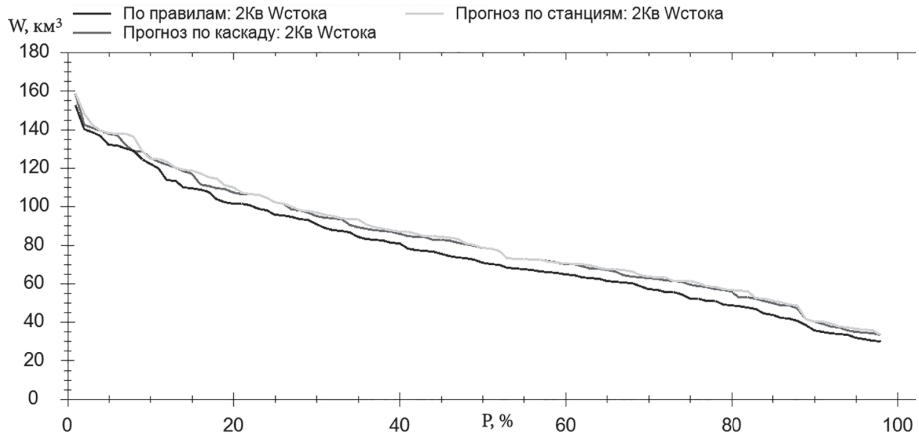


Рис. 2. Попуски в нижний бьеф Волгоградского гидроузла за второй квартал

1. Проводится водохозяйственный расчет режима работы каскада водохранилищ ВКК по программе "Каскад" [Александровский и др., 2013] по ряду наблюдений за стоком (с 1914/15 по 2012/13 гг.), определяется уровень воды у плотины по состоянию на 1 марта по тем водохранилищам, режим работы которых подлежит корректировке в марте месяце, по отметке уровня воды определяется объем водохранилища на 1 марта и свободный, не заполненный до НПУ, объем каждого из перечисленных водохранилищ.

$$W_{своб} = \sum_{i=1}^{m} f\,(V, Z_{вб}^{НПУ}) - f(V, Z_{вб}^{н}) \qquad (1)$$

2. По предварительному прогнозу суммарного объема притока воды в водохранилища Волжско-Камского каскада во втором квартале и подсчитанному свободному объему воды в водохранилищах (1) определяется возможный объем сброса воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла.

$$W_{рег} = W_{прогноз}^{предв} - W_{своб} \qquad (2)$$

Определяется обеспеченность прогнозного объема сброса воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла во втором квартале, $W_{рег}$ подсчитанного по формуле (2). Для обеспеченности в диапазоне от 40% до 55% режим не подвергается изменению. В зоне с обеспеченностью более 55% проводится уменьшение сработки водохранилищ для получения возможности дополнительного сброса воды во втором квартале. В зоне с обеспеченностью менее 40% проводится корректировка координат диспетчерского графика с целью увеличения сброса воды в предполоводный период и уменьшения максимальных расходов в период пропуска половодья.

3. По результатам водохозяйственного расчета строится кривая обеспеченности объема сброса воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла во втором квартале.
4. Коэффициент коррекции координат зон диспетчерского графика на март месяц рассчитывается в зависимости от подсчитанной выше обеспеченности (Р) предварительного значения объема сброса из Волгоградского водохранилища. Корректировка координат зон диспетчерского графика работы водохранилища в марте месяце производится ежегодно после получения предварительного прогноза суммарного притока воды в водохранилища ВКК. Координаты диспетчерского графика в другие месяцы года корректировке не подлежат.

Далее выполняется водохозяйственный расчет режима работы водохранилища в марте месяце по уже скорректированному диспетчерскому графику.

Эффект перехода на переменную предполоводную сработку Рыбинского, Куйбышевского, Волгоградского, Камского и Воткинского водохранилищ оценивался по следующим показателям:

- уровень верхнего бьефа водохранилища на начало марта и на конец марта;
- расход воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла в марте месяце;
- объем сброса воды в нижнем бьефе Волгоградского гидроузла во втором квартале,
- среднезимняя мощность ГЭС ВКК;
- среднемноголетняя годовая выработка электроэнергии ГЭС ВКК.

Результаты расчетов попусков в нижний бьеф Волгоградского гидроузла во втором квартале приведены на рис. 2.

ВЫВОДЫ

Эксплуатация водохозяйственного комплекса бассейна р. Волги сталкивается с возникновением новых условий работы и необходимостью изменения подходов к управлению режимами работы системы в целом.

Для согласования возникающих противоречивых требований к режиму работы водохранилищ ВКК и требований повышения объема попусков во втором квартале в нижний бьеф Волгоградского водохранилища предлагается переход на переменную отметку обязательной предполоводной сработки водохранилищ ВКК с учетом получения предварительного гидрологического прогноза притока воды.

Предложена схема управления водными ресурсами водохранилищ Волжско-Камского каскада в предполоводный период. Переход на переменную предполоводную сработку предлагается проводить на Рыбинском, Куйбышевском, Волгоградском, Камском и Воткинском водохранилищах.

Намечены пути улучшения алгоритма расчета за счет использования гидрологических прогнозов не по каскаду в целом, а отдельно по участкам между гидроузлами на Волге и на Каме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воропаев Г.В., Иванова Т.Н., Протопопова Т.Н. Исследование возможности формирования экологически благоприятных весенних попусков в низовья Волги // Водные ресурсы, 1994. – Т.21. – №1. – С. 101–109.

Павлов Д.С., Катунин Д.Н., Алехина Р.П., Власенко А.Д., Дубинина В.Г., Сидорова М.А. Требования рыбного хозяйства к объему весенних попусков в дельту Волги // Рыбное хозяйство, 1989. – №9. – С. 29–32.

Александровский А.Ю., Силаев Б.И., Пугачев Р.В., Якушов А.Н. Программный комплекс для проведения водохозяйственных и водноэнергетических расчетов каскадов ГЭС “Каскад” //Гидротехническое строительство”, 2013. – №6.

USE OF PRELIMINARY HYDROLOGICAL FORECAST FOR INCREASE OF GUARANTEED OUTPUT OF WATER RESERVOIRS OF VOLGA-KAMA CASCADE

Aleksandrovskiy A. Yu., Podolskiy M. S.

FGBOU VPO NIU MEI, Moscow, Russia

ABSTRACT

Possibility of switch to variable level of pre-flood drawdown of water reservoirs of Volga-Kama cascade by using preliminary hydrological forecasts of inflow for the second quarter of calendar year is considered.

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Александровский А.Ю.[1], Кочарян А.Г.[2], Шашков С.Н.[3], Шмырев В.М.[1]

[1] НИУ Московский энергетический институт, Москва

[2] Институт водных проблем РАН, Москва

[3] ООО "ВЕД", Москва

kochar@aqua.laser.ru

В докладе дается описание существующей боксовой модели прогноза качества воды в Иваньковском водохранилище, учитывающей био-физико-химическую трансформацию загрязняющих веществ.

Созданное в верховьях р. Волги Иваньковское водохранилище является основным элементом Волжского источника водоснабжения г. Москвы, обеспечивающим до 70% от общего потребления воды городским хозяйством столицы. Изучение влияния уменьшения наблюдаемой в последние годы антропогенной нагрузки и изменения ее структуры на гидрохимический и гидробиологический режимы Иваньковского водохранилища, проведенное в Институте водных проблем РАН, показало, что существенное сокращение поступления загрязняющих веществ (ЗВ) привело к весьма незначительному улучшению качества его вод [Бреховских и др., 2002]. В дальнейшем можно ожидать увеличение антропогенной нагрузки на Иваньковское водохранилище. В связи с этим особенно актуальным становится прогноз качества воды водохранилища на перспективу.

Сложность задачи прогноза качества воды в водохранилищах объясняется: значительными колебаниями межгодовых и внутригодовых коэффициентов водообмена; сложностью гидрологической структуры водохранилищ; множеством различных реализаций гидрологического и гидравлического режимов; пространственно-временной неоднородностью течений разного генезиса; сложной морфометрией ложа; разнообразием и пространственно-временной нестационарностью процессов перемешивания и трансформации вещества в водной среде; отсутствием необходимой натурной информации или ее практической недоступностью; отсутствием системного комплексного мониторинга, фиксирующего параметры физических, химических, биологических процессов, протекающих в водохранилищах в разные гидрологические сезоны.

Адекватные расчетные прогнозные модели качества воды в водохранилищах могут использоваться только путем сопоставления результатов расчета с данными натурных наблюдений на этих конкретных водоемах.

Основными процессами, контролирующими качественные показатели воды в водохранилище, являются:

- процессы пассивного переноса веществ, определяющие их разбавление и время нахождения в водохранилище;
- процессы седиментации минеральных и органических веществ в ложе водохранилища;
- процессы регулирования речного стока работой ГЭС и шлюзов;
- процессы продуцирования органического вещества различного состава;
- процессы биохимического превращения и деструкции;
- процессы комплексообразования;
- процессы поступления ЗВ и биогенов с основными и боковыми притоками;
- процессы поступления ЗВ в нижний бьеф водохранилища.

По морфометрии и гидрологическим особенностям Иваньковское водохранилище делится на 4 участка.

На 1 участке от г. Твери до устья р. Шоша преобладают стоковые течения, занимающие все русло. Расходы и скорости течений мало связаны с работой Конаковской ГРЭС. В замыкающем створе участка при расходе 317 м^3/с скорость у поверхности составляет 1–19 см/с и у дна – 8–16 см/с.

2 участок – Шошинский плес – озеровидная затопленная пойма правого притока – р. Шоша. Стоковые течения образуются только во время весеннего половодья редкой повторяемости. Перемешивание ветровое.

3 участок – от устья р. Шоша до устья р. Щучки. Режим течения зависит от стока, забора воды для Конаковской ГРЭС, работы гидроузла. Устойчивые стоковые течения возникают только во время многочасового равновесия притока и стока воды через гидроузел. Обратные течения наблюдаются очень редко.

4 участок – от устья р. Щучка до плотины. Гидрологический режим полностью зависит от работы Конаковской ГРЭС и шлюзов. При уменьшении расхода воды в створе ГЭС до 8,6 км^3/сут и скорости течения 2,25 см/с образуются обратная волна и водоворотные зоны.

Скорости течения в Иваньковском плесе при пропуске весеннего половодья достигают 50 см/с. В период предполоводной сработки в поверхностном горизонте плеса скорость течения находится в пределах 3–6 см/с. Скорости стоковых течений в верхнем бьефе ГЭС колеблются от 3 до 16 см/с, у верхней границы плеса – от 4 до 12 см/с.

Волна попуска распространяется по руслу с большей скоростью, чем по пойме. Причем в русловой ложбине движение воды начинается раньше, что создает понижение уровня в сторону русла. Возникновение поперечных уклонов, направленных от поймы в сторону русла, вызывает появление течений перпендикулярных основному потоку. Процент площади, занятой водоворотной зоной, составляет 3,7% по отношению ко всей площади зеркала в 327 км^2.

На 4 участке в весенне-летние месяцы были поставлены регистраторы течений и температуры AADERA, которые измеряли параметры вдоль и поперек течения через каждые 10 минут. Всего произведено 5557 измерений. 74% всех измерений имели составляющую вниз по течению, 26% – составляющую вверх по течению. Компонента поперек реки имеет 2 направления – северное (65% измерений) и южное (35% измерений). Направление течений менялось за 1,5 месяца наблюдений 25 раз. Все это свидетельствует об изменчивости течения, а распределение электропроводности на 4 участке свидетельствует о хорошем перемешивании воды на этом расширенном участке.

Для небольших водохранилищ с периодом водообмена менее одного месяца можно применять модели, основанные на гипотезе “идеального смесителя”. В таких “камерных” моделях предполагается постоянство всех показателей качества воды внутри характерного выделенного объема – камеры. Для водохранилищ большого размера однокамерная модель заменяется на многокамерную с задаваемым водообменном между соседними камерами. Такая стилизация позволяет существенно упростить процедуру расчета, поскольку сводит ее к решению обыкновенных дифференциальных уравнений.

Накопленный опыт использования боксовых моделей для прогноза гидрохимического режима на таких существующих водохранилищах, как Можайское, Нижне-Камское, Чебоксарское, Аргазинское, Новосибирское, Усть-Илимское, показал, что имеется хорошее соответствие между натурными и расчетными данными [Майрановский, Максимов, 1991].

Доказана малая чувствительность количественной характеристики самоочищающей способности водохранилищ к характеру гипотез внутреннего водообмена [Гордин, 1977]. Водный объект с наличием транзитного потока и трех выраженных водоворотных зон делился на отдельные отсеки. Моделировались разные варианты водообмена в отсеках:

– по всем отсекам поток движется в режиме фронтального вытеснения;
– по всем отсекам поток движется в режиме полного перемешивания;
– по отсекам, моделирующим транзитный поток, движение совершается в режиме фронтального вытеснения, в отсеках, моделирующих возвратный поток, – в режиме полного перемешивания;
– на 20% увеличивался и уменьшался расход в водоворотные зоны.

Результат моделирования показал, что даже полная противоположность гипотез водообмена внутри отсека не может существенно повлиять на оценку самоочищения водного объекта. Она также инвариантна относительно изменения активности водообмена между транзитной струей и водоворотными зонами на 20–40%, давая погрешность не более на 2–4% при оценке самоочищения.

Также было выявлено, что погрешность в 20-30% в определении удельной скорости самоочищения дает значительно большую оценку самоочищения (8-10%).

Иваньковское водохранилище было разделено на 7 отсеков, причем соотношение длины отсека к его средней ширине существенно меньше 20. Водообмен между отсеками оценивался по соотношению составляющих водного баланса, определяемого внешним водообменом, и уточнялся по полю скоростей водохранилища, рассчитываемому при помощи двумерной гидродинамической модели MIKE 2.1 Датского гидравлического института. Такая модель описывает гидрофизические процессы, определяющие перенос и перераспределение веществ между отдельными частями водохранилища при любых режимах наполнения / сработки и работы ГЭС и шлюзов.

Био–физико–химические процессы определяют степень трансформации веществ. Количественная оценка этих процессов часто наталкивается на определенные трудности. Прежде всего, необходима информация по нагрузке ЗВ на разные участки водохранилища и ее изменению по времени. Считается, что оценка уровня нагрузки от точечных источников вполне удовлетворяет требовани-

ям к достоверности статистической информации. Однако, ярко выраженная нестационарность расходов и химического состава сточных вод приводит к существенной недоочистке и проскокам ЗВ, что осложняет контроль за массой поступающих в водоем ЗВ. Неполный перечень ЗВ, подвергающихся химическому контролю, аварийные ситуации, отсутствие очистки и контроля за составом поверхностного стока с промплощадок и городских территорий способствуют неопределенности при количественной оценке поступления ЗВ от этого типа источников.

Еще хуже обстоит дело с учетом количества загрязняющих веществ, поступающих от диффузных источников. Общая площадь пахотных земель в бассейне Иваньковского водохранилища равна 510319 га. Слабая экспериментальная изученность выноса биогенов и тяжелых металлов позволяет сделать лишь оценочный прогноз их поступления в Иваньковское водохранилище. Мониторинг качества вод, втекающих и вытекающих из водохранилища, не позволяет рассчитывать с необходимой точностью баланс ЗВ по сезонам. Эти данные необходимы для определения коэффициентов неконсервативности загрязняющих веществ.

Поступление загрязняющих веществ с собственной водосборной территории Иваньковского водохранилища определялось расчетным путем по известным эмпирическим формулам, параметры которых и исходные данные к ним могут быть уточнены при помощи специальных изыскательских работ на водосборе.

Проведенные в ИВП РАН исследования позволили дать количественную оценку выноса фосфора и тяжелых металлов из донных отложений Иваньковского водохранилища. Несмотря на значительный запас металлов и фосфора в донных отложениях, их вынос невелик и может обогащать водную массу примерно на 10% от их запаса. Отметим, что значительный масштаб зарастаний акватории Иваньковского водохранилища и обогащение органическим веществом донных отложений свидетельствует о возможном занижении оценки потока фосфора и металлов, сделанной только на основе закона Фика. Вопрос этот требует дальнейшего экспериментального изучения.

Была также сделана оценка роли высшей водной растительности в формировании качества воды в водохранилище.

Сделанная оценка развития синезеленых водорослей и образования растворенного органического вещества не дает возможности идентифицировать прижизненные и постлетальные индивидуальные органические вещества (низкомолекулярные ациклические кислоты, спирты, углеводы, кетоны, аминокислоты, индолы, меркаптаны и т.п.), которые поразному влияют на водные организмы и человека. А зависимость между растворенным органическим веществом и величиной биомассы фитопланктона выражены уравнениями регрессии.

Верификация модели проводилась по водным балансам за среднемноголетний период. Основными расчётными параметрами для модели прогноза качества воды в водохранилищах являются пара-

Таблица 1. Результаты идентификационных расчетов для Иваньковского водохранилища (концентрации, мг/л)

МЕСЯЦ	ВВ	$БПК_5$	ФЕН	НФПР	NNH_4	NNO_3	PPO_4	Fe
III	9,1	1,41	0,000	0,11	0,50	0,83	0,083	0,27
IV	11,1	1,45	0,001	0,15	0,17	0,62	0,015	0,32
V	9,7	1,83	0,001	0,14	0,24	0,54	0,003	0,28
VI	9,3	1,98	0,001	0,13	0,31	0,55	0,005	0,24
VII	9,2	2,08	0,001	0,12	0,33	0,55	0,001	0,22
VIII	8,6	1,81	0,000	0,12	0,37	0,61	0,000	0,21
IX	8,6	1,77	0,000	0,12	0,37	0,61	0,000	0,21
X	2,3	0,65	0,000	0,12	0,11	0,55	0,001	0,22
XI	2,1	0,41	0,000	0,11	0,06	0,49	0,007	0,21
XII	1,5	0,29	0,000	0,11	0,07	0,45	0,015	0,19
I	1,5	0,27	0,000	0,10	0,06	0,42	0,014	0,18
II	1,5	0,27	0,000	0,10	0,06	0,41	0,014	0,18
$C_{сред}$	6,21	1,19	0,00	0,12	0,22	0,55	0,01	0,23
$C_{факт}$	6,00	1,00	0,001	0,13	0,39	0,70	0,05	0,24
$К_{нек}$	0,12	0,035	0,02	0,01	0,03	0,025	0,05	0,015

Примечание: $К_{нек}$ – коэффициент неконсервативности

метры неконсервативности загрязняющих веществ, отражающие в данном случае как всю совокупность внутриводоемных процессов, так и влияние внешних неучтённых источников поступления загрязняющих веществ.

Идентификация параметров неконсервативности проведена для следующих загрязняющих веществ: взвешенные вещества (ВВ); легкоокисляемые органические вещества по $БПК_5$; фенолы летучие (ФЕН); нефтепродукты (НФПР); азот аммонийный (NNH_4); азот нитратный (NNO_2); фосфор фосфатов ($P–PO_4$); железо общее (Fe). Результаты идентификационных расчётов для Иваньковского водохранилища даны в таблице 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие подобных моделей, позволяющих прогнозировать качество воды в водохранилище при разных режимах его работы и переменной нагрузке загрязняющих веществ и биогенов, требует углубленного изучения внутриводоемных химико-биологических процессов и закономерностей поступления веществ от диффузных источников.

Анализ функционирования водохозяйственных систем, включающих каскад водохранилищ, требует разработки имитационной модели, учитывающей совместно как количественные характеристики режима речного стока, так и его качественные показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бреховских В.Ф., Кочарян А.Г., Сафронова К.И. Влияние изменения антропогенной нагрузки на гидрохимический и гидробиологический режимы Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы, 2002. – №1. – С. 85–91.

Майрановский Ф.Г., Максимов А.В. Прогнозирование качества воды в водохранилищах // Всесоюзная научно-техническая конференция "Проблемы прогнозирования качества воды в водохранилищах". Тезисы докладов. – ПИИ "Самарагидропроект", 1991. С. 55–56.

Гордин И.В., Кочарян А.Г., Воробьева Н.П. Влияние точности гидродинамического моделирования водоемов на оценку их самоочищающей способности // Водные ресурсы,1977. – №3. – С. 18–26.

FORECASTING MODEL OF WATER QUALITY BY THE EXAMPLE OF IVANKOVSKOE WATER RESERVOIR

Alexsandrovsky A.Yu.[1], Kocharyan A.G.[2], Shashkov S.N.[3], Shmyrev V.M.[1]

[1] *Moscow Power Institute, Moscow, Russia, ayaleksand@mail.ru*

[2] *Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, kochar@aqua.laser.ru*

[3] *LLC "VED", Moscow, Russia, shashkov@4unet.ru*

ABSTRACT

The description of the existing forecasting box model of water quality in the Ivankovskoye water reservoir is given. This model considers bio-physical and chemical transformation of the polluting substances.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Безруков Л.А., Гагаринова О.В., Ильичёва Е.А., Кичигина Н.В., Корытный Л.М.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск

kor@irigs.irk.ru

Рассмотрены водный потенциал и состояние водных ресурсов Сибири в начале XXI в. Проведен анализ использования ресурсов и возникающих при этом проблем, намечены пути их решения. Исследованы вопросы генезиса и повторяемости наводнений и наносимого ими ущерба. Изложены результаты экспериментального изучения дельты р. Селенги – главного притока оз. Байкал. Оценены возможности экспорта сибирской воды в соседние страны.

Испытывающая "водный голод" планета с надеждой обращает свои взгляды на богатые водными ресурсами страны, в том числе на Россию. Основные водные ресурсы страны сосредоточены в Сибири. Сибирь в гидрографическом понимании – азиатская часть бассейна Северного Ледовитого океана.

ВОДНЫЙ ФОНД И ВОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Водный фонд – это, в первую очередь, почти 1,5 млн сибирских рек, общая протяженность которых около 5 млн км. Среди них три крупнейших реки России – Енисей, Лена и Обь, а также входящие в число 20 самых водоносных рек страны Алдан, Ангара, Колыма, Нижняя Тунгуска, Хатанга, Иртыш, Пясина, Витим, Олекма и Таз. К крупнейшим озерам страны относятся Байкал (объем 23000 км^3), Таймыр (13 км^3) и Чаны (4,3 км^3). Следует также назвать водохранилища мощного Ангаро-Енисейского каскада ГЭС – Иркутское, Братское, Усть-Илимское и Богучанское на Ангаре, Саянское, Майнское и Красноярское на Енисее.

Интегральный потенциал водных объектов оценивался по сумме четырех частных потенциалов – водоснабженческого, гидроэнергетического, воднотранспортного и рыбохозяйственного. Каждый частный водный потенциал определен в отдельности по специально разработанной шкале баллов на основе количественных натуральных показателей [Безруков, 1990]. Водоснабженческий потенциал характеризовался среднегодовым расходом воды (м^3/с); гидроэнергетический – потенциальной годовой выработкой электроэнергии (млрд кВт-ч); воднотранспортный – категорией водных путей в зависимости от гарантированных глубин (м) и продолжительности навигации; рыбохозяйственный – показателями рыбопродуктивности (кг/га), потенциальных промысловых запасов рыбы (тыс. ц), доли рыбы ценных видов (%).

Основой *водоснабженческого потенциала* являются возобновляемые ресурсы поверхностных и подземных вод, или суммарный речной сток, равный в Сибири 2350 км^3 в средний по водности год (55% аналогичной российской величины). Основные водные ресурсы Сибири сконцентрированы в многоводных реках, причем 2/3 общего объема ее суммарного речного стока выносят в моря Енисей, Лена и Обь. Однако эти ресурсы очень неравномерно распределены по территории: по величине суммарного речного стока сибирские регионы различаются в 27 раз – от 34,3 км^3/год в Республике Алтай до 917 км^3/год в Красноярском крае. В расчете на душу населения наиболее водообеспеченными закономерно являются многоводные, но малонаселенные северные субъекты РФ – Ямало-Ненецкий автономный округ и Республика Саха (Якутия) (более 800 тыс. м^3/год на 1 чел.), а наименьшую водообеспеченность (менее 25 тыс. м^3/год на 1 чел.) имеют Кемеровская, Омская, Новосибирская области и Алтайский край.

Гидроэнергетический потенциал составляет в Сибири 1556 млрд кВт-ч среднегодовой выработки электроэнергии (65,0% общероссийской величины). Первые места в России по величине гидроэнергетических ресурсов заслуженно занимают Енисей (потенциальная среднегодовая выработка 158 млрд кВт-ч), Лена (144) и Ангара (94). На основе богатейших гидроэнергоресурсов Ангары и Енисея уже создан уникальный по своим масштабам Ангаро-Енисейский каскад ГЭС. Валовой потенциал гидроэнергоресурсов крупных и средних рек распределен по регионам Сибири крайне неравномерно. Различия в его величине обусловлены главным образом дифференциацией площадей, высотно-

го положения и удельной насыщенности территории гидроэнергоресурсами. Самыми большими запасами гидроэнергии располагают Республика Саха (32,6% от общесибирских), Красноярский край с Республикой Хакасия (27,0%) и Иркутская область (12,9%). Наименьшие показатели потенциала – всего 0,2 и 0,4% – имеют соответственно равнинные Омская и Новосибирская области.

Основу *воднотранспортного потенциала* Сибири составляет разветвленная сеть внутренних судоходных путей протяженностью 56,5 тыс. км (55,8% общероссийской величины). Ведущую роль в перевозках играют магистральные и местные водные пути. Наибольшими значениями воднотранспортного потенциала характеризуются Красноярский край, Республика Саха и Тюменская область с округами за счет обладания крупнейшими водными магистралями России – соответственно Енисеем, Леной и Обью с Иртышом.

Заметно менее значим в экономике Сибири *рыбохозяйственный потенциал*. Несмотря на огромный водный фонд, уловы рыбы сравнительно невелики, хотя макрорегион по-прежнему дает значительную долю рыбы ценных видов. Основную рыбохозяйственную ценность представляют при этом нижние приустьевые участки крупных северных рек.

Интегральный потенциал отдельных водных объектов получен путем суммирования частных потенциалов по участкам водотоков и водоемов. В итоге все водные объекты Сибири подразделены по величине интегрального потенциала на пять крупных классов – исключительно высокого потенциала (более 20 баллов), очень высокого (11,0–19,9), повышенного (5,0–10,9), среднего (1,0–4,9) и низкого (менее 1). Исключительно высоким потенциалом выделяются Енисей, Лена (кроме верховьев), Обь, Ангара, оз. Байкал, Иртыш, а также нижние течения Колымы, Алдана, Нижней Тунгуски, Индигирки, Витима и Хатанги. Структура и величина интегрального и частных потенциалов водных объектов говорят, прежде всего, о возможностях и наиболее эффективных направлениях их использования на данном этапе.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Ежегодно на нужды населения и отраслей экономики Сибири из поверхностных и подземных водоисточников забирается в среднем всего около 2% возобновляемых ресурсов (около 15% водозабора России). Лидером по использованию свежей воды является Красноярский край, который использует более 4% свежей воды от общероссийской величины. Приоритетным среди всего водопользования является *питьевое* водопотребление, куда уходит 16% свежей воды. Лидерами здесь являются Красноярский край, Кемеровская и Новосибирская области. Состояние действующих систем водоснабжения и канализации крайне неудовлетворительно, что приводит к авариям, потерям воды (до 10%), перебоям в водоснабжении, загрязнению природной среды и нарушению санитарного благополучия населения. В итоге лишь 18% сибирских населенных пунктов обеспечены доброкачественной водой. На *промышленность* приходится основная часть общего водопотребления (73%). Среди регионов выделяются Красноярский край, области Кемеровская, Тюменская (с округами), Иркутская, Томская и Новосибирская. В *сельском хозяйстве* используется всего 3% свежей воды. Основным потребителем является орошаемое земледелие; среди регионов особенно выделяется Алтайский край.

Наиболее существенное негативное влияние на водную среду оказывают неочищенные и недостаточно очищенные сточные воды. По всей Сибири величина неочищенных стоков составляет около 3 км^3 в год, что соответствует в среднем 15% общероссийского количества. Максимальные объемы неочищенных сточных вод поступают в водные объекты Иркутской (614 млн м^3) и Кемеровской (572 млн м^3) областей. Доля загрязненных вод в общем объеме стоков в целом по региону составляет 28%. В результате большинство крупных рек Сибири относится к категории загрязненных и грязных.

Среди видов водопользования без изъятия водных масс в Сибири, безусловно, приоритетной является *гидроэнергетика*. Для нее актуально наличие острой проблемы безопасности гидротехнических сооружений – как крупных (катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС 2009 г.), так и малых (в Сибири имеется около 9000 подобных объектов, предназначенных преимущественно для сельскохозяйственного использования). Однако 18% из них являются бесхозными, что служит источником постоянной опасности. Для водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада существует большая и комплексная проблема, связанная с необходимостью как разрешения противоречий между гидроэнергетикой и другими водопользователями, так и снижения негативных экологических последствий их создания.

В других видах водопользования – *водном транспорте, мелиорации, рыбном хозяйстве, рекреации* – ряд проблем возник в постсоветский период. Упал грузо- и пассажирооборот водного транспорта, сократились площади орошаемых земель и уловы рыбы, недоиспользуется водно-рекреационный потенциал. Общегосударственная пробле-

ма – *охрана водных объектов*, в первую очередь озера Байкал, что определяется особым планетарным статусом уникального озера.

ОПАСНОСТЬ НАВОДНЕНИЙ

Среди всех проблем, вызываемых вредным воздействием вод (водная эрозия, абразия, лавины и др.), наиболее опасными являются наводнения. За период наблюдений в Сибири произошло 271 наводнение – наибольшее количество среди всех макрорегионов страны [Добровольский, Истомина, 2006]. Только за последние десять лет крупные наводнения в Сибири происходили в 2004, 2006, 2007, 2008, 2012, 2013 и 2014 гг.

Если рассмотреть период за 1985–2013 гг. [http://www.dartmouth.edu/~floods/], то значительные наводнения на реках России за этот период представлены в 102 записях, из них 40 произошли в Сибири. В 11 из этих наводнений были человеческие жертвы, в 30 случаях потребовалась эвакуация людей. Наиболее часто наводнения в Сибири возникали в результате дождевых паводков (повторяемость составила 59%), на втором месте – наводнения в результате весеннего снеготаяния и снеготаяния с наложением дождей (повторяемость по 24%), на третьем месте – наводнения в результате заторов на пике половодья, т.е. совмещенные со снеготаянием (повторяемость 17%), далее заторные (повторяемость 14%). Наибольшее количество наводнений происходит в бассейнах Оби и Лены, несколько меньше в бассейне Енисея, далее по убыванию следуют бассейны Байкала, Ангары, Амура, Колымы и Яны. Наибольший ущерб от наводнений наносится сельскому и коммунально-бытовому хозяйству Сибири – соответственно 30% и 25% от суммарной величины, далее следует ущерб промышленности – 19% и транспорту – 18%, ущерб частному имуществу граждан составляет около 8%.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЧНЫХ ДЕЛЬТ

Примером комплексных географо-гидрологических исследований являются работы в дельтовых областях. Так, в результате многолетнего экспериментального изучения дельтовой области основного притока Байкала – р. Селенги – уточнены гидролого-морфологические характеристики дельты, получены новые сведения о водно-эрозионных и гидрохимических процессах, выявлены особенности трансформации растительных сообществ и антропогенных изменений территории, выполнено ее ландшафтно-гидрологическое зонирование [Корытный и др., 2012].

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПОРТА ВОДЫ

Существует пять основных возможных вариантов сибирского водного “спонсорства”.

Торговля “виртуальной” водой и энергией. Под этим понимается экспорт продукции, в производстве которой важнейшую роль играет использование воды. Сибирь уже давно в таком виде торгует ангарской (а фактически байкальской) и енисейской водой, продавая за рубеж алюминий и целлюлозу и собираясь продавать электроэнергию, используя полученные на основе дешевой воды и гидроэнергии конкурентные преимущества.

Торговля бутилированной водой. Потенциальный рынок такой воды безграничен. Однако пробиться на международный рынок бутилированной воды в условиях существующей на нем огромной конкуренции и с учетом высоких транспортных затрат на доставку воды очень трудно.

Переброска стока. Богатые водные ресурсы Сибири в первую очередь могут быть использованы ближайшими соседями с юга – Казахстаном и Центральной Азией, Монголией и Северным Китаем. Например, часть водного дефицита Северного Китая можно покрыть за счёт масштабной переброски воды по трубопроводу из Байкала [Безруков и др., 2011]. Однако здесь возникает немало проблем, особенно обострившихся маловодьем в бассейне озера.

Перевозка воды в цистернах по железной дороге. С одной стороны, это возможно: нефть и нефтепродукты перевозятся по Транссибу в огромных количествах. С другой стороны, для перевозки кубокилометров жидкости требуются годы и, вероятно, второй Транссиб.

Перевозка воды на крупнотоннажных судах-танкерах из устьев больших рек Сибири. К числу факторов, благоприятствующих реализации этого варианта, принадлежат следующие: дешевизна морских перевозок, минимальная степень воздействия на водные объекты, практически неограниченные возможности отбора воды из устьев великих сибирских рек – Енисея, Лены, Оби и др. Мешают неблагоприятные природные условия морей Северного Ледовитого океана и мелководность устьев подавляющего большинства сибирских рек, а также ухудшение качества воды многих из них.

Богатые водные ресурсы Сибири – стратегически важное экономическое и экологическое преимущество макрорегиона. Наступило время детально, разносторонне и на строгой научной основе рассмотреть возможности их использования не только для регионов страны, но и для испытывающего водный кризис мирового сообщества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Безруков Л.А. Роль водохозяйственного цикла в территориальной организации производительных сил Ангаро-Енисейского региона // География и природ. Ресурсы, 1990. – №4. – С. 117–125.

Безруков Л.А., *Корытный Л.М.,* Габидулина *Р.А.* Возможности использования водных ресурсов Сибири для решения проблемы глобального водного кризиса // Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока / Тр. Всерос. научной конференции, посвященной памяти выдающегося ученого-гидролога А.В. Рождественского. – Москва, 2012. – С. 306–315.

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. – М.: ГЕОС, 2006. – 256 с.

Корытный Л.М., Ильичёва Е.А., Павлов М.В., Амосова И.Ю. Гидролого-морфологический подход к районированию дельты р. Селенги // География и природ. Ресурсы, 2012. – №3. – С. 47–54.

Dartmouth Flood Observatory, 1985-2013 [электронный ресурс]: Global Register of Large Flood Events. Dartmouth College, Department of Geography (Hanover, USA). – http://www.dartmouth.edu/~floods/.

ASSESSMENT OF THE STATE AND UTILIZATION OF SIBERIA'S WATER RESOURCES IN THE EARLY 21ST CENTURY

Bezrukov L.A., Gagarinova O.V., Ilyicheva E.A., Kichigina N.V., and Korytny L.M.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Russia, Irkutsk

kor@irigs.irk.ru

ABSTRACT

We examine the water potential and the state of Siberia's water resources in the early 21st century. An analysis is made of the resources utilization and the associated problems, and the ways of resolving them are outlined. We investigate the issues related to the genesis and recurrence of floods and damage from them. Results from an experimental study of the Selenga river delta, the main tributary of Lake Baikal. The possibilities of exporting Siberian waters to neighboring countries are explored.

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ НИЖНЕЙ ВОЛГИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВКК ГЭС

Болгов М.В.[1], Бубер А.Л.[2], Лотов А.В.[3]

[1] Институт водных проблем РАН, Москва

[2] ФГБНУ "ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова", Москва

[3] Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, Москва

avlotov@mail.ru

Статья посвящена новой информационной технологии анализа сложных проблем и поддержки принятия решений в области рационального использования водных ресурсов Нижней Волги. Описывается методика анализа и поддержки принятия решения о выборе уровней обеспеченности санитарных, гидроэнергетических, транспортных, экологических и других требований, а также дается алгоритм управления попуском в нижний бьеф Волгоградского ГУ, реализующий эти уровни обеспеченности.

Используемая методика анализа сложных проблем принятия решений, используемая для поддержки принятия решений, направленных на рациональное использование водных ресурсов и устойчивое функционирование водохозяйственного комплекса Нижней Волги и всего Волжско-Камского каскада ГЭС (ВКК) в целом, основана на методах многокритериальной оптимизации и теории компромиссов.

Далее сформулирована задача выбора стратегического решения об уровнях обеспеченности, описывается информационная технология анализа проблем и поддержки принятия решений, а также приводятся примеры использования компьютерной визуализации для выбора стратегического решения о компромиссных уровнях обеспеченности и описываются основные черты алгоритмов управления попуском в НБ Волгоградского ГУ в период половодья, реализующих некоторое стратегическое решение об уровнях обеспеченности.

ЗАДАЧА ВЫБОРА СТРАТЕГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

В соответствии с требованиями Методических указаний разработки Правил использования водохранилищ, обеспеченность водопользователей по многолетнему ряду должна принимать следующие значения:

- санитарные попуски – 97–99%;
- гидроэнергетика – 85–95%;
- судоходство при поддержании глубин посредством попусков из водохранилищ – 85–90%;
- орошение и сельскохозяйственное обводнение – 75–90%;
- рыбное хозяйство – 75–90%.

Как показывает многолетняя практика, в настоящее время указанные цели в области обеспеченности потребностей водопользователей ВКК не достижимы. Водопользователи ВКК не обеспечены водой с достаточной надежностью и практически в каждый маловодный или средний по водности год возникает конфликт интересов. В данном исследовании, направленном на поиск компромиссного решения, рассмотрены следующие критерии, рационального использования водных ресурсов ВКК:

1. Наполнение всех водохранилищ каскада до уровня НПУ (**NPU**);
2. Производство электроэнергии ВКК ГЭС в зимнюю межень (**PGarant**);
3. Транспортный попуск в НБ Волгоградского ГУ не менее 5000 м^3/сек в летне-осеннюю межень (**Transp**);
4. Сельскохозяйственный попуск в НБ Волгоградского гидроузла в период половодья (не менее 108 км^3) (**Agro**);
5. Рыбохозяйственный (экологический) попуск в НБ Волгоградского гидроузла в период половодья (не менее 100 км^3) (**Ecol+Fish**).

На основе разработанной информационной технологии с использованием ретроспективного многолетнего гидрологического ряда за 1916–2013 гг. был решен ряд задач, связанных с анализом обеспеченности водопользователей ВКК ГЭС:

1. Получен ответ на вопрос о том, можно ли удовлетворить приведенные выше требования водопользователей по обеспеченности в случае современного состояния водохранилищ ВКК и действующих правил управления;
2. Для поддержки поиска компромиссной стратегии управления водохранилищами ВКК ГЭС

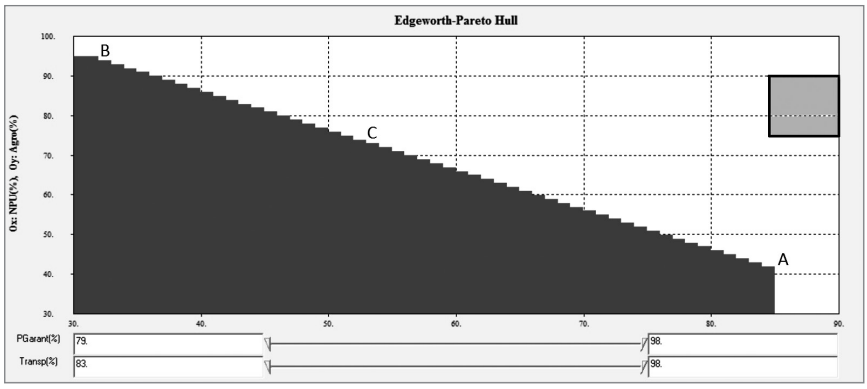


Рис. 1. Граница совокупности достижимых целей с тремя возможными компромиссными решениями и решениями допустимыми по обеспеченностям (серый квадрат)

в многолетнем разрезе на основе согласования требований водопользователей разработано диалоговое программное обеспечение. На основе компромиссного стратегического решения предложены два алгоритма оперативного управления Волгоградским ГУ в период половодья.

3. Разработана методика и инструментарий для анализа мероприятий по улучшению состояния и совершенствованию правил управления ВКК, которые в многолетнем разрезе могут увеличить обеспеченность водопользователей.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА ПРОБЛЕМ И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Для решения этих задач был использован метод диалоговых карт решений/достижимых целей (ДКР/МДЦ) [Лотов и др., 1997; Lotov et al, 2004]. В рамках этого метода на основе математической модели ВКК ГЭС информация о достижимых целях предоставляется в наглядном графическом виде, а их наиболее предпочтительное сочетание указывается специалистами на границе совокупности достижимых целей (на так называемой неулучшаемой границе). Предварительно была разработана и откалибрована математическая модель водохозяйственных расчетов, соответствующая трем поставленным выше задачам. При построении модели были использованы данные утвержденных правил использования водных ресурсов водохранилищ Волжско-Камского каскада ГЭС. Был сформулирован набор ограничений, накладываемых на технические параметры водохранилищ ВКК, в том числе на попуск в нижний бьеф Волгоградского ГУ (на характерные уровни и объемы воды: ФПУ, НПУ, УНС, УМО, сбросные расходы в нижний бьеф, мощность и пропускную способность агрегатов ГЭС и т.д.). На основе этих ограничений была описана совокупность возможных альтернативных вариантов суммарных попусков в половодье, летне-осеннюю и зимнюю межени. При формировании критериев использовались современные требования водопользователей (энергетика, водный транспорт, сельское хозяйство, рыбное хозяйство, экология). Математическая модель позволяет на основе использования многолетнего гидрологического ряда за 1916–2013 гг. рассчитать значения рассматриваемых критериев для каждого варианта попуска.

Технология ДКР/МДЦ основана на построении всей совокупности достижимых целей и ее визуализации в графическом виде. Дается возможность не только изучить связь между критериями, но и указать наиболее предпочтительное достижимое сочетание значений критериев. С помощью алгоритмов, разработанных в рамках ДКР/МДЦ, с использованием упомянутой модели и ретроспективного гидрологического ряда за 1916–2013 годы удалось построить совокупность достижимых целей по пяти перечисленным выше критериям. На рисунке 1 приведен пример изучаемых изображений: совокупность достижимых целей (черный цвет) для двух критериев – NPU (горизонтальная ось) и Agro (вертикальная ось) при достижимых значениях критериев PGarant, Transp и Ecol+Fish. Заданная цель по критериям NPU и Agro дана серым. Как видно, требования, сформулированные выше, одновременно выполнены быть не могут, т.е. указанная цель недостижима. Таким образом, приведенные выше требования водопользователей по обеспеченности в случае современного состояния водохранилищ ВКК и действующих правил управления, одновременно удовлетворить невозможно. Поэтому требуется искать компромиссное решение.

Рассмотрим границу ВСА, отделяющую возможные (достижимые) значения критериев от недостижимых значений (неулучшаемую границу):

– Точка А соответствует максимальному приоритету критерия NPU. При этом NPU = 84%, PGarant = 88%, Transp = 97%, Agro = 44%, Ecol+Fish = 44%. Как видим, значения обеспеченности сельскохозяйственного, экологического и рыбного попусков неудовлетворительны.
– Точка В соответствует максимальному приоритету с/х попуска. При этом NPU = 3%, PGarant= 87%, Transp = 77%, Agro = 96%, Ecol+Fish = 96%. Показатели обеспеченности по наполнению водохранилищ до НПУ неудовлетворительны.
– Точка С соответствует сбалансированному решению с обеспеченностью сельскохозяйственного попуска не менее 75%. При этом NPU = 53%, PGarant = 89%, Transp = 84%, Agro = 76%, Ecol+Fish = 82%. Показатели обеспеченности по наполнению водохранилищ до НПУ также неудовлетворительны.

Анализ этих (а также и других, более сложных изображений) границ совокупности достижимых целей позволяет оценить связь между критериями и выбрать компромиссный набор величин обеспеченностей. Важно, что программное обеспечение метода ДКР/МДЦ позволяет делать это в интерактивном режиме и сравнительно быстро получить полное представление об этих границах.

На основе программного обеспечения метода ДКР/МДЦ была также разработана методика анализа мероприятий по улучшению состояния и совершенствованию правил управления ВКК ГЭС, которые в многолетнем разрезе могут увеличить обеспеченность требований водопользователей.

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОПУСКОМ В НБ ВОЛГОГРАДСКОГО ГУ В ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ

В этом разделе описываются два алгоритма управления попуском в нижний бьеф Волгоградского ГУ (простой и усложненный), по-разному учитывающих неопределенность в прогнозе приточности в период половодья. Оба алгоритма реализуют стратегическое решение об уровнях обеспеченности санитарных, гидроэнергетических и транспортных требований к ВКК при учете экологических требований бассейна Нижней Волги. В стратегическом решении предполагается, что при 99% обеспеченности санитарного попуска выбрана следующая неулучшаемая достижимая стратегическая цель: – обеспеченность наполнения водохранилищ до уровня НПУ – 85%;

– обеспеченность выполнения требований к производству электроэнергии ВКК в зимнюю межень – 96%;
– обеспеченность транспорта в летне-осеннюю межень – 96%;
– обеспеченность рыбных и экологических требований – 40%.

Подчеркнем, что, исходя из статистики приточности за 1916–2013 гг., обеспеченность 85% наполнения водохранилищ до уровня НПУ является максимальной возможной обеспеченностью. В то же время, обеспеченность 40% попуска в половодье в объеме не менее 100 км^3 позволяет обеспечивать реализацию “рыбохозяйственной полки” практически каждый второй год. Кроме того, довольно высокий уровень попуска в нижний бьеф Волгоградского ГУ (более 120 км^3 в половодье) и “сельскохозяйственная полка” будут реализованы в среднем каждый четвертый год. Это должно удовлетворить экологические требования и требования рыбного хозяйства, включая как осетровые, так и частиковые виды, а также в значительной степени – требования сельского хозяйства. Заметим, что описываемые далее алгоритмы при необходимости могут быть адаптированы к любой другой достижимой цели в области обеспеченности гидроэнергетических, транспортных требований при учете экологических требований бассейна Нижней Волги.

Алгоритмы базируются на качественной оценке прогноза половодья: многоводное половодье, маловодное половодье и половодье промежуточного типа. Как показывает анализ многолетней статистики половодья ВКК за 1916–2013 гг., по величине стока все годы можно разбить на три большие группы:

Группа I. Многоводное половодье – воды достаточно для заполнения всех водохранилищ ВКК до уровня НПУ и одновременно для выполнения экологических, рыбных и (в значительной степени) сельскохозяйственных требований попуска в нижний бьеф Волгоградского ГУ не менее 100 км^3 (суммарная приточность ВКК за половодье в такие годы составляет более 159 км^3). За период 1916–2013 гг. такие годы составляют около 40%.

Группа II. Среднее по водности половодье – воды недостаточно для заполнения всех водохранилищ ВКК до уровня НПУ и для выполнения требований попуска в нижний бьеф Волгоградского ГУ в 100 км^3, но все водохранилища ВКК могут быть заполнены до уровня НПУ при санитарном попуске в нижний бьеф Волгоградского ГУ (суммарная приточность ВКК за половодье составляет менее 159 км^3, но более 119 км^3). За период 1916-2013 гг. такие годы составляют около 46%.

Группа III. Маловодное половодье – воды недостаточно для заполнения всех водохранилищ ВКК до уровня НПУ даже при санитарном попуске в нижний бьеф Волгоградского ГУ (суммарная приточность ВКК за половодье составляет менее 119 км^3). За период 1916–2013 гг. такие годы составляют около 14%.

В разработанных алгоритмах целью управления в годы многоводного половодья является как заполнение всех водохранилищ ВКК до уровня НПУ, так и выполнение экологических, рыбных и (по возможности) сельскохозяйственных требований. В годы половодья промежуточного типа главной целью управления является заполнение водохранилищ ВКК, причем по возможности должны выполняться экологические и рыбные требования. В маловодные годы целью является максимально возможное заполнение водохранилищ ВКК при выполнении санитарного попуска. Учет неопределенности в прогнозе приточности в период половодья в простом алгоритме базируется на построении наиболее вероятного гидрографа приточности, по которому находится решение – гидрограф попуска в НБ Волгоградского ГУ, на котором достигаются цели, выбранные в соответствии с типом ожидаемой приточности. В усложненном алгоритме неопределенность в прогнозе учитывается на основе построения нескольких гидрографов приточности и соответствующих гидрографов попуска, а гидрограф попуска в НБ Волгоградского ГУ выбирается на основе решения Межведомственной оперативной группы (МОГ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К., Черных О.Л. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей. – М.: Наука, 1997.

Lotov A.V., Bushenkov V.A., Kamenev G.K. Interactive Decision Maps. Approximation and Visualization of Pareto Frontier. Boston: Kluwer, 2004.

LOWER VOLGA WATER RESOURCES MANAGEMENT BY USING INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE ANALYSIS OF PROBLEMS RELATED TO USERS' RELIABILITY

Bolgov M.V.[1], Buber A.L.[2], Lotov A.V.[3]

[1] *Water Problems Institute, RAS, Russia*

[2] *All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation , VNIIGiM , Russia*

[3] *Dorodnicyn Computing Centre of Russian Academy of Sciences, Russia, avlotov@mail.ru*

ABSTRACT

The paper is devoted to the new information technology for complex problem analysis and decision support in the field of rational application of Lower Volga water resources.

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ПАРАДИГМА УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ ИРТЫШ

Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

bella@iwep.ru

Рассмотрены особенности управления водопользованием в национальных сегментах трансграничного бассейна р. Иртыш, обосновывается необходимость внедрения и усиления институциональной парадигмы устойчивого водопользования в нем.

В свете последних документов Рио+20 "Будущее, которого мы хотим" все большее звучание получает институциональная парадигма, которая рассматривает устойчивое состояние как достижение согласия и институциональное развитие и предусматривает, во-первых, достижение формальных целей – "развитие социально-экономической системы с высоким потенциалом целостности, так как оно находится в пределах экономических, социальных и культурных, экологических и физических ограничений; и, во-вторых, развитие, по которому люди, в него вовлеченные, достигают согласия". Данный подход имеет рекомендательный, а не императивный характер и проявляется в зависимости от уровня и объекта управления.

Институциональный фактор устойчивого развития на глобальном (международном уровне) реализуется через систему международных договоров и конвенций [Хельсинские правила…, 1966; Конвенция…, 1992]. На национальном уровне институциональный фактор реализуется через конструирование форм собственности на природные ресурсы и их разграничение между субъектами хозяйствования. Институциональные аспекты обеспечения устойчивого водопользования особенно важны в условиях трансграничности, когда состояние водного объекта, количество и качество водных ресурсов определяется процессами водопользования, осуществляемыми в разных национальных сегментах бассейна с учетом собственных интересов в рамках собственной институциональной среды.

На территории трансграничного бассейна р. Иртыш, самого крупного притока р. Оби, который берет начало в Монголии и, не представляя для нее водохозяйственного интереса, пересекает территории Казахстана, Китая и России, являясь важным источником водоснабжения в них. В бассейне Иртыша насчитывается 232,7 тыс. рек, из них 23 реки имеют длину более 500 км. Самые большие притоки р. Иртыш – рр. Ишим и Тобол – являются трансграничными между Казахстаном и Россией (таблица 1). Река Ишим – самый длинный левый приток Иртыша. Впадает в р. Иртыш на северо-западе Омской области (у г. Усть-Ишим), на 1016-м км от устья. В бассейне р. Ишим насчитывается свыше 2300 водотоков, большинство из них (84%) имеет длину менее 10 км, 325 рек – от 10 до 50 км, 10 рек – от 50 до 100 км и 14 рек – от 100 до 500 км. Суммарная длина всех водотоков 18,2 тыс. км, рек длиной более 10 км – 13,2 тыс. км. Наиболее крупные притоки в нижнем течении реки – Карасуль, Китерня, Ир, Яузяк, Барсук, Ик, Тенис (в Тюменской области), Тентис и Большая Цва (в Омской области). Река Тобол – дважды трансграничная река, ее сток формируется на российской территории, поступает на территорию Казахстана и возвращается в Россию, приняв около 0,8 км^3/год с казахской территории. Почти 15% площади бассейна Тобола (62 тыс. км^2) приходится на бессточ-

Таблица 1. Основные показатели трансграничных рек бассейна р. Иртыш [Отчет …, 2012]

РЕКА	ПОКАЗАТЕЛИ	ВСЕГО	ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВ		
			КИТАЙ	КАЗАХСТАН	РОССИЯ
Иртыш (весь бассейн)	Площадь бассейна, тыс. км^2 (%)	1650	48(2,9%)	876 (53,1)	726(44%)
	Протяжённость реки, км	4248	618	1589	2041
Ишим	Площадь бассейна, тыс. км^2 (%)	162		128,2(79,1)	33,8 (20,9)
	Протяжённость реки, км	2450		1723	667
Тобол	Площадь бассейна, тыс. км^2 (%)	426		99(23,2%)	327(76,8%)
	Протяжённость реки, км	1591		583	1008

ные области. Наиболее крупные притоки: слева – Уй, Исеть, Тура, Тавда; справа – Убаган.

В каждой из названных водохозяйственных систем сложились собственные национальные сегменты водопользования и институты управления ими. Сравнительный анализ системы законодательной среды трех стран бассейна р. Иртыш в области водопользования показал близость этих систем в России и Казахстане, которые формировались на единой основе. Имеются различия в разделении отношений права собственности и управления отдельными водными объектами, когда в России водные объекты находятся в федеральной собственности, за исключением случаев, когда пруд, обводненный карьер, расположенные в границах земельного участка, принадлежащего на праве собственности субъекту Российской Федерации, муниципальному образованию, физическому или юридическому лицу, находятся, соответственно, в собственности субъекта РФ, муниципального образования, физического лица, юридического лица, если иное не установлено федеральными законами. При этом физические или юридические лица приобретают право пользования поверхностными водными объектами на основании лицензий на водопользование, договоров и решений о предоставлении водных объектов в пользование [Водный кодекс …, 2006].

В Республике Казахстан водный фонд включает совокупность всех водных объектов в пределах территории Республики Казахстан, включенных или подлежащих включению в государственный водный кадастр и находится в исключительной государственной собственности. Право владения, пользования и распоряжения водным фондом осуществляет Правительство Республики Казахстан (ст. 8 ВК РК). Физическим и юридическим лицам может предоставляться право пользования водными объектами в порядке специального, обособленного или совместного пользования на определенный срок (краткосрочный – до 5 лет, долгосрочный – до 49 лет). Но в отличие от Водного кодекса РФ, в Казахстане предусмотрена, помимо государственной, и частная собственность на водохозяйственные сооружения [Водный кодекс, 2012].

В Китае формирование институтов в области экологического менеджмента началось в конце 70-х годов прошлого столетия, и первый Водный кодекс КНР был принят в 1988 г. Вторая действующая редакция Водного кодекса была принята 29 августа 2002 г., в соответствии с ним государство осуществляет стратегическое планирование водных ресурсов в масштабах всей страны, а освоение, использование, экономия, охрана водных ресурсов, предотвращение наводнений и иных бедствий, связанных с водной сферой, регулируется по речным бассейнам и регионам. В Водном кодексе впервые в практике водного и, в значительной степени, всего природоохранного законодательства страны был введен принцип жесткой увязки планирования с наиважнейшими хозяйственными параметрами. Общие и некоторые специализированные планы речных бассейнов и районов должны быть скоординированы с государственными планами социально-экономического развития [Лузянин, 2013; Ревский, 2006].

При этом, Правительство КНР, признавая сложность и исключительную значимость вопросов водопользования, определило невозможность их решения усилиями одного центра. Было официально заявлено, что в дальнейшем ответственность за реализацию большей части водных и водохозяйственных проектов будет возложена на региональные структуры и местные органы власти. Хотя, как правило, ресурсы питьевой воды определяются базовым водным потенциалом, и Правительство Китая прилагает очень большие усилия для решения проблемы питьевой воды, делая акцент на разработку и внедрение энерго- и водосберегающих технологий, а также современные технические решения в области водоподготовки и очистки сточных вод. В этом существенное отличие экологического менеджмента в Китае от России и Казахстана, где управление водными ресурсами более централизовано, то есть в Китае при достаточно жестком стратегическом планировании развития страны тактические формы их реализации передаются на региональный или местный уровень.

Таким образом, каждый из национальных сегментов водопользования в трансграничном бассейне р. Иртыш функционирует в рамках собственного национального законодательства; имеющиеся соглашения в области международного сотрудничества между странами бассейна не закрывают весь спектр вопросов, требующих совместного решения. Методология интегрированного управления водными ресурсами, особенно актуальная в трансграничных бассейнах, принята на международном уровне, декларируется отдельными странами, но остается не реализованной и даже не согласована методически. В настоящее время международными комиссиями Казахстана – КНР и Казахстана – России обсуждаются и решаются лишь тактические вопросы водопользования, стратегические проблемы интегрированного управления бассейновыми системами в целом даже не обсуждаются.

Среди общесистемных проблем бассейна, связанных главным образом с неравномерным формированием его стока и нерациональным характером

его использования, следует назвать недостаточное развитие институциональной среды управления трансграничными водными ресурсами. Данная проблема многокомпонентна, и ее следует рассматривать несколько шире, чем только с позиций водопользования. Она распадается, прежде всего, на вопросы международного регулирования, так как КНР не является субъектом международных отношений в области трансграничного водопользования, не подписав основополагающие соглашения в этой области Конвенции об охране и использовании трансграничных водотоков и международных озер (1992 г.) и о праве несудоходных видов использования международных водотоков (1997 г.) [Хельсинские правила…, 1966; Конвенция…, 1992]. Трансграничное сотрудничество в бассейне р. Иртыш реализуется на двусторонней основе между странами – участниками Казахстан – Китай и Казахстан – Россия. Китай отказывается от трехстороннего сотрудничества в этом вопросе и имеет определенные договоренности лишь с Казахстаном, не касающиеся конкретных объемов вододеления. Основой межгосударственного сотрудничества в сфере водных отношений между Казахстаном и Китаем является "Соглашение о сотрудничестве в сфере использования и охраны трансграничных рек" от 12.09.2001 г. (г. Астана), а также два межправительственных соглашения (февраль, июнь 2011 года) в области контроля качества трансграничных рек и в области охраны окружающей среды [Соглашение…, 1998]. В них заложены обязательства двух государств по сотрудничеству в области обеспечения качества воды, охраны, контроля и мониторинга трансграничных рек и других объектов окружающей среды; включены нормы по сотрудничеству в области принятия мер предупреждения и ликвидации загрязнения воды в трансграничных реках; создана казахстанско-китайская Комиссия по сотрудничеству в области ООС, но по вопросу лимитов водозабора стороны не смогли выработать единую позицию [Международно-правовые механизмы…, 2011].

Казахстанско-российские водные отношения регулируются Соглашением между Правительствами Республики Казахстан и Российской Федерации о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов от 7.09.2010 г., принятым взамен одноименного соглашения 1992 г.; создана совместная Казахстанско-Российская комиссия по совместному использованию и охране трансграничных водных объектов, в числе функций которой организация разработки совместных мероприятий в области рационального использования и охраны трансграничных водных объектов; установление параметров стока в согласованных пограничных створах трансграничных водных объектов, обеспечение их соблюдения; изменение параметров вододеления на основе совместно выполненных водохозяйственных и экономических расчетов при изменении водохозяйственной ситуации в бассейнах трансграничных водных объектов; рассмотрение водохозяйственных мероприятий на трансграничных водных объектах, планируемых к реализации на территориях РФ и РК, способных оказать трансграничное воздействие, а также порядка проведения совместной оценки воздействия планируемых мероприятий на окружающую среду и др.

В рамках данной комиссии созданы рабочие группы по бассейнам рек Ишим, Иртыш, Тобол, Урал, Большой и Малый Узени [Российско-Казахстанская Комиссия…, 2007]. Но до сих пор остаются вопросы отсутствия действенных и согласованных экономически и юридически нормативно-правовых механизмов регулирования водопользования с межнациональных и межрегиональных позиций. Нет согласованных лимитов вододеления, что особенно актуально в маловодные годы и сезоны; нет и жестко согласованных графиков попусков трансграничных вод с учетом безопасного функционирования имеющихся ГТС и водохозяйственных систем; отсутствует или низка технологическая дисциплина водопользования на предприятиях – основных потребителях водных ресурсов и в жилищно-коммунальных хозяйствах крупных городов; велики потери водных ресурсов в открытых водоемах и каналах. Разработанный Модельный Водный Кодекс Стран Содружества [Винокуров, 2011] так и остался "модельным", а каждая страна работает в рамках национального законодательства, не согласованного с другими государствами.

В условиях несформированности институтов собственности и прав распоряжения ею в странах бассейна важно выработать сбалансированную политику водопользования и создать институты, способные ее реализовать; сформировать единую систему ведения международного комплексного мониторинга, охватывающего вопросы формирования водных ресурсов, функционирования гидротехнических систем и пространственно-временных режимов их использования, включая паспортизацию опасных производств и декларирование гидротехнической безопасности. На этом этапе важна регулирующая роль государства, обеспечивающая согласование интересов стран – участниц как в области водопользования в рамках национальных стратегий социально-экономического развития, так и сохранения водных объектов бассейна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Винокуров Ю.И. Институциональные аспекты устойчивого водопользования в трансграничном бассейне р. Иртыш / Ю.И. Винокуров [и др.]. // Российско-Казахстанский трансграничный регион: история, геоэкология и устойчивое развитие / Под ред. чл.-кор. РАН А.А. Чибилева. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 181-195.

Водный кодекс Российской Федерации [принят 12 апреля 2006 г.]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/popular/waternew/78_1.html#p26.

Водный кодекс Республики Казахстан: [принят 9 июля 2003 г.]: офиц. текст: по состоянию на 10.07.2012 г.

Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. – Хельсинки, 1992.

Лузянин С. Китай, Казахстан, Россия: экологические проблемы трансграничных рек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.cawater-info.net./bk/water-Caw/10-0.htm

Международно-правовые механизмы определения правового статуса реки Иртыш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eurasialegal.info /index.php?option=com_content&view=article&id=1644:2012-12-17-09-06-53&catid=116:2011-09-19-12-34-31&Itemid=1

Отчет НИР "Анализ практики решения трансграничных водных проблем в Российской Федерации". Госконтракт №52-НИОКР/4-13-2012 от 26.11.2012

Ревский А. Фактор воды: эгоизм Китая грозит Казахстану экологической катастрофой. 31.08.2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.apn.kz/publications/article5569.htm.

Российско-Казахстанская Комиссия по совместному использованию и охране трансграничных водных объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.unece.org/env/documents/...2/ECE.MP.WAT.WG.2.2007. 15.e.pdf

Соглашение об основных принципах взаимодействия в области рационального использования и охраны трансграничных водных объектов государств – участников СНГ. – Москва, 1998.

Хельсинские правила использования вод международных рек. – Хельсинки, 1966.

INSTITUTIONAL PARADIGM OF STEADY WATER USE IN THE TRANSBOUNDARY IRTYSH RIVER BASIN

Vinokurov Yu.I., Krasnoyarova B.A.

Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Barnaul, Russia, bella@iwep.ru

ABSTRACT

Features of water use management in national segments of the transboundary basin of the Irtysh River are considered, and need of introduction and strengthening of an institutional paradigm of steady water use is substantiated in this paper.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ: ИТОГИ И УРОКИ ПАВОДКОВЫХ СИТУАЦИЙ

Винокуров Ю.И.[1], Резников В.Ф.[1], Рыбкина И.Д.[1], Понько В.А.[1], Губарев М.С.[1], Онищенко Э.Г.[1], Кормаков В.И.[2]

[1] Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

[2] Отдел водных ресурсов по Алтайскому краю ВОБВУ, Барнаул

rvf@iwep.ru

В докладе приводится анализ последствий катастрофических половодий на Алтае, в Новосибирской области в 2014 и 2015 годах. Определены факторы, способствующие усилению паводковых ситуаций. Предложен современный подход к решению проблемы обеспечения гидроэкологической безопасности регионов на основе применения упреждающего прогноза экстремальных гидрометеорологических явлений.

В настоящее время все более актуальными становятся проблемы обеспечения гидроэкологической безопасности регионов.

Решение этой проблемы включает в себя снижение рисков и минимизацию ущербов от негативного воздействия вод, обеспечение защищенности населения и объектов экономики от наводнений, обеспечение надежности гидротехнических сооружений, регулирование и регламентацию хозяйственного использования территорий, подверженных периодическому затоплению и воздействию других опасных гидрологических явлений.

В 2013 году на территории Дальнего Востока, в 2014 году на Алтае, в Хакасии и Тыве, на Лене имели место чрезвычайные гидрологические ситуации, в связи с прохождением экстремальных, трудно прогнозируемых паводков редкой повторяемости. Фактически это были паводки одного порядка и схожего генезиса.

Последствия паводковых ситуации были катастрофическими для этих регионов. По масштабам проявления, нанесенному экономическому ущербу, количеству пострадавшего населения, прошедшие паводки классифицировались как природные чрезвычайные ситуации федерального характера.

Всего от паводка 2014 г. на юге Сибири пострадало более 70 тыс. человек. В зону затопления в 46 районах попало более 20 тыс. домов, разрушены и повреждены десятки автомобильных и пешеходных мостов, повреждены сотни километров автомобильных дорог, подтоплены несколько тысяч гектаров посевов, погибло несколько сотен голов домашнего скота и т.д.

Среди основных причин возникновения ЧС такого масштаба, необходимо отметить недостаточную надежность прогнозирования гидрометеорологических явлений при неполноте исходной гидрометеорологической информации; недостаточный уровень и объем обеспечения инженерной защиты территорий от наводнений и другого негативного воздействия вод; нерегламентированную хозяйственную деятельность на территориях, подверженных периодическому затоплению; недостаточную эксплуатационную надежность и безопасность гидротехнических сооружений и других объектов инженерной защиты территорий; нерешенность задач развития системы регулирования речного и паводочного стока; недостаточный уровень финансирования противопаводковых мероприятий, даже с учетом дополнительного выделения федеральных средств; и др.

Уже сейчас требуется проведение корректировок утвержденных и разрабатываемых “Схем комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Сибири и Дальнего Востока” с учетом полученного опыта и использования наилучших региональных практик по предотвращению негативного воздействия вод и обеспечения гидроэкологической безопасности регионов.

Анализ паводковых ситуаций прошлых лет показывает, что риск наводнений и иного негативного воздействия вод будет сохраняться и усиливаться в будущем не только в связи с природно-климатическими изменениями последних лет, но и в связи с развивающимся освоением периодически подтапливаемых территорий, а также недостаточной надежностью прогнозирования гидрологических процессов. Об этом свидетельствует паводок 2015 года на территории бассейна Верхней Оби.

На водосборах бассейна Верхней Оби к началу снеготаяния были накоплены значительные запасы снега, особенно в равнинной части и предгорьях. В подавляющем большинстве районов Алтайского края снегозапасы оказались в 1,5–2 раза выше среднемноголетних величин. Ранний снежный покров в ноябре и теплая погода в январе 2014 г. способ-

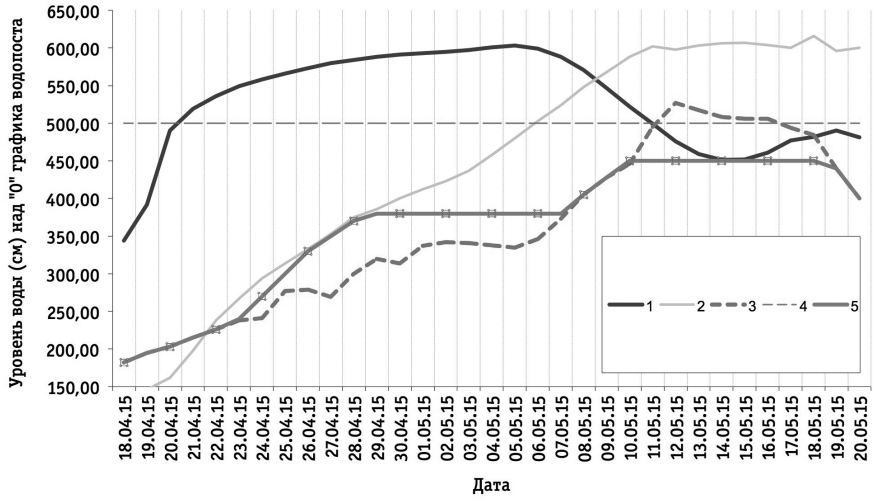


Рис. 1. График возможной коррекции уровня в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища при прохождении половодья 2015 г.

Условные обозначения: 1 – уровни по посту р. Обь – г. Барнаул;
2 – уровни по посту р. Обь – ГЭС, верхний бьеф;
3 – уровни по посту р. Обь – г. Новосибирск, нижний бьеф;
4 – уровень подтопления по посту р. Обь – г. Новосибирск, нижний бьеф;
5 – корректировка уровня по посту р. Обь – г. Новосибирск, нижний бьеф.

ствовали промерзанию почвы ниже среднемноголетних значений на 25-35%. Обильные дожди в сентябре-октябре 2014 года обеспечили повышенный влагозапас в почве. Все это послужило природно-климатическим фоном паводка 2015 года.

В конце первой декады апреля установились положительные среднесуточные температуры воздуха. Интенсивное снеготаяние в лесостепной и степной зонах Алтайского края обусловило значительный поверхностный сток и разлив малых рек, часть из которых не успела вскрыться ото льда, это привело к подтоплению жилых и хозяйственных объектов, в первую очередь на низинных участках. К середине апреля оказались подтопленными 43 населенных пункта в 20 муниципальных образованиях края, повреждены 80 автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения.

Сложная ситуация с подтоплениями обозначилась в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС. График пропуска весеннего половодья Новосибирского водохранилища планировался в соответствии с долгосрочным прогнозом весеннего половодья Росгидромета и был утвержден 2 апреля 2015 г.

Динамика роста уровня и расхода в Оби в районе Барнаула с 21 апреля по 2 мая 2015 г. и высокие уровни на 2 мая по р. Чумыш, в Тальменке, позволяли предположить поступление достаточных объемов воды для наполнения водохранилища до уровня НПУ. Соответственно, следовало с ростом интенсивности притока увеличить сброс воды через плотину, когда отметки уровня в нижнем бьефе были еще далеки от критических. Однако в результате ведомственной разобщенности (в плане гидрометеорологического обеспечения и регулирования стока Оби на Новосибирской ГЭС), 11 мая “критическая отметка подтопления поймы” в нижнем бьефе была пройдена. Подтопленными оказались дачные поселки, застроенные в пойме, на подтопляемых землях, местами в водоохраной зоне.

Теоретически, пропуск паводковой волны через Новосибирское водохранилище неглубокого сезонного регулирования (объем призмы составляет 4,4 км^3, при среднемноголетнем объеме стока Оби 55 км^3) в 2015 году мог быть следующим. Уровень воды на г/п р. Обь – г. Барнаул достиг критической отметки 21 апреля и нарастал до пика в 603 см, зафиксированного 5 мая (рис. 1). Это и должно было определить схему регулируемого сглаживания паводковой волны на Новосибирской ГЭС. Через 6 дней, 11 мая, волна паводка, дополняемая стоком Чумыша и других рек, доходит до створа ГЭС. На этапе роста волны можно было посуточно повышать сброс воды в нижний бьеф, для достижения “первой критической” отметки 350 см. При прохождении пика паводка следовало регулировать сброс через плотину таким образом, чтобы держать уровни в нижнем бьефе в пределах 440–460 см над “0” водпоста, что позволило бы значительно сократить масштаб подтопления поймы.

Для корректировки графика, возможно, не хватило более детальной информации о состоянии снегозапасов по всей территории Верхнеобского бас-

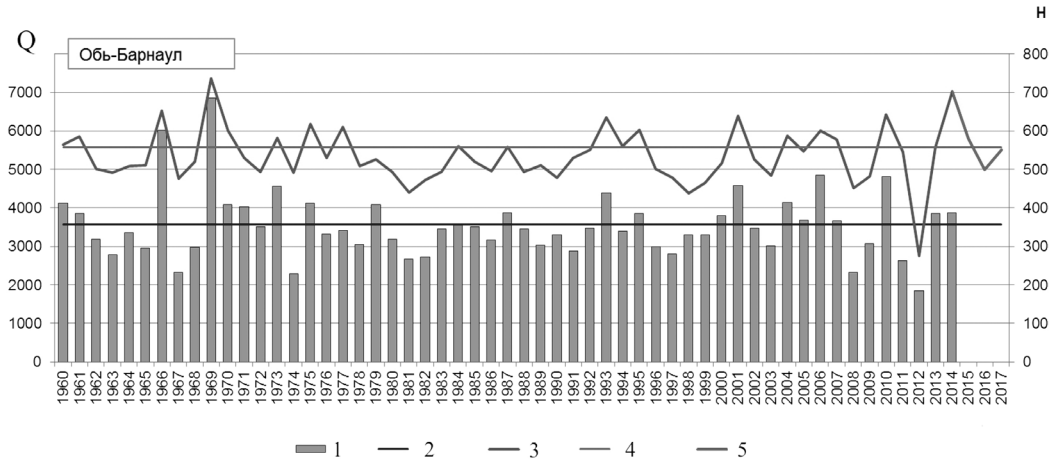


Рис. 2. Диаграмма фактических и прогнозных значений максимального уровня по р. Обь – г. Барнаул.

Условные обозначения: 1 – наблюденные максимальные расходы воды (Q, м^3/с) мая–июня;
2 – среднемноголетний максимальный расход за май-июнь (N Q, м^3/с);
3 – максимальный наблюденный уровень (Hmax, см);
4 – среднемноголетний максимальный уровень (N Hmax, см);
5 – прогнозное значение максимального уровня (H, см)

Таблица. Прогнозные и фактические уровни весеннего половодья 2015 г.

ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ	ПУНКТ НАБЛЮДЕНИЯ	УРОВЕНЬ ФАКТИЧЕСКИЙ, СМ	ДАТА НАБЛЮДЕНИЯ	УРОВЕНЬ ПРОГНОЗНЫЙ, СМ	ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗА,%
р. Катунь	с. Сростки	503	23 апреля	603	99,4
р. Бия	г. Бийск	430	23 апреля	560	76,8
р. Обь	г. Барнаул	603	5 мая	580	96,2
Р. Чумыш	п. Тальменка	982	1 мая	970	98,8

сейна и долгосрочного прогноза среднесуточных температур в период снеготаяния. К сожалению, отсутствие подобной информации связано со значительным сокращением сети гидрометеорологических наблюдений на территории Верхнеобского бассейна и прилегающих к нему регионов.

Критически важным фактором своевременного выявления и прогнозирования негативных процессов, разработки и реализации мер по их предотвращению является достоверность гидрометеорологических прогнозов.

В ходе заседания Правительственной комиссии от 26.02.2014 г. Министерству природы и экологии РФ, Росгидромету, Российской академии наук было поручено обеспечить приоритетное развитие системы прогнозирования и выпуска предупреждений об опасных гидрологических явлениях на территории Российской Федерации на базе инновационных технологий. Позднее, вопросы обеспечения достоверного прогноза содержались и в Перечне поручений Президента РФ Правительству России по итогам совещания по вопросу ликвидации последствий паводка на Алтае, в Хакасии и Тыве в июне 2014 года.

Исследования, связанные с разработкой сверхдолгосрочного, долгосрочного и краткосрочного прогнозирования цикличности климатических изменений, и водности, для территорий Дальнего Востока и Сибири, давно и успешно ведутся в Институтах Сибирского отделения РАН, в том числе и в Институте водных и экологических проблем.

Еще в 2012 году в Институте был выполнен фоновый прогноз водности в бассейне Верхней Оби на период до 2015 года. Прогноз показал превышение речного стока 2 квартала 2014 года над нормой в этот период, и определил решающую роль дождевых осадков в этом процессе. В 2015 году в ИВЭП СО РАН совместно с НЦ "Экопрогноз", на основе оригинальной методики [Понько, 1996], был выполнен прогноз максимальных уровней весеннего половодья на 2015–2017 годы по Верхнеобскому бассейну [Гидрологический…, 2015]. Долгосрочный прогноз ожидаемых максимальных уровней воды, составленный на 01.04.2015 г. по ряду наиболее значимых, с точки зрения участия в формировании объема стока весеннего половодья пунктов наблюдения (рис. 2), оправдался более чем

на 77%. В частности, максимальный фактический уровень на р. Катунь – с. Сростки наблюдался 23 апреля 2015 г. и составил 503 см, прогнозное значение уровня – 500 см, точность прогноза – 99,4% (см. таблицу).

Полученные результаты прогноза позволяют говорить о том, что предложенная методика заслуживает самого серьезного внимания и дальнейшего развития, а также практической апробации и внедрения.

Как отмечалось в Водной стратегии РФ, сегодня необходим переход от стратегии индивидуальной защиты объектов к комплексной системе мер, предусматривающей оценку и управление всеми рисками на основе повышения надежности прогнозирования гидрологических процессов, сравнительной технико-экономической оценки вариантов защитных мероприятий и планировочных решений и научно обоснованных подходов к обеспечению гидроэкологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гидрологический прогноз для Алтайского края на 2015, 2016, 2017 годы / Аналитическая записка. ИВЭП СО РАН. НЦ "Экопрогноз-2". Барнаул – Новосибирск, 2015. – 13 с.

Понько В.А. Система ЭКОПРОГНОЗ. Способы оценки и прогнозирования природных аномалий – РАСХН. Сиб. отд-ние. Новосибирск, 1996. – 95 с.

ENSURING HYDROECOLOGICAL SAFETY IN THE REGIONS: MANAGEMENT OF FLOOD SITUATIONS

Vinokurov Yu.I.[1], Reznikov V.F.[1], Rybkina I.D.[1], Pon'ko V.A.[1],Gubarev M.S.[1], Onishchenko E.G.[1], Kormakov V.I.[2]

[1] Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia, rvf@iwep.ru

[2] Altai Krai Department for Water Resources, Barnaul, Russia, altaiwater22@mail.ru

ABSTRACT

The paper presents the analysis of disastrous effects of inundation in Altai – in 2014-2015. The factors contributing to flood intensification were determined. The modern approach to solving the problem of ensuring hydroecological safety of regions based on the anticipatory forecast of extreme hydrometeorological events.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КАМСКОГО БАССЕЙНОВОГО ВОДНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Гагарина О.В.[1] , Артемьева Е.А.[2]

[1] Удмуртский государственный университет, Ижевск

olgagagarina@mail.ru

[2] Отдел водных ресурсов Камского БВУ по УР, Ижевск

ovrur@list.ru

Исследуются структуры водопотребления и водоотведения регионов Камского бассейнового водного управления. Выявляются особенности структуры водопользования Удмуртской Республики в сравнении с другими регионами данного бассейнового управления.

Региональные структуры водопользования отличает большое разнообразие, вытекающее из эколого-географического положения регионов и типов природопользования, представленных на данной территории. Структура хозяйства региона создает базу для формирования региональных аспектов водопользования, а процессы, затрагивающие финансово-экономический сектор, влияют на изменчивость всех показателей водопотребления и водоотведения.

Объектом данного исследования стало водопотребление и водоотведение Удмуртской Республики (УР) на фоне аналогичных показателей других регионов Камского бассейнового водного управления (КБВУ). Материалами для исследования явились основные показатели использования водных ресурсов за период с 2004 по 2014 гг. в пределах КБВУ [http://kambvu.ru].

Рассматривая среднемноголетнюю структуру водопотребления Удмуртской Республики (табл.1) можно отметить значительную долю использования воды на хозяйственно-питьевые нужды. Это объясняется высокими показателями оборудования жилищного фонда республики водопроводом и канализацией, соответственно 78,5% и 67,3% [http://economy.udmurt.ru/prioriteti/ser/strategia]. Схожие показатели использования воды на нужды населения имеют еще два региона КБВУ – Кировская область и Республика Башкортостан (далее, РБ).

С 2004 по 2014 гг. отмечается снижение потребления воды в жилищно-коммунальном секторе экономики по регионам КБВУ, особенно заметное для Удмуртии и Башкирии. Вызвано это сокращением численности работающего на предприятиях персонала, с вытекающим уменьшением объемов водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды в балансовых схемах этих производств, а также улучшением ситуации с контролем учета использования воды в системах водоснабжения и канализации. Исключением является структура водопользования Кировской области, где доля использования воды на нужды населения более стабильна и к 2014 г. практически равна среднемноголетним значениям.

На втором месте в среднемноголетней структуре водопотребления УР стоит производственное водоснабжение. Доля этого вида использования воды к 2014 году также снижается, что отчетливо проявляется в сравнении с начальным периодом ис-

Таблица 1. Доли (%) отдельных составляющих структуры водопотребления регионов КБВУ

ВИДЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ	УДМУРТСКАЯ РЕСПУБЛИКА			ПЕРМСКИЙ КРАЙ			РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН			КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ		
	Средняя доля (2004–2014 гг.)	Доля в 2004 г.	Доля в 2014 г.	Средняя доля (2004–2014 гг.)	Доля в 2004 г.	Доля в 2014 г.	Средняя доля (2004–2014 гг.)	Доля в 2004 г.	Доля в 2014 г.	Средняя доля (2004–2014 гг.)	Доля в 2004 г.	Доля в 2014 г.
Хозяйственно-питьевое	39,78	46,62	29,58	7,07	8,59	5,90	32,35	37,18	26,45	34,32	36,73	33,41
Производственное	36,71	41,12	29,82	91,71	90,47	92,34	53,78	52,80	50,38	60,63	57,13	61,13
Орошение с/х культур	0,03	0,09	0,03	0,01	0,01	0,0005	1,05	1,37	0,66	0,21	0,26	0,38
Сельскохозяйственное водоснабжение	1,31	2,14	0,49	0,08	0,10	0,07	1,84	2,94	1,09	2,26	2,84	2,35
Прочие нужды	22,11	10,04	39,37	1,13	0,83	1,68	10,98	5,72	21,41	2,58	3,04	2,73

Таблица 2. Доли (%) отдельных составляющих структуры водоотведения регионов КБВУ

КАТЕГОРИИ ОТВОДИМЫХ СТОЧНЫХ ВОД	УДМУРТСКАЯ РЕСПУБЛИКА			ПЕРМСКИЙ КРАЙ			РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН			КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ		
	Средняя доля (2004–2014 гг.)	Доля в 2004 г.	Доля в 2014 г.	Средняя доля (2004–2014 гг.)	Доля в 2004 г.	Доля в 2014 г.	Средняя доля (2004–2014 гг.)	Доля в 2004 г.	Доля в 2014 г.	Средняя доля (2004–2014 гг.)	Доля в 2004 г.	Доля в 2014 г.
Загрязненные	38,56	13,66	87,05	14,69	13,24	20,60	67,55	70,17	65,88	80,51	76,78	98,23
Нормативно-чистые	19,84	16,67	12,61	81,80	80,48	79,40	30,26	29,68	34,12	16,43	20,97	1,64
Нормативно-очищенные	42,01	69,66	5,61	3,63	6,29	1,47	2,55	0,15	4,27	3,05	2,25	0,01

следования. Эта тенденция является отражением неблагоприятных процессов, происходящих в промышленном секторе экономики республики. Для других регионов КБВУ спад производственного водопотребления нетипичен – доля этого вида использования воды устойчива, а для Кировской области даже отмечен ее слабый рост.

Заметные временные изменения коснулись и сельскохозяйственного использования воды. В структурах водопотребления почти всех регионов КБВУ отчетливо снижается использование воды на нужды орошения, особенно выражено это для структур водопотребления Пермского края и УР. И вновь, исключением является структура водопользования Кировской области, где водопотребление на нужды орошения в 2014 г. выросло в сравнении со среднемноголетним показателем в 1,8 раза.

Использование воды на прочие нужды в УР, напротив, к 2014 году оказалось в 3 раза больше по сравнению с таковым в 2004 г. Это объясняется увеличением забора воды для нужд системы поддержания пластового давления на нефтяных месторождениях УР. Схожую динамику использования воды на прочие нужды можно заметить в структурах водопотребления Пермского края и РБ. Менее заметен рост этой составляющей в структуре водопотребления Кировской области.

В среднемноголетней структуре водоотведения УР (табл.2) превалируют нормативно-очищенные сточные воды. К сожалению, доля отведения этой категории сточных вод к 2014 году снизилась в 12 раз по сравнению с 2004 г., что является следствием перегруза и физического износа очистных сооружений канализации г. Ижевска. Однако, самое заметное – более чем 200-кратное уменьшение этой категории стоков в структуре водоотведения можно отметить в Кировской области.

Доля худшей категории в водоотведении Удмуртии – доля загрязненных сточных вод – за исследуемый период возросла более чем в 6 раз. В Кировской области фиксируется крайне неблагоприятная ситуация – доля загрязненных сточных вод в 2004 г. и так будучи самой высокой среди остальных регионов КБВУ (≈77%), достигает к 2014 году значения 98%.

ВЫВОДЫ

1. За 10-летний период структура водопользования всех регионов КБВУ претерпела значительные изменения. В Удмуртской Республике на сегодняшний день измененная структура водопотребления характеризуется практически равными долями использования воды на хозяйственно-питьевые и производственные нужды и преобладанием использования воды на прочие нужды.
2. Менее всего в региональных структурах водопользования варьирует использование воды на нужды промышленности. Активная изменчивость доли этого показателя сдерживается тем “весом”, которое имеет промышленное производство в экономике регионов и стабильно жесткими требованиями по объемам и бесперебойности водопотребления, которые предъявляют промышленные предприятия.
3. Наибольшая изменчивость в структурах водопользования большинства регионов КБВУ характерна для доли использования воды на нужды сельскохозяйственного орошения. Лишь в структуре водопотребления Башкирии наибольшая вариабельность была характерна для доли использования воды на прочие нужды.
4. В структурах водоотведения регионов наибольшей изменчивостью характеризуются доли нормативно-очищенных и загрязненных вод. Увеличение отведения загрязненных стоков особенно заметно для Удмуртии, где оно приближается к показателям Кировской области. Меньший рост доли отведения этих стоков характерен для Пермского края. Башкирия, где эта доля в структуре приоритетна, на этом фоне

выделяется отсутствием вышеуказанной неблагоприятной тенденции.

5. Схожие черты свойственны структурам водопользования УР, РБ и Пермского края – регионам, где приоритетными являются горнопромышленный, транспортно-промышленный и городской селитебный подтипы промышленно-урбанистического типа природопользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Показатели использования водных ресурсов [Электронный ресурс] / Камское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов. – Режим доступа: http://kambvu.ru, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус.

Стратегия социально-экономического развития Удмуртской Республики на период до 2025 года [Электронный ресурс] / Правительство Удмуртской Республики, Центр стратегических разработок "Северо-Запад". – Электрон. дан. – Ижевск – Санкт-Петербург, 2008–2009. – Режим доступа: http://economy.udmurt.ru/prioriteti/ser/strategia, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

REGIONAL FEATURES OF WATER USE IN TERRITORY KAMSKY BASIN OF WATER MANAGEMENT

Gagarin O.B.[1], Artemyeva E.A.[2]

[1] *Udmurt State University, Izhevsk, Russia*

[2] *Department of Water Resources of Kama Basin Water Authority on UR, Izhevsk, Russia*

ABSTRACT

Structures of water consumption and water removal of regions of Kama Basin Water Authority are investigated. Features of structure of water use of the Udmurt Republic in comparison with other regions given basin managements come to light.

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ АМУР

Горбатенко Л.В.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток

glv@tig.dvo.ru

Показана неравномерность современного состояния и динамики развития водопользования на российской и китайской частях бассейна Амура. Описан существующий уровень трансграничного сотрудничества в области использования водных ресурсов бассейна. Оценивается возможность совместного управления трансграничным бассейном.

Большая часть трансграничного бассейна р. Амур (98%), расположена в РФ и КНР приблизительно в равных пропорциях (54 и 44% площади, соответственно). Территория бассейна характеризуется неравномерностью освоенности, развития хозяйства и инфраструктуры, обеспечивающей водохозяйственную деятельность. Диспропорции показателей, определяющих нагрузку на водные ресурсы, на российской и китайской частях бассейна огромны: по данным за 2013 г. численность населения соотносится как 4,3 и 70 млн человек; производство электроэнергии – 39 и 380 млрд кВт/час; такой водоемкой продукции как сталь – 742 и 27126 тыс. т; площади орошаемых земель – 0,1 и 9,75 млн га. На китайской части бассейна, кроме того, производятся водоемкие бумага и картон из местной целлюлозы в объеме 2 млн т; железо – 26 млн т; химические удобрения 2,7 млн т; этилен 1,4 млн т и т.д. По данным за 2013 г. общее водопотребление на китайской части бассейна превышало российское в 50 раз и составило 67,4 против 1,3 км^3, при этом сельскохозяйственное – в 270 раз (51,5 км^3 и 0,19). На китайской части наибольшая доля воды используется на сельскохозяйственные нужды, на российской – на промышленные. При сопоставимой мощности очистных сооружений объемы сброса загрязняющих веществ различаются в 30 раз, плотность водохозяйственной инфраструктуры, например, количество водохранилищ при схожей их емкости, различается в 18 раз. Различна и направленность динамики водопользования – на российской части бассейна наблюдается стабилизация объемов водопотребления после длительного, с 1992 г. снижения, на китайской – непрерывный рост.

По данным официальной китайской статистики, загрязняющий эффект от использования водных ресурсов превышает российский более чем в 10 раз: соотношение по объему сброса, например, азота аммонийного составляет 194 и 5,3 тыс. т; нефтепродуктов 1579 и 128,6 т; кадмия 570 и 54 кг. Основной проблемой бассейна, непосредственно связанной с водопользованием и его загрязняющим эффектом, является низкое качество природных вод. Ухудшение качества вод отмечается как на российской, так и на китайской частях бассейна с 1980-х гг. В настоящее время проблема не решена обеими странами и оказывает влияние на качество жизни населения и его обеспеченность питьевой водой.

Международное водное законодательство, основанное на бассейновом подходе, для решения трансграничных водных проблем предписывает подписание странами-соседями бассейновых Соглашений по трансграничным водам, создание бассейновых организаций, разработку трансграничного диагностического анализа речного бассейна и на его основе совместного плана действий.

Межправительственное Соглашение о рациональном использовании и охране трансграничных вод (далее Соглашение) подписано между РФ и КНР в 2008 г. В целом оно соответствует принципам европейского водного законодательства, например, включает положения о согласии принимать меры по предотвращению и сокращению воздействия на трансграничные воды и т.д. Однако, иногда указывают на отдельные его “недостатки” – отсутствие четко сформулированной в преамбуле цели сотрудничества, возможность различных интерпретаций отдельных формулировок, неполный территориальный охват, не учитывающий подземные трансграничные воды, несогласованность основополагающих терминов Соглашения и других российско-китайских документов[1] [Vinogradov, Wouters, 2013].

Следует помнить, что сотрудничество в трансграничном бассейне р. Амур развивалось задолго до принятия Соглашения. В 1950-е гг. между КНР и СССР было заключено “Соглашение о проведении совместных научно-исследовательских работ по выявлению

[1] например, Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о режиме российско-китайской государственной границы от 2006 г.

природных ресурсов и перспектив развития производительных сил бассейна р. Амур и проектно-изыскательских работ по составлению Схемы комплексного использования р. Аргунь и пограничных участков р. Амур". В 1956 г. были созданы специальные экспедиции – Амурская АН СССР и Хэйлунцзянская АН КНР, а также Объединенный ученый совет по проблемам Амура. В результате почти четырехлетних работ этих комплексных экспедиций были проведены исследования по широкому кругу проблем, в т.ч. гидрологии. Был подготовлен так называемый проект "Большого Амура", представлявший перспективную программу развития производительных сил бассейна, в основу которой был заложен принцип комплексного использования водных ресурсов с целью зарегулирования стока, защиты земель и населенных пунктов от наводнений, получения электроэнергии, улучшения транспортных возможностей и др. [Готванский, 2007]. Целесообразность выполнения совместных водоохранных мероприятий рассматривалась в Схеме комплексного использования водных ресурсов (КИВР) пограничных участков рек Аргунь и Амур, которая разрабатывалась в 1986–93 гг. После аварии 2005 г. в Цзилине был утвержден экологический проект ЮНЕП-ГЭФ "Комплексное управление бассейном рек Амур/Heilong" с участием ученых РФ, КНР и Монголии. В период действия проекта в 2005–06 гг. была определена структура, цели национальных частей трансграничного диагностического анализа и начата их подготовка. Также была начата разработка стратегического плана действий по озеру Ханка, но с 2007 г. финансирование проекта по линии ГЭФ было прекращено.

В какой степени Соглашение можно рассматривать как инструмент управления трансграничными водными ресурсами бассейна р. Амур? В рамках действия этого Соглашения уже сложился институциональный механизм – создана совместная российско-китайская Комиссия по рациональному использованию и охране трансграничных вод, действуют две ее рабочие группы – по управлению водными ресурсами и по мониторингу качества и охране трансграничных вод. В настоящее время отработан механизм регулярных встреч рабочих групп; отлажена система совместного мониторинга качества вод; происходит обмен делегациями с посещением водохозяйственных объектов. Проводится гидрологический мониторинг на главном русле Амура и обмен гидрологическими данными. Определен перечень аварийных ситуаций, требующих обязательного взаимного оповещения; согласована основа механизма обмена информацией по оценке воздействий на окружающую среду проектов, способных оказать трансграничное воздействие. Проводятся технические семинары по вопросам методического и лабораторного сопровождения совместного российско-китайского мониторинга качества трансграничных вод [Горбатенко, 2013]. Независимо друг от друга в 2014 г. экспертами китайской и российской сторон выполнена оценка влияния берегоукрепительных сооружений г. Благовещенска на режим р. Амур и произведен обмен полученными результатами.

Анализ этих мероприятий показывает, что в рамках действия рабочих групп проводится конкретная работа, результатом которой, в основном, является обмен данными и согласование позиций по вопросам, представляющим взаимный интерес. Потенциал Соглашения до конца не реализован и заключается в возможности проведения совместных научных исследований, в т.ч. по определению источников трансграничного загрязнения, в сотрудничестве общественных организаций, в разработке общих стандартов качества вод, и, наконец, совместных схем использования и охраны трансграничных вод с учетом накопленного опыта.

Но в условиях, когда в Соглашении прописан только "стандарт" поведения государств, а не достижения конкретных целей [Vinogradov, Wouters, 2013], результатом разработки таких схем, как показывает опыт, могут быть отдельные проекты в области совместного использования трансграничных вод, взгляд на взаимовыгодность и целесообразность которых может пересматриваться. Например, в прошлом это проекты "сквозного" судоходного пути из Охотского моря в Желтое, ГЭС на главном русле. Такие виды совместного использования трансграничных вод как судоходство или рыболовство регулируются другими межгосударственными документами, а строительство транспортных сооружений, например, моста Благовещенск-Хэйхе, требует только взаимного согласия сторон, финансирования и организации таможенных переходов. Совместное же управление водными ресурсами в трансграничном бассейне Амура возможно только при условии разработки, согласования и принятия **обязательств** по достижению определенных целевых показателей, например, качества воды и объемов ее изъятия.

При отсутствии таких обязательств проблемы в области использования вод каждая из сторон решает в соответствии с национальными задачами в области управления водными ресурсами. Задачи эти, безусловно, близки: и для Министерства водного хозяйства КНР, и для Росводресурсов Министерства природных ресурсов и экологии РФ они заключаются в обеспечении мероприятий по рациональному использованию, восстановлению и охране водных объектов, предупреждению наводнений и другого негативного воздействия вод и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Sergei Vinogradov, Patricia Wouters. Sino-Russian Transboundary Waters: A Legal Perspective on Cooperation. Institute for Security and Development Policy, 2013. P. 97. [Электронный ресурс]. http://www.chinainternationalwaterlaw.org/pdf/resources/20131216_001.pdf (Дата обращения 18.05.2015).

Готванский В.И. Бассейн Амура: осваивая – сохранить. Издание второе (дополненное и переработанное). – Хабаровск: ООО "Архипелаго Файн Принт", 2007. – 200 с.

Горбатенко Л.В. Предпосылки и перспективы российско-китайского сотрудничества в управлении водными ресурсами бассейна р. Амур // Материалы межд. конференции "Устойчивое природопользование в прибрежно-морских зонах". 7-9 октября 2013 г. – Владивосток: Дальнаука, 2013. – С. 182-188.

WATER MANAGEMENT IN TRANSBOUNDARY AMUR RIVER BASIN

Gorbatenko L.V.

Pacific Geographical Institute of the FEB RAS, Vladivostok, Russia, glv@tig.dvo.ru

ABSTRACT

Inequality of the current status and dynamics of water using on the Russian and Chinese parts of the Amur River basin has been shown. Current level of transboundary cooperation in water resources using and possibility of joint management of water resources has been described.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В МИРЕ И В РОССИИ: НАВОДНЕНИЯ И ЗАСУХИ. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ УЩЕРБОВ

Истомина М.Н., Добровольский С.Г.

Институт водных проблем РАН, Москва

sgdo@bk.ru

Изучается, в глобальном масштабе, количественная информация о наиболее катастрофичных экстремальных гидрологических явлениях – наводнениях и засухах: созданный в ИВП архив, содержащий информацию по примерно 2400 наводнениям, а также данные из разных источников по "гидрологическим", "метеорологическим" и "сельскохозяйственным" засухам. Предложены согласованные определения экстремальных гидрологических явлений. Сформулированы суждения о возможных изменениях параметров ущербов от наводнений и засух – как в ближайшей, так и в отдаленной перспективе.

В рассмотрении, в рамках одного доклада, этих двух, казалось бы, прямо противоположных явлений – наводнений и засух – имеются сходные моменты. (1) Целесообразно закладывать схожие принципы в определения двух явлений: наводнения (засухи) – временные изменения увлажненности территорий, вызывающие социально-экономические ущербы. (2) Как наводнения, так и засухи не наблюдаются ни в избыточно увлажненных регионах (где наводнение "постоянно"), ни в центральных областях пустынь (где засуха "постоянна"). Как ни парадоксально, максимальные ущербы как от наводнений, так и от засух наблюдаются примерно в одном и том же в широтном поясе: 20 – 40 градусов северной широты. (3) Оба рассматриваемых явления – не только и даже не столько природные, сколько социально-экономические. Они наиболее часто встречаются на густонаселенных и/или на экономически развитых территориях. (4) Подушевые, или в расчете на единицу территорий, материальные ущербы от обоих типов катастрофических явлений наиболее высоки в экономически развитых регионах мира. В то же время, именно в этих регионах доля ущербов от обоих явлений в ВВП стран – наименьшая. (5) Таким образом, можно выдвинуть гипотезу о том, что по мере экономического развития стран, в долговременной перспективе, абсолютные размеры материальных (финансовых) ущербов от обоих катастрофических явлений растут. В то же время, реально достижимыми целями являются уменьшение доли ВВП, утрачиваемой вследствие катастрофических явлений. (6) Особенно нетерпимы гуманитар-

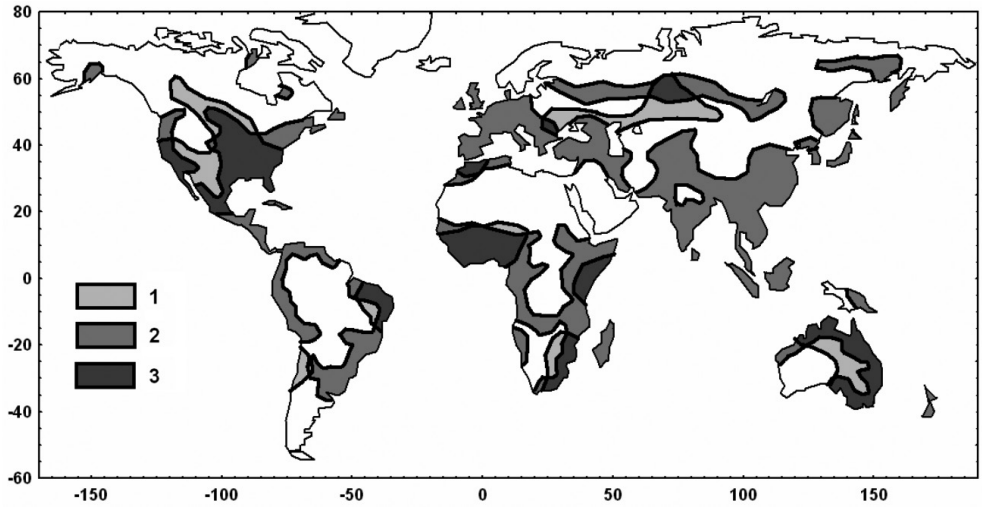


Рис. 1. Основные ареалы крупнейших "гидрологических" засух (1); наводнений вследствие аномальных осадков в жидкой фазе (2); пересечения ареалов засух и наводнений (3)

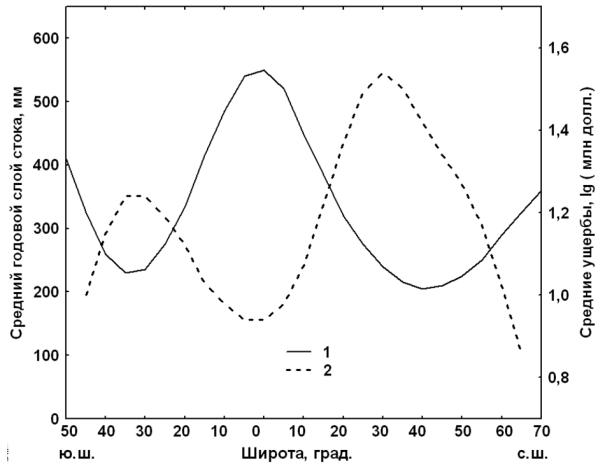


Рис. 2. Глобально-осредненные изменения вдоль широт средних многолетних слоев речного стока (1) и средних многолетних финансовых ущербов от наводнений (2)

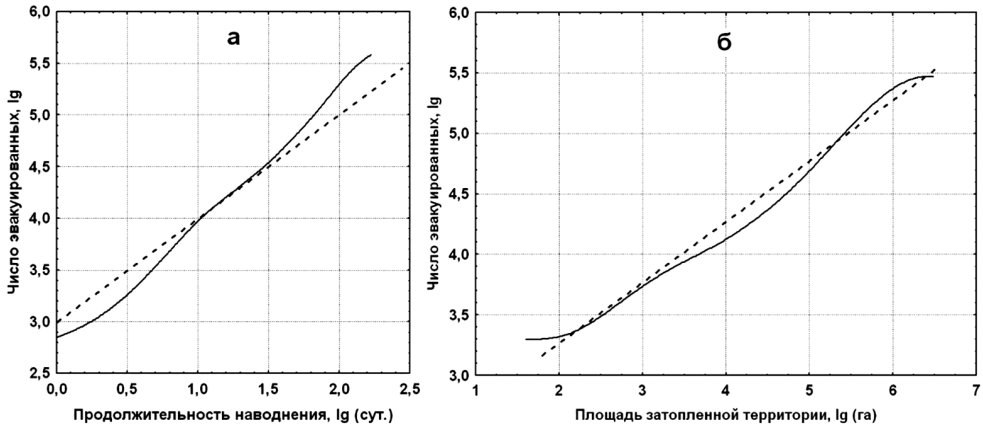


Рис. 3. Осредненные зависимости (сплошные линии) чисел эвакуированных от длительностей наводнений (а) и от площадей физических затоплений при наводнениях (б). В билогарифмических масштабах. Штриховые линии – линейные аппроксимации с тангенсами углов наклона 1 (а) и 1/2 (б)

ные ущербы: уменьшение гуманитарных ущербов (число эвакуированных, общее число пострадавших, число погибших), как в абсолютных величинах, так и приходящихся на единицу материальных ущербов и на одно наводнение – особенно высоких в слаборазвитых странах – принадлежит к числу реально достижимых целей стратегии борьбы с последствиями наводнений и засух. (7) Количественный анализ изменений ущербов от наводнений и засух на протяжении немногих десятилетий указывает на то, что (часто приписываемый парниковому эффекту) рост ущербов от этих явлений незначим. Таким образом, в ближайшем будущем не стоит ожидать роста ущербов по этой причине.

В работе были использованы следующие источники информации. По "гидрологическим" засухам – примерно 2000 длинных рядов минимального стока за весь период наблюдений из архива авторов [Добровольский, 2011]; по "метеорологическим" засухам – данные по индексам засух Пальмера, рассчитанные для всей суши за период с 1901 по 2000 год [Dai et al., 2004]; по "сельскохозяйственным засухам" – информация банка данных Лувенского католического университета о примерно 450 крупнейших засухах за период с 1980 по 2008 г. [http://www.emdat.be]. Наконец, информация по 13 количественным параметрам для каждого из примерно 2400 наводнений мира за период с конца 1997 по конец 2008 г наводнениям была собрана авторами в базе данных [Истомина, Добровольский, 2015].

Наиболее общее представление об экстремальных гидрологических ситуациях может дать совмещенная карта основных ареалов гидрологических засух и основных ареалов наводнений вследствие аномальных осадков в жидкой фазе (наиболее распространенный тип наводнений) на рисунке 1.

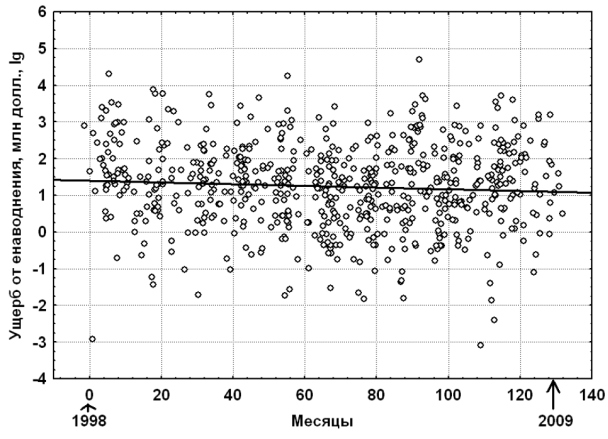


Рис. 4. Изменения финансовых ущербов от крупнейших наводнений всех типов

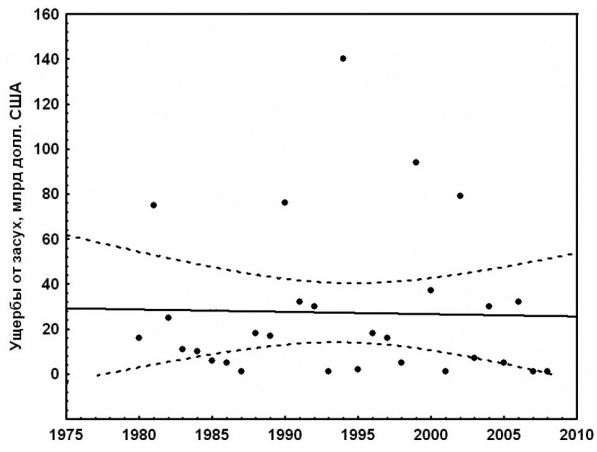


Рис. 5. Изменения годовых сумм ущербов от наиболее крупных засух мира. Информация из [International..., 2013]

Из рассмотрения карты видно, что регионы максимальной увлажненности (бассейны Амазонки и Конго не являются зонами наводнений – так же, как наиболее засушливые регионы (Сахара, Аравийский полуостров, наиболее значительная часть пустынь Центральной Азии и Австралии) не являются ареалами сколько-нибудь заметных засух. Более того: зачастую ареалы крупнейших гидрологических засух и наводнений пересекаются друг с другом. Таковы районы востока и крайнего запада Соединенных Штатов; область Каатинга в Южной Америке; регион, простирающийся от Гвинейского залива до Сахели, восток и юго-восток Африки; юго-восток, восток и север Австралии. Сложнее картина в Евразии – возможно, вследствие недостаточности данных о засухах на большей части территории континента.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что как наводнения, так и засухи – не только природные явления, но в очень значительной степени социально-экономические явления, приуроченные зачастую к густонаселенным и/или экономически развитым территориям. Ярким, подтверждением высказанного суждения является парадоксальный, на первый взгляд, график распределения по широтам средних многолетних слоев речного стока и средних материальных ущербов от наводнений на рис. 2.

Большой объем собранной информации о наводнениях и засухах позволяет впервые получить достоверные представления о взаимозависимостях природных характеристиках и социально-экономических параметрах последствий экстремальных гидрологических явлений. В качестве примера на рисунке 3 показаны глобально-осредненные графики зависимостей важнейшего показателя гуманитарных ущербов от наводнений основного типа (вследствие аномальных осадков в жидкой фазе) – числа эвакуированных людей – от продолжительностей наводнений и от площадей затопленных территорий.

Очевидна близкая к линейной зависимость числа эвакуированных от продолжительности наводнений (что можно было ожидать), но также и линейность (что не очевидно априори) связи этого параметра гуманитарных ущербов не с площадью затопленных территорий, а с горизонтальными размерами последних. В качестве гипотезы относительно причины последнего явления можно выдвинуть предположение о том, что "пространственные структуры ущербов" скоре линейны, нежели двумерны – что связано с линейностью самих водотоков, приуроченных к ним инфраструктур и поселений.

Не имея возможности, в рамках краткой статьи, описать все результаты исследований наводнений и засух, проведенных в лаборатории глобальной гидрологии ИВП, остановимся на такой ключевой проблеме, как характер многолетних изменений параметров экстремальных гидрологических явлений и ущербов от них.

Нами были построены графики изменений во времени различных природных характеристик и параметров социально-экономических ущербов от наводнений и засух за периоды времени соответственно 1997–2008 и 1980–2008 гг. В качестве примера на рисунках 4 и 5 показаны изменения ущербов от крупнейших наводнений и засух мира в финансовом выражении. Сплошные прямые на рисунках – линейные аппроксимации, построенные методом пространственно-взвешенных наименьших средних квадратов, штриховые линии на рис. 5 обозначают 95%-ные доверительные интервалы для линии регрессии (доверительные интерва-

лы на рис. 4 не построены, чтобы не загромождать рисунок). Очевидно, что изменения средних величин на рис. 4 и 5 статистически незначимы. Такими же незначимыми оказались изменения всех других характеристик наводнений и засух за рассматриваемые периоды времени. Естественно предположить, что аналогичная ситуация будет наблюдаться по крайней мере в ближайшей перспективе. В то же время, как указывалось выше, в длительной перспективе, с ростом экономик развивающихся стран можно ожидать роста ущербов от экстремальных гидрологических ущербов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Добровольский С.*Г. Глобальные изменения речного стока. – М.: Геос, 2011. – 660 с.

Истомина М.Н., Добровольский С.Г. База данных по наводнениям мира (с детализацией по России). Федеральная служба по интеллектуальной собственности, номер гос. регистрации 2015620292, 2015.

Dai A., Trenberth K.E., Qian T. A global dataset of Palmer Severity Index for 1870 – 2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming // Journal of Hydrometeorology, 2004. – Vol.. 5. – P. 1117–1130.

International Disaster Database. http://www.emdat.be/

EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS IN THE WORLD AND IN RUSSIA: FLOODS AND DROUGHTS. QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE NATURAL CHARACTERISTICS AND OF THE PARAMETERS OF SOCIAL AND ECONOMIC DAMAGES

Istomina M.N., Dobrovolski S.G.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia

sgdo@bk.ru

ABSTRACT

Quantitative information on most catastrophic extreme hydrological events – floods and droughts – was analyzed at global scale using the Water Problems Institute archive on approximately 2 400 floods and data from different sources on “hydrological”, “meteorological”, and “agricultural” droughts. Consistent notions of extreme hydrological events are proposed. Results aiming at assessments of possible changes of flood and drought damages in the near future, as well as in the long perspective, are discussed.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫР-ДАРЬИ

Кузенбаев К. М.[1], Левит-Гуревич Л.К.[2]

[1] Алматинский Институт Энергетики и Связи, Алма-Ата, Казахстан

[2] Институт водных проблем РАН, Москва

Kaxan2909@mail.ru, Lev-Gur@yandex.ru

Проблема использования водных ресурсов верхнего течения реки Сыр-Дарьи состоит в рациональном управлении цепочкой трансграничных водохранилищ – Токтогульского, Кайраккумского и Шардаринского. Предлагается математическая модель, формализующая управление водохранилищами по периодам года.

Основной объем стока Сырдарьи формируется на территории Кыргызской Республики, Республик Узбекистан и Таджикистан в верхней части бассейна. Река зарегулирована тремя крупными водохранилищами по направлению течения: Токтогульское на территории Киргизии (многолетнее) Кайраккумское в Таджикистане, Шардаринское, в Казахстане.

Когда все республики, по территории которых протекает Сыр-Дарья, входили в состав СССР, река рассматривались как единая водохозяйственная система, и разработка стратегии и тактики использования водно-энергетических ресурсов заключалась в достижении максимальной выгоды в целом, без учета, а часто и при игнорировании, интересов отдельных республик. Сейчас политико-экономическая ситуация в регионе изменилась. После провозглашения независимости, каждое из суверенных государств стремится к максимальному использованию имеющихся водных ресурсов в своих собственных интересах [Ержан, Кузенбаев, 2005].

В такой ситуации Кыргызская Республика, не имевшая топливных ресурсов, перевела Токтогульское водохранилище на энергетический режим работы, накапливая летний сток для последующей выработки электроэнергии в зимнее время, что изменило режим работы нижних русловых водохранилищ, Кайраккумского и Шардаринского. Орошаемое земледелие стало испытывать дефицит воды летом, особенно в маловодные годы в Казахстане. Проблемы возникли и с пропуском повышенных зимой расходов. Стало необходимым регулирование водных отношений между странами бассейна Сыр-Дарьи по Соглашениям, определяющим размеры попусков из Токтогульского водохранилища для орошения в нижней части реки в вегетационный период и компенсации поставок топлива зимой. Но с 1992 г. по настоящее время ни одно Соглашение не было выполнено в полном объеме. Путь к взаимовыгодным договорам лежит

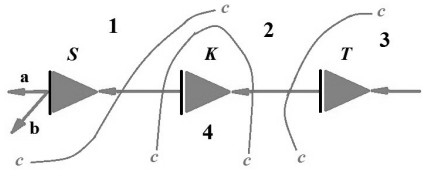


Рис.1. Расчетная схема задачи: водохранилища: *S* – Шардаринское, с водовыпусками a и b, *K* – Кайраккумское и *T* – Токтогульское; государства: 1 – Казахстан, 2 – Узбекистан, 3 – Киргизия и 4 – Таджикистан; c – граница между государствами.

в построении строгой формализованной теории принятия решений по использованию водных ресурсов.

Настоящая статья посвящена лишь части кратко изложенной выше проблемы, а именно формализации управления водными ресурсами в разрезе года. Рассматривается укрупненная модель, в которой водные отрасли агрегированы (лишь водопотребление и водопользование), доходы на водохранилищах и участках реки от объема используемой воды (производственные функции водного хозяйства) показаны общими зависимостями. На рис. 1 выделены участки, рассмотрено водопотребление, водопользование из самих водохранилищ и из реки выше их.

Пусть: τ – внутригодовой период: весна, лето, осень, зима[1]; t_τ – число дней периода; γ= 86400;

$$V^{dead}_{ВДХР},\ V^{norm}_{ВДХР},\ V^{\max}_{ВДХР},\ V^{0}_{ВДХР},\ V_{ВДХР},\ V^{\text{bgn}}_{ВДХР,\tau},\ V^{\text{end}}_{ВДХР,\tau},$$
$$Z^{dead}_{ВДХР},\ Z^{norm}_{ВДХР},\ Z^{\max}_{ВДХР},\ Z^{0}_{ВДХР},\ Z_{ВДХР},\ Z^{\text{bgn}}_{ВДХР,\tau},\ Z^{\text{end}}_{ВДХР,\tau},\ –$$

объемы и уровни водохранилища: мертвый, нормальный, форсированный, начальный, "текущий", в начале, в конце периода;

$Q^{\max}_{ВДХР},\ \overline{Q}_{ВДХР,\tau},\ Q^{\text{san}}_{ВДХР,\tau}$ – максимальный, средний, санитарный сбросной расходы по периодам;

$$W_{ВДХР,\tau},\ w_{ВДХР,\tau},\ W^{\min}_{ВДХР,\tau},\ W^{\max}_{ВДХР,\tau},\ w^{\min}_{ВДХР,\tau},\ w^{\max}_{ВДХР,\tau} –$$

[1] Периоды, в принципе, отличаются от календарных периодов, вегетационный период – лето.

объемы и "вилка" допустимого водопотребления из водохранилищ и участков реки; $G_{ВДХР,\tau}$, $g_{ВДХР,\tau}$ – приток за период τ в водохранилище и участок реки; $D^{\tau}_{ВДХР}$, $d^{\tau}_{ВДХР}$, $P^{\tau}_{ВДХР}$, $p^{\tau}_{ВДХР}$, $E_{ВДХР,\tau} = E(\overline{Z}_{ВДХР,\tau}, \overline{Q}_{ВДХР,\tau})$ – доход водопотребления, водопользования, выработки электроэнергии[2] в водохранилищах и на участках реки, $E^{\min}_{ВДХР,\tau}, E^{\max}_{ВДХР,\tau}$ – допустимая вилка дохода выработки электричества; $\overline{q}_{ВДХР,\tau}$, $q^{\max}_{ВДХР}$ – средний и допустимый в период τ расход на речном участке.

Определен год с прогнозами притоков G и g по участкам реки и периодам, ищется управление водохранилищами, соответствующее максимуму суммы дохода по участкам реки:

$$\sum_{\tau=1}^{4}(D^{\tau}_{T} + D^{\tau}_{K} + D^{\tau}_{S} + d^{\tau}_{T} + d^{\tau}_{K} + d^{\tau}_{S}) + \\ + \sum_{\tau=1}^{4}(P^{\tau}_{T} + P^{\tau}_{K} + P^{\tau}_{S} + p^{\tau}_{T} + p^{\tau}_{K} + p^{\tau}_{S}) \Rightarrow \max \quad (1)$$

при выполнении технических и водохозяйственных условий и ограничений, где индекс *ВДХР T, K, S* – Токтогульское, Кайраккумское, Шардаринское водохранилища, соответственно.

Функции связи уровней и объемов водохранилищ, ограничения сбросов, уровней и объемов водохранилищ, объемов водопотребления, выработки энергии, расходов реки задаются в виде:

$$V_{ВДХР} = \upsilon_{ВДХР}(Z_{ВДХР});\ Q^{\text{san}}_{ВДХР,\tau} \leqslant \overline{Q}_{ВДХР,\tau} \leqslant Q^{\max}_{ВДХР,\tau};$$
$$Z^{dead}_{ВДХР} \leqslant Z_{ВДХР} \leqslant Z^{norm}_{ВДХР};\ V^{dead}_{ВДХР} \leqslant V_{ВДХР} \leqslant V^{norm}_{ВДХР};$$
$$W^{\min}_{ВДХР,\tau} \leqslant W_{ВДХР,\tau} \leqslant W^{\max}_{ВДХР,\tau};\ w^{\min}_{ВДХР,\tau} \leqslant w_{ВДХР,\tau} \leqslant w^{\max}_{ВДХР,\tau};$$
$$E^{\min}_{ВДХР,\tau} \leqslant E_{ВДХР,\tau} \leqslant E^{\max}_{ВДХР,\tau};\ \overline{q}_{ВДХР,\tau} = g_{ВДХР,\tau} + Q_{ВДХР,\tau} -$$
$$- w_{ВДХР,\tau} / (\gamma t_{\tau});\ Q^{\text{san}}_{ВДХР,\tau} \leqslant \overline{q}_{ВДХР,\tau} \leqslant q^{\max}_{ВДХР} \quad (2)$$

Решение задачи проводится модификацией метода динамического программирования с многомерной индексацией шагов [Левит-Гуревич, Ярошевский, 2006]. Рассмотрено 2 индекса: водохранилища (Токтогульское, Кайраккумское, Шардаринское), периоды $\tau = \overline{1,4}$.

Пусть $\Delta_{T,\tau} = (D_{T,\tau} + d_{T,\tau} + P_{T,\tau} + p_{T,\tau} + E_{T,\tau})$, $\Delta_{K,\tau} = (D_{K,\tau} + d_{K,\tau} + P_{K,\tau} + p_{K,\tau} + E_{K,\tau})$, $\Delta_{S,\tau} = (D_{S,\tau} + d_{S,\tau} + P_{S,\tau} + p_{S,\tau} + E_{S,\tau})$ – доход от использования водных ресурсов на водохранилищах и верхних участках реки этих водохранилищ в τ–й период в зависимости от поступающего среднего расхода на речную часть водохранилищ и сбросов $\Delta_{T,\tau}(\overline{Q}_{T,\tau})$, $\Delta_{K,\tau}(\overline{Q}_{T,\tau}, \overline{Q}_{K,\tau})$, $\Delta_{S,\tau}(\overline{Q}_{K,\tau}, \overline{Q}_{S,\tau})$. Ищем $\overline{Q}_{T,\tau}$, $\overline{Q}_{K,\tau}$, $\overline{Q}_{S,\tau}$.

Пусть далее $Д_{T,\tau^*} = \sum_{\tau=1}^{\tau^*}(D_{T,\tau} + d_{T,\tau} + P_{T,\tau} + p_{T,\tau} + E_{T,\tau}) = \sum_{\tau=1}^{\tau^*}\Delta_{T,\tau}$ – суммарный доход на участке Токтогульского водохранилища за периоды от $\tau = 1$ до τ^*. Суммарный же доход на участках совместно Токтогульского и Кайраккумского водохранилищ за те же периоды запишется как $Д_{K,\tau^*} = Д_{T,\tau^*} + \sum_{\tau=1}^{\tau^*}\Delta_{K,\tau}$ или $Д_{K,\tau^*} = Д_{T,\tau^*} + Д_{K,\tau^*-1} + \Delta_{K,\tau^*}$. Суммарный доход Токтогульского, Кайраккумского, Шардаринского: $Д_{S,\tau^*} = Д_{T,\tau^*} + Д_{K,\tau^*-1} + Д_{S,\tau^*} + \Delta_{S,\tau^*}$.

Далее, если $\Delta_{T,\tau}(\overline{Q}_{T,\tau})$, то $Д_{T,\tau^*} = \sum_{\tau=1}^{\tau^*}\Delta_{T,\tau}(\overline{Q}_{T,\tau}) = Д_{T,\tau^*}(\overline{Q}_{T,\tau=1}, \overline{Q}_{T,\tau=2}, \overline{Q}_{T,\tau=3}, \ldots \overline{Q}_{T,\tau^*})$.

Если $\Delta_{K,\tau}(\overline{Q}_{T,\tau}, \overline{Q}_{K,\tau})$, то аналогично $Д_{K,\tau^*} = Д_{T,\tau^*} + \sum_{\tau=1}^{\tau^*}\Delta_{K,\tau} = Д_{T,\tau^*}(\overline{Q}_{T,\tau=1}, \overline{Q}_{T,\tau=2}, \overline{Q}_{K,\tau=3}, \ldots \overline{Q}_{T,\tau^*}) + \sum_{\tau=1}^{\tau^*}\Delta_{K,\tau}(\overline{Q}_{T,\tau}, \overline{Q}_{K,\tau}) = Д_{K,\tau}(\overline{Q}_{T,\tau=1}, \overline{Q}_{T,\tau=2}, \ldots \overline{Q}_{T,\tau}; \overline{Q}_{K,\tau=1}, \overline{Q}_{K,\tau=2}, \ldots \overline{Q}_{K,\tau^*})$. Наконец с $\Delta_{S,\tau}(\overline{Q}_{K,\tau}, \overline{Q}_{S,\tau})$, имеем $Д_{S,\tau^*} = Д_{S,\tau^*}(\overline{Q}_{T,\tau=1}, \overline{Q}_{T,\tau=2}, \ldots \overline{Q}_{T,\tau^*}; \overline{Q}_{K,\tau=1}, \overline{Q}_{K,\tau=2}, \ldots \overline{Q}_{K,\tau^*}; \overline{Q}_{S,\tau=1}, \overline{Q}_{S,\tau=2}, \ldots \overline{Q}_{S,\tau^*},)$. Для краткости обозначим: $\Omega_{T,\tau^*} = \{\overline{Q}_{T,\tau=1}, \overline{Q}_{T,\tau=2}, \ldots \overline{Q}_{T,\tau^*}\}$, $\Omega_{K,\tau^*} = \{\overline{Q}_{K,\tau=1}, \overline{Q}_{K,\tau=2}, \ldots \overline{Q}_{K,\tau^*}\}$, $\Omega_{S,\tau^*} = \{\overline{Q}_{S,\tau=1}, \overline{Q}_{S,\tau=2}, \ldots \overline{Q}_{S,\tau^*}\}$.

Переходим к решению, ищем $Д^{\max}$ методом динамического программирования (ДП). Для Токтогульского водохранилища используется обычный метод:

$$Д^{\max}_{T,\tau^*}(\Omega_{T,\tau^*}) = \max_{\overline{Q}_{T,\tau^*-1}} [Д^{\max}_{T,\tau^*}(\Omega_{T,\tau^*-1}) + \\ + \Delta_{T,\tau^*}(\overline{Q}_{T,\tau^*})], \quad (3)$$

поскольку

$$\Omega_{T,\tau^*} = \{\overline{Q}_{T,\tau^*}, \overline{Q}_{T,\tau^*}, \overline{Q}_{T,\tau^*}, \ldots \overline{Q}_{T,\tau^*}\} = \Omega_{T,\tau^*-1} + \{\overline{Q}_{T,\tau^*}\}.$$

Для Кайраккумского водохранилища, совместно с Токтогульским, цепочка уравнений выстраивается по модифицированному методу динамического программирования. Рекуррентное уравнение:

$$Д^{\max}_{K,\tau^*}(\Omega_{K,\tau^*}) = \max_{\overline{Q}_{K,\tau^*-1}} [Д^{\max}_{K,\tau^*-1}(\Omega_{K,\tau^*-1}) + \\ Д^{\max}_{T,\tau^*}(\Omega_{T,\tau^*}) - Д^{\max}_{T,\tau^*-1}(\Omega_{T,\tau^*-1}) + \\ + \Delta_{K,\tau^*}(\overline{Q}_{K,\tau^*})], \ldots \quad (4)$$

поскольку

$$\Omega_{K,\tau^*} = \{\overline{Q}_{K,\tau^*}, \overline{Q}_{K,\tau^*}, \overline{Q}_{K,\tau^*}, \ldots \overline{Q}_{K,\tau^*}\} = \Omega_{K,\tau^*-1} + \{\overline{Q}_{K,\tau^*}\}.$$

Наконец, для всего комплекса трех водохранилищ, с замыкающим Шардаринским, цепочка уравнений модифицированного метода динамического программирования:

$$Д^{\max}_{S,\tau^*}(\Omega_{S,\tau^*}) = \max_{\overline{Q}_{S,\tau^*-1}} [Д^{\max}_{S,\tau^*-1}(\Omega_{S,\tau^*-1}) + \\ + Д^{\max}_{K,\tau^*}(\Omega_{K,\tau^*}) - Д^{\max}_{K,\tau^*-1}(\Omega_{K,\tau^*-1}) + \\ + \Delta_{S,\tau^*}(\overline{Q}_{S,\tau^*})], \quad (5)$$

поскольку

$$\Omega_{S,\tau^*} = \{\overline{Q}_{S,\tau^*}, \overline{Q}_{S,\tau^*}, \overline{Q}_{S,\tau^*}, \ldots \overline{Q}_{S,\tau^*}\} = \Omega_{S,\tau^*-1} + \{\overline{Q}_{S,\tau^*}\}.$$

[2] Возможный доход, поскольку реальная выработка электричества определяется также условиями электросетей.

Модифицированный метод динамического программирования с двумерной индексацией шагов на практике, для расчета расхода сбросов, реализуется дискретно. При каждом варианте расчетов по (3), (4), (5) проверяется выполнение условий (1)–(2).

ВЫВОДЫ

Распределение водных ресурсов в системе водохранилищ трансграничной реки Сыр-Дарьи имеет важное экономическое и политическое значение для государств, использующих водные ресурсы этой реки. При этом, если даже определено распределение объемов воды в некоторый рассматриваемый год, остается проблема распределения водных ресурсов по периодам года.

Метод динамического программирования с двумерной индексацией шагов представляется не только приемлемым и эффективным для решения задачи, но и единственно возможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ержан Т.К., Кузенбаев К.М. "Оптимизация водного энергетического режима работы региональных гидроэлектростанций (на примере Шардаринской ГЭС)» // "Стратегия устойчивого развития региона", Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза, Институт регионального развития, 2005. – с. 262.

Левит-Гуревич Л.К. Ярошевский Д.М. Схема динамического программирования с многомерной индексацией шагов // Автоматика и телемеханика, 2006. – №9. – С. 23–40.

MODEL OF RATIONAL REGIME OF WATER RESOURCES USAGE ON RESERVOIRS UPSTREAM OF THE RIVER SIR-DARYA

Kuzenbaev K.[1] , Levit-Gurevich L.[2]

[1] Almaty Institute of Energy and Communications, Alma-Ata, Kazakhstan

[2] Water Problem institute of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Kaxan2909@mail.ru, Lev-Gur@yandex.ru

ABSTRACT

The problem of water resources of the upper reaches of the Sir-Darya river is the rational control reservoirs – Toktogul, Kairakkum, Shardarinsky. A mathematical model on the periods of year is created.

БАССЕЙНОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Корытный Л.М.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск

kor@irigs.irk.ru

Бассейн – не только водноресурсный, но и перспективный природопользовательский таксон для исследования и управления. Бассейновая концепция имеет как природные, так и гуманитарные обоснования. Подход может применяться при картографировании и районировании природопользования, а также при совершенствовании административно-территориального деления страны.

Бассейн как таксон исследования и управления в гидрологии суши и водном хозяйстве – подход привычный и тривиальный. Но бассейн можно использовать и для управления природопользованием в целом. Дело в том, что на пути совместного решения экологических и социально-экономических проблем природопользования стоит существенное препятствие. Ход экологических процессов в основном определяется природными закономерностями в природных комплексах – биогеоценозах, ландшафтах, геосистемах. Управление социально-экономическими процессами традиционно осуществляется в административно-территориальных ячейках – странах, регионах, границы которых, как правило, не совпадают с природными рубежами. Самый перспективный путь разрешения этого противоречия лежит в рамках бассейновой концепции природопользования [Корытный, 2001].

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ БАССЕЙНОВОЙ КОНЦЕПЦИИ

В гидрологическом смысле бассейн, как известно, представляет собой сложную динамическую водно-балансовую систему, преобразовывающую атмосферные осадки в другие элементы водного баланса. В единое целостное образование бассейн объединяет прежде всего однонаправленный по углу падения склонов и по тальвегам (осям) понижений в рельефе водный поток. Водно-балансовые процессы в бассейне всегда развиваются в направлении его приведения к некоторому равновесному состоянию, т.е. он является в определенном смысле саморегулирующейся системой. В то же время бассейны являются геоморфологическими системами. При этом речные бассейны рассматриваются как объекты, в которых в результате выветривания и мобилизации вещества, склоновых и флювиальных процессов одновременно формируется рельеф и рыхлые отложения. Сток воды создает специфические формы рельефа, чрезвычайно распространенные на континентах планеты. Собственно говоря, почти вся суша в геоморфологическом плане представляет собой совокупность бассейнов. В итоге бассейн рассматривается как динамическая высокоинтегрированная иерархическая система, состоящая из склоновой и гидрографической функциональных подсистем, а в вертикальном разрезе – из воздушного, водного, топографического (земной поверхности) и подземного ярусов. Компонентом склонового уровня считается элементарный склон, а гидрографического – водоток.

К аналогичным выводам приводит анализ социально-экономических отношений. Еще в древности именно река, заставляя коллективно создавать ирригационные системы и поддерживать их в рабочем состоянии, объединяла этнос, образовала некоторую этнодемографическую общность, которая в основном консолидировалась в определенном речном бассейне. Исторические тенденции развития хозяйства и населения в речных бассейнах проектируется на современное социально-экономическое положение регионов. Социально-экономические системы – поселения, промышленные и сельскохозяйственные зоны – тяготеют к речным системам прежде всего как к важнейшим источникам водных ресурсов. Значение социально-экономического обоснования бассейновой концепции усиливается вследствие возрастания роли водного фактора в жизни общества. Концентрация хозяйства и населения вблизи крупнейших рек стала к концу XX в. максимальной.

Особую роль бассейновая концепция играет для природопользования в международных (трансграничных) речных бассейнах. На планете существует более 250 трансграничных речных или озерных бассейнов, на территории которых расположено два и более государств. Они занимают почти половину поверхности Земли, в них проживает более 40% населения мира. Различные части таких бассейнов соединены энергетическими, вещественными, информационными потоками, но одновременно

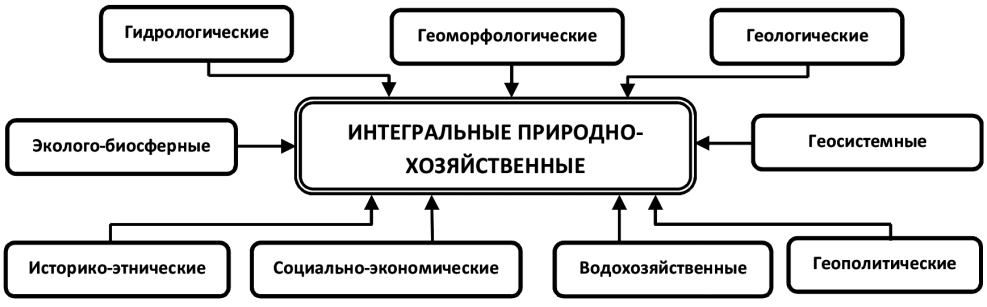


Рис. 1. Алгоритмические основания бассейновой концепции

разделены границами государств с разным уровнем развития и общественно-политическим строем. Эти границы часто не совпадают с природными рубежами. Такое положение чревато возможными международными конфликтами. Возможные конфликтные ситуации в трансграничных бассейнах нами разделены на четыре типа: территориальные, водопользовательские, экологические и природно-ресурсные [Корытный, Жерелина, 2010]. У входящих в такие бассейны государств нет другого пути, кроме как сотрудничество в области природопользования с учетом взаимных интересов и международного разделения труда.

Таким образом, концепция имеет как природные (естественно-исторические), так и общественные (гуманитарные) обоснования, что позволяет считать бассейн интегральной природно-хозяйственной системой (рис. 1).

ПРИМЕНЕНИЕ БАССЕЙНОВОЙ КОНЦЕПЦИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Бассейновый подход к управлению природопользованием основан на следующих ключевых положениях: географическая сосредоточенность (представление о бассейне как едином природно-хозяйственном объекте); научное зондирование (конкретизация средств и методов, установление и ранжирование проблем); равноправное партнерство (достижение согласия между управляющими структурами, организациями-природопользователями и населением на основе консенсуса).

Собственно говоря, бассейновый подход к управлению природопользованием уже давно применяется на международном уровне, начиная с 52-й конференции Ассоциации международного права (Хельсинки, 1966 год). Им предусматривается право каждого государства бассейна на разумную и справедливую долю полезного использования природных ресурсов трансграничного речного бассейна в пределах своей территории. Принятые правила, несмотря на их неправительственный характер, пользуются в мире большим авторитетом. Наиболее успешным опытом регулирования межгосударственных отношений в бассейне крупных международных рек можно назвать проекты сотрудничества в бассейне Рейна, Дуная, Великих североамериканских озер.

Важное преимущество бассейнового подхода – возможность использования формализованной структуры речных сетей Хортона-Стралера, строго учитывающей иерархичность, упорядоченность, соподчиненность природных и социально-экономических систем, в том числе систем природопользования. При этом применяются математические приемы топологии, теории множеств, теории графов, теории информации [Гарцман, Казанский, Корытный, 1976]. Речная сеть представляется в виде графа – ориентированного дерева. Описание множества вершин его задается дискриптивным множеством, которое определяется заданием весов для каждого элемента (вершины). Каждая внутренняя вершина графа является в свою очередь корнем некоторого дерева с мощностью внешнего отдела, определяемой количеством истоков – притоков 1 порядка по нисходящей классификации водотоков Хортона. Оценка разнообразия связей "вершина – корень" проводится при помощи информационной Н-функции Шеннона, а мера множества всех вершин названа нами структурной мерой, поскольку позволяет описывать структуру графа с точностью до изоморфизма.

Бассейновый подход успешно апробирован нами при картографировании природопользования, в частности, и особенно одного из его важнейших видов – водопользования. Порядковая классификации Хортона-Стралера и компьютерный расчет по графу речной сети структурных мер насыщает все топологическое пространство графа структурной информацией, а тесная связь структурной меры со средней водоносностью дают возможность определять сток практически в любой точке системы. Полученная структурная информация для всего топологическо-

го пространства позволяет провести детальное картографирование водоносности речных систем. Оно осуществляется в виде вдоль русловой масштабной полосы (эпюры). Карта позволяет определять значения стока в любом створе, что способствует оптимизации водохозяйственных и водоохранных мероприятий и важно для управления природопользованием в целом. С ее помощью достаточно легко провести расчеты такой важной характеристики, как ресурсы поверхностных вод, в ареалах ландшафтного, природно-хозяйственного, экологического и административного районирования.

Учитывая вышесказанное, для управления природопользованием предлагается рассматривать бассейн как природно-хозяйственную систему, в рамках которой наиболее удобно изучать взаимодействие человека и природы с целью выявления и прогнозирования природоохранных проблем, для разработки схем комплексного использования и охраны природных ресурсов и т.п. Именно бассейн должен стать наиболее распространенным таксоном природно-хозяйственного районирования. На региональном уровне пространственной размерности предлагается трехранговая схема природно-хозяйственного районирования: район – область – регион. Районы и области – главные таксоны при подготовке схем комплексного использования ресурсов и охраны среды. Природно-хозяйственный регион – территория для разработки общей стратегии природопользования с учетом важнейших народнохозяйственных задач; это крупнейшие бассейны VIII и IX порядков.

Примером реализации предложенной иерархической схемы может служить вариант природно-хозяйственного районирования Сибири. Главные структуры – Обь-Иртышский, Ангаро-Енисейский, Лено-Колымский и Байкальский регионы – соответствуют речным бассейнам VIII-IX порядков. На этой основе также выполнено геоэкологическое районирование Сибири, а также районирование Азиатской России по интегральной природной опасности и проблемное водохозяйственное районирование этого макрорегиона [Корытный, 2001].

Весьма полезным может быть бассейновый подход и для совершенствования административно-территориального деления России [Корытный, 2008]. При этом границы будущих субъектов проходят преимущественно по водоразделам крупных речных, озерных и морских бассейнов. Существующие субъекты объединяются; при этом сохраняются закономерности районирования – прежде всего пространственное и социально-экономическое единство. Экономическая самодостаточность региона и единые основные направления природопользования должны быть необходимым признаком. В итоге в стране будут 23 субъекта: 21 край и 2 города федерального подчинения – Москва и Санкт-Петербург. При этом Крым и Севастополь со временем не должны быть отдельными административными единицами, а войти в Черноморский край.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гарцман И.Н., Казанский Б.А., *Корытный Л.М.* Структурная мера речных систем и ее индикативные свойства (на примере систем Южно-Минусинской котловины // Тр. Ин-та геогр. Сибири и Дальн. Востока, 1976. – Вып. 49. – С. 54–60.

Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. – Иркутск: Изд.-во Ин.–та географии СО РАН, 2001. – 164 с.

Корытный Л.М., Жерелина И.В. Международные речные и озерные бассейны Азии // География и природ. Ресурсы, 2010. – № 2. – С. 11–19.

Корытный Л. М. О необходимости и возможности реформирования административного деления России // Трансформация российского пространства: социально-экономические и природно-ресурсные факторы (полимасштабный анализ). – М., 2008. – С. 5–16.

THE BASIN CONCEPT OF NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

Korytny L.M.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia, kor@irigs.irk.ru

ABSTRACT

The basin is not only the water-resource taxon but also a promising natural resource management taxon for research and governance. The basin concept has both the natural and the humanitarian substantiations. This approach can be used in mapping and regionalization of natural resource management as well as in improving the administrative-territorial division of the country.

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ

Рутковский П.П.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Минск, Республика Беларусь

rutkovskip@mail.ru

Рассматривается проблема наводнений в бассейне реки Припять, приводятся их основные гидрологические характеристики. Анализируются степень надежности используемых инженерных систем защиты и доступные пути решения проблемы наводнений в бассейне реки Припять.

Относительно регулярные наблюдения за гидрологическим режимом реки Припять начаты с 1875 года. Сведения о расходах и уровнях до этого периода основаны на анализе различных источников.

Как показывает их анализ, самым выдающимся по гидрологическим характеристикам было половодье 1845 года. Для некоторых рек, по мнению гидрологов, оно было предельно возможным по климатическим условиям для территории, на которой расположена Республика Беларусь [Швец, 1972].

На формирование половодья 1845 года оказали влияние многие факторы. Осенью 1844 года прошли обильные дожди, реки вышли из берегов, ранняя зима привела к формированию довольно мощного ледостава, отличалась обилием осадков. Весна была поздняя и дружная, сопровождавшаяся дождями во время снеготаяния. Сочетание этих факторов и привело к формированию чрезвычайно высокого половодья. Половодье 1845 года в бассейне реки Припять – уникальное гидрологическое явление. В приводке к нулю графика современного водпоста у г. Мозырь максимальный уровень составил 675 см, что превышает известные с начала регулярных наблюдений уровни до настоящего времени.

По имеющимся сведениям, половодьем 1845 года было затоплено значительное количество населенных пунктов, сенокосных угодий и т.д. Однако эти сведения являются чисто описательными и материально выражены быть не могут.

Наводнения на реках бассейна Припяти вызваны значительной неравномерностью внутригодового распределения стока. Средний многолетний объем весеннего половодья составляет порядка 55% объема всего годового стока. Режимы половодий, летне-осенних дождевых паводков на разных реках имеют свои особенности, которые определяются в основном особенностями геоморфологии бассейна. Высота подъема максимальных уровней весеннего половодья колеблется от 1 до 3 м, продолжительность половодья изменяется от 120 до 140 суток, а в отдельные годы и более [Ресурсы…, 1971].

В целом для условий бассейна реки Припять генетической основой формирования половодий являются следующие факторы: обильное осеннее увлажнение почвы, раннее наступление зимнего периода, формирование максимального снежного покрова, дружная весна без резких колебаний температуры и заморозков. Важную роль в формировании высоких весенних половодий играют дожди, которые накладываются на период снеготаяния.

Дождевые паводки в летне-осенний период наблюдаются почти ежегодно. Для дождевых паводков характерна распластанная форма паводковой волны, часто слабо выраженная на общем фоне спада весеннего половодья, причем продолжительность паводка достигает 40–45 суток и больше.

Кроме природных условий значительную роль в формировании наводнений играет и антропогенный фактор.

Особенно характерно это проявилось для наводнения в бассейне реки Припять в 1999 году.

Половодье 1999 года формировалось в следующих специфических условиях. Зима 1998–99 гг. характеризовалась неустойчивым залеганием снежного покрова, который в бассейне Припяти (как на территории Беларуси, так и Украины) неоднократно образовывался и сходил. На протяжении предыдущего года водность здесь была высокой и на отдельных участках рек вода длительное время находилась на пойме. Зимние оттепели увеличили запасы воды в русловой сети и уже в январе 1999 года вода повсеместно вышла на пойму, высота затопления пойменных территорий составила 20–115 см. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0^{o}C осуществился в конце третьей декады февраля. В связи с ранним таянием снега в начале марта в бассейне реки на фоне высокой водности начался рост уровней воды весеннего половодья и уже к середине месяца почти на всех притоках Припяти прошли максимумы весеннего половодья. Наиболее

высокое половодье сформировалось на ее правобережных притоках Горыни и Уборти, где высота его составила 123–283 см над предполоводным уровнем. За счет поступления воды как левобережных, так и правобережных притоков Припяти на всем их протяжении формирование максимальных уровней половодья продолжалось до конца марта и наивысшие их значения наблюдались в конце третьей декады месяца. В период формирования максимумов половодья в бассейне реки выпало значительное количество осадков.

Работы по защите пойменных территорий от наводнений в государственных масштабах начались в республике с 1968 года в рамках созданной "Схемы осушения и освоения земель Полесской низменности БССР и УССР" [Ресурсы…, 1971], а также "ТЭО инженерных мероприятий по защите от затоплений и мелиорации поймы р. Припять", разработанного в 1978 г. "Белгипроводхозом" с участием ведущих научных учреждений Беларуси и Украины [Схема…, 1980, Мелиорация …, 1982, Комплексная…, 1983, ТЭО…, 1981, Государственная …, 2010].

К настоящему времени на участке от границы с Украиной до г.п. Туров практически сформировалось двухстороннее обвалование Припяти. Учитывая, что этот участок реки играет важнейшую роль в формировании паводкового стока, изменение условий его формирования привело к тому, что основная тяжесть опасности наводнений переместилась вниз по течению Припяти, что и подтвердил ход паводков 1993, 1999 годов. Влияние искусственного изменения условий формирования максимального стока на гидрологические и гидравлические параметры стока не прогнозируется, что затрудняет оценку масштабов наводнений и выработку стратегии управления, позволяющей минимизировать отрицательные последствия паводков и половодий, определять пути эффективного использования пойменных территорий, потенциал которых достаточно высок.

Во время весеннего паводка 1999 года, в 20 районах Брестской, Гомельской и Минской областей оказались затопленными и подтопленными 194 населенных пункта, 195,5 тыс. га сельхозугодий, около 5 тыс. жилых домов.

Следует отметить, что в бассейне реки Припять продолжительность стояния воды в период дождевых паводков на пойме за период наблюдений дважды, в 1933 г. и 1974 г., имела бóльшую продолжительность, чем в период весеннего половодья. Особенно это характерно для 1974 года, когда ущерб от летне-осеннего паводка явился одним из самых больших для всего бассейна Припяти.

Как показывает анализ данных о наводнениях 1845 и 1931 года, возможно формирование в будущем и более катастрофических по физическим характеристикам паводков и половодий. Это подтверждается тем, что возможно сглаживание степени асинхронности в формировании максимального стока по бассейнам притоков, усилением антропогенной нагрузки на территорию водосбора.

Анализ структуры сложившейся системы защиты от наводнений в пойме реки Припять и опыт ее эксплуатации показывает, что применение чисто инженерных способов не обеспечивает существенное снижение ущербов от наводнений при эффективном использовании пойменных территорий.

В связи с этим на современном этапе целесообразно применение сочетания инженерных способов защиты и мероприятий, позволяющих регламентировать использование затапливаемых территорий.

В качестве основных инженерных мероприятий могут быть использованы локальные системы защиты в виде создания польдеров, обеспечивающих сельскохозяйственное использование пойменных территорий, а также обвалование отдельных населенных пунктов.

Важное внимание должно уделяться повышению надежности работы инженерных систем защиты, которое может быть достигнуто различными путями. Одним из них является устройство временных резервных емкостей, обеспечивающих отвод избытков паводковых вод в чрезвычайных ситуациях. Другой путь – создание эффективной службы эксплуатации, главной целью которой должно являться поддержание в постоянной готовности сооружений системы защиты и осуществление безаварийного пропуска паводков и половодий. Служба эксплуатации инженерных систем защиты от наводнений должна обеспечивать планирование и организацию всех работ по уходу за сооружениями и контролировать ход их выполнения, обеспечивать оперативное проведение ремонтных и восстановительных работ, организовывать работы по пропуску паводков и половодий и т.д.

Из неинженерных способов защиты от наводнений, позволяющих снижать ущербы, необходимо, в первую очередь, введение правил землепользования на затапливаемых территориях и применение системы страхования от наводнений.

Правила землепользования определяют режим хозяйственной деятельности в зависимости от частоты затопления пойменных территорий, так при частоте затопления 1 раз в 10 лет и чаще пойменные земли могут быть использованы только под пастбища и сенокосные угодья, любое строительство в естественных условиях недопустимо. При частоте затопления 1 раз в 100 лет возможно строительство соответствующих сооружений.

Использование системы страхования позволит исключить экономически неоправданное использование пойменных территорий и проводить компенсацию ущербов от наводнений. В основу системы страхования от наводнений заложен принцип сочетания экономических и административных мер воздействия.

Сочетание инженерных и неинженерных способов защиты от наводнений, при наличии эффективной службы эксплуатации, позволит в значительной степени уменьшить негативные последствия от наводнений.

На основании анализа опыта использования инженерных систем защиты от наводнений можно сделать следующие выводы.

1. Основными природными факторами, определяющими масштабы наводнений являются: обильное осеннее увлажнение территории бассейна, многоснежная зима, интенсивное снеготаяние в весенний период, охватывающее практически весь бассейн, а также наложение обильных дождевых осадков на период формирования половодья.
2. Важной проблемой в процессе развития половодий и паводков является изменение условий формирования паводков и половодий путем строительства инженерных систем защиты от наводнений, изменение гидрографической сети бассейна.
3. Применение чисто инженерных способов не обеспечивает существенное снижение ущербов от наводнений при эффективном использовании пойменных территорий.
4. Целесообразно применение сочетания инженерных способов защиты и мероприятий, позволяющих регламентировать использование затапливаемых территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 годы от 31 августа 2010 г. №1262.

Комплексная генеральная схема инженерной защиты на территории БССР. Белгипроводхоз, 1983.

Мелиорация и освоение поймы реки Припяти. /Под редакцией академика ВАСХНИЛ и АН БССР С.Г. Скоропанова и к.т.н. Г.Д. Горбутовича. – Минск, "Урожай", 1982. – 247 с.

Ресурсы поверхностных вод. Т. 5, ч. 1. – Л., Гидрометеоиздат, 1971. – 1108 с.

Схема комплексного использования и охраны вод в бассейне Днепра. – Укргипроводхоз, 1980.

ТЭО инженерных мероприятий по защите от затопления и мелиорации поймы р. Припять на территории БССР. – Белгипроводхоз, 1981.

Швец Г.И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР. – Ленинград: Гидрометиздат, 1972.

SYSTEMS OF PROTECTION AGAINST FLOODS IN THE RIVER BASIN PRIPYAT

Rutkouski P.

Central Research Institute of Complex Use of Water Resources, Minsk, Republic of Belarus, rutkovskip@mail.ru

ABSTRACT

In the article the problem of floods is examined in a river basin Pripyat', their basic hydrological descriptions over are brought. The degree of reliability of the in-use engineering's systems of defense and accessible ways of decision of problem of floods is analysed in a river basin Pripyat'.

ОЦЕНКА ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ РЕГИОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В., Магаева Л.А., Губарев М.С., Резников В.Ф., Курепина Н.Ю.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

irina.rybkina@mail.ru

Предлагается в качестве единого методологического подхода к оценке водообеспеченности использовать ландшафтно-бассейновый. На основе анализа многолетних данных ресурсов речного и подземного стока проведена оценка потенциальной водообеспеченности регионов Западной Сибири по ландшафтным провинциям. На примере Омской области выполнен расчет современной и перспективной водообеспеченности до 2020 г. с учетом инерционного и инновационного вариантов социально-экономического развития.

Несмотря на то, что суммарные водные ресурсы РФ довольно велики, многие субъекты испытывают значительные проблемы с водообеспечением населения и экономики. Очевидно, что в долгосрочной перспективе подобная напряженность будет возрастать.

В целях детализации оценок водно-ресурсного потенциала территорий предлагается на единой критериальной основе использовать ландшафтно-бассейновый подход. Сотрудниками ИВЭП СО РАН выполнен углубленный анализ азональных и зональных факторов ландшафтной дифференциации и разработана обобщенная схема физико-географического районирования Сибири [Винокуров, Цимбалей, 2006]. Авторами подчеркивается, что зонально-провинциальным особенностям территорий принадлежит важная роль в формировании водных ресурсов и систем водопользования. В Западной Сибири выделено 83 ландшафтных провинции, отличающихся общностью условий формирования поверхностного и подземного стока. Именно в этих границах и предлагается проводить оценку водообеспеченности регионов.

Оценка современной обеспеченности поверхностными водными ресурсами выполнена в расчете на одного жителя на основе данных ГГИ о среднемноголетних речных расходах, а также с использованием карты "Средний многолетний сток рек" масштаба 1 : 24 000 000 [Атлас СССР, 1983]. Оценка осуществлялась по данным ближайших гидропостов за весь период наблюдений с привязкой к местам пересечения рекой границ ландшафтных провинций. В случае отсутствия гидропостов или их удаленности от границ провинций использовались данные по модулю речного стока.

В основу оценки водообеспеченности подземными водами положены картографические материалы Атласа гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР [Атлас гидрогеологических..., 1983] и оценки ресурсов пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна [Ресурсы пресных..., 1991], а также результаты геологоразведочных работ, которые были проведены в регионах за последние годы (при условии их наличия). Водообеспеченность рассчитывалась по показателям модуля подземного стока зоны интенсивного водообмена.

Анализ полученных результатов показал закономерное увеличение водообеспеченности с юга на север, по мере нарастания водности рек и увеличения увлажнения территории. Наиболее всего ресурсами поверхностных вод (свыше 1000 тыс. м^3/чел. в год) обеспечены малообжитые северные территории, в том числе население в нижнем течении Иртыша и Оби, а также в бассейнах рек, впадающих в Обскую губу и Карское море. Слабо обеспечено поверхностными водными ресурсами (5–50 тыс. м^3 в год на человека) население основной полосы расселения, приуроченной к лесостепной и степной зонам, густо заселенные и интенсивно освоенные бассейны Чулыма и Томи, а также горно-таежный пояс Урала. Наименьшей водообеспеченностью отличаются территории области внутреннего стока и южная часть Уральского региона.

Обеспеченность подземными водами питьевого качества характеризуется следующими цифрами: южная часть Западной Сибири, расположенная в области недостаточного увлажнения и частичного (лишь верхних горизонтов) дренирования подземных вод, в основном, имеет воды минерализацией более 3 г/дм^3, водообеспеченность здесь составляет менее 5 тыс. м^3/чел. в год. В зоне оптимального и избыточного увлажнения территорий Западной Сибири с глубоким (почти полным) дренированием подземных вод зоны свободного водообмена водообеспеченность имеет значения 5–50 тыс. м^3/чел. в год и более (рисунок).

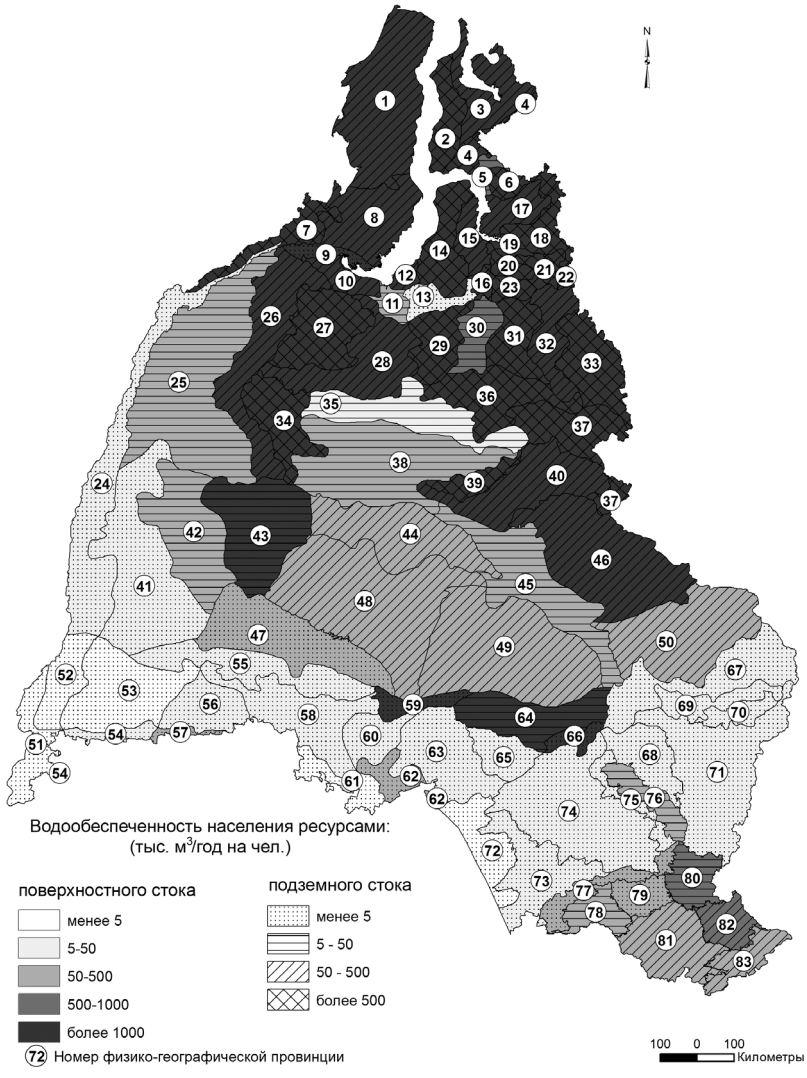


Рисунок. Современная водообеспеченность региональных систем Западной Сибири

На примере Омской области, которая расположена в пределах 10 ландшафтных провинций, приведем результаты оценки перспективной водообеспеченности региона. Для этого по данным государственной статистической отчетности 2тп-водхоз были рассчитаны показатели забранной и использованной воды на различные хозяйственные нужды, объемы водопотребления из поверхностных и подземных водных источников, водоемкость валового регионального продукта (ВРП), водоемкость промышленной и сельскохозяйственной продукции, объем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения в ландшафтных провинциях. Расчет проводился путем совмещения или "вложения" территорий муниципальных образований в границы ландшафтных провинций в пересчете на количество проживающего населения.

Особенности водопользования субъекта таковы, что наибольший объем воды из поверхностных и подземных водных источников забирается на территории Западно-Барабинской ландшафтной провинции, в пределах которой расположены г. Омск и, практически полностью, Омский район области. Провинция характеризуется общим объемом забранной и использованной воды, соответственно, около 200,0 и 190,0 млн м^3 в год (данные 2012 г.), что составляет порядка 75% общего водозабора и 90% используемой воды в области. В структуре источников водоснабжения преобладают поверхностные водные объекты (99,1%). На хозяйственно-питьевые нужды расходуется 50,3% используемых вод в провинции, на производственные – 45,6%, на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение – 4,1%.

Пространственная неравномерность заселения и освоения региона находит свое отражение в специфике территориальной организации водопользования и в эффективности использования водных ресурсов. В Западно-Барабинской провинции проживает 1,35 млн чел. или 68,5% населения Омской области, именно с ней связаны перспективы раз-

вития Центрального экономического района области. Общий объем выпускаемой продукции в стоимостном выражении составляет 583,8 млн руб. или 92,5% ВРП области. При этом на долю промышленной продукции (в основном обрабатывающих производств) приходится 565,8 млн руб. или 96,4% ВРП провинции. Водоемкость ВРП здесь составляет 0,34 м^3/1000 руб., что на 19% меньше, чем в среднем по области. Еще меньшее значение имеет водоемкость промышленного производства провинции – 0,15 м^3/1000 руб. В сельскохозяйственном производстве водоемкость варьирует от 0,21 м^3/1000 руб. в животноводстве до 0,79 м^3/1000 руб. в растениеводстве, что больше чем в среднем по области на 25% и 88%, соответственно.

В расчетах перспективной водообеспеченности учтены полученные оценки водоемкости промышленного производства. Для Западно-Барабинской провинции водоемкость промышленного производства к 2020 г. при инерционном варианте развития составит 0,15 м^3/1000 руб. (то есть останется на современном уровне), при инновационном сократится до 0,14 м^3/1000 руб. (на 10% по сравнению с 2012 г.). В этом случае водопотребление на производственные нужды к 2020 г. соответственно увеличится при инерционном варианте на 28,43 млн м^3/год, при инновационном – на 20,73 млн м^3/год (в 2012 г. эта цифра составила 86,95 млн м^3/год). С учетом демографического прогноза Росстата для этой территории перспективная водообеспеченность к 2020 г. составит: для ресурсов местного речного стока – 0,16 тыс. м^3/чел. в год, транзитного стока – 21,85 тыс. м^3/чел. в год, подземного стока – 0,13 тыс. м^3/чел. в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР. Карта естественных ресурсов подземных вод СССР (подземного стока зоны интенсивного водообмена). – М., 1983. [Электронный ресурс]: http://www.hge.pu.ru/mapgis/subekt/ obzorniye/ig_atlas/est_res.pdf.

Атлас СССР. – М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1983. – 260 с.

Винокуров Ю.И., Цимбалей Ю.М. Региональная ландшафтная структура Сибири. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2006. – 95 с.

Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / Сост.: И.М. Земскова, Ю.К. Смоленцев, М.П. Полканов и др. – М.: Недра, 1991. – 262 с.

ASSESSMENT OF WATER AVAILABILITY IN REGIONS OF WESTERN SIBERIA

Rybkina I.D., Stoyashcheva N.V., Gubarev M.S., Reznikov V.F., Kurepina N.Yu.

Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia, irina.rybkina@mail.ru

ABSTRACT

A landscape-basin approach is proposed as a unified methodological one to assess the water availability. Based on the analysis of long-term data on the resources of river and groundwater flow, the assessment of potential water availability in the regions of Western Siberia is carried out by landscape provinces. Using the Omsk region as an example, the evaluation of the current and future water availability up to 2020 is performed with consideration for the inertial and innovative options for socio-economic development.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА СИБИРСКИХ РЕК ВОДОХРАНИЛИЩАМИ – ОСНОВА КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Савкин В.М., Двуреченская С.Я.

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, Новосибирский филиал

savkin@iwep.nsc.ru, dvur@iwep.nsc.ru

Приводятся планы создания перспективных ГЭС с водохранилищами и фактическое состояние регулирования стока рек в России. Указывается, что при неблагоприятном внутригодовом распределении речного стока Россия отстает в решение этой проблемы от зарубежных стран. Анализируются возможности создания водохранилищ в Сибири, особенности их морфометрических характеристик. В качестве примера комплексного использования водных ресурсов Верхней Оби приводится длительно эксплуатируемое Новосибирское водохранилище. Отмечается, что, несмотря на значительный антропогенный пресс, водохранилище оказывает позитивное влияние на качество воды.

В середине 50-х годов XX века, в бассейне Оби предусматривалось создать шесть ГЭС с водохранилищами: Батуринскую и Киреевскую севернее Новосибирска, на Средней Оби – Чулымскую, Тымскую и Вахкскую, а также ряд ГЭС на реке Катуни и её притоках. Самой мощной ГЭС с подъемом уровня воды 170 м стала бы Катунская (Еландинская) ГЭС с контррегулятором – Чемальской ГЭС с напором 41 м. Как известно, ни ГЭС, ни водохранилища построены не были, и регулирование стока реки Оби в настоящее время ограничено Новосибирской ГЭС и водохранилищем.

В перспективе приоритет в водохозяйственном освоении рек будет направлен на завершению начатых строек ГЭС, а также сооружению новых ГЭС и водохранилищ, в основном, на реках Восточной Сибири, где гидроклиматические условия региона вызывают необходимость регулирования стока рек для целей оптимального его распределения в течение года.

Надо заметить, что по регулированию стока рек Россия находится на уровне Китая и Индии, отстает от США и Канады. В то же время, в России за 3 месяца весеннего половодья формируется 60% водных ресурсов, тогда как в Китае – 48%, Канаде – 46%, США – 35%, Бразилии – 32%. В связи с этим регулирование стока рек остается актуальной прикладной задачей. К сожалению, в России формируется устойчивое мнение специалистов и общественности о принципиальной экономической нецелесообразности освоения возобновляемых источников энергии, создания водохранилищ и регулирования стока. Предпочтение отдаётся развитию нефтегазового комплекса, что в первую очередь привело к свертыванию проектов строительства ГЭС. Мощностей малой же энергетики в стране недостаточно для решения этой проблемы, но и она практически перестала существовать уже к началу 70-х годов прошлого века. Новые проекты регулирования стока рек в настоящее время у нас практически не рассматриваются. Примером этому могут быть VI и VII Гидрологические съезды, в работе которых даже не предусматривалась секция “Регулирование стока”. Строительство искусственных водоемов Сибири в сравнительно узких, глубоких, менее освоенных и заселенных долинах рек, в сравнении с Европейской территорией, создает возможность создания емких водохранилищ, позволяющих осуществлять сезонное и многолетнее регулирование стока рек, надежно удовлетворять возрастающие потребности широкого круга водопользователей.

Морфометрические показатели водохранилищ Сибири, изменение их объемов и уровней воды при регулировании стока, а также климатические условия районов их расположения, определяют особенности изменения гидролого-гидрофизических процессов в водохранилищах и их нижних бьефах, формирование микроклимата на прилегающих территориях. Так, Новосибирское водохранилище вызвало снижение расходов воды р. Оби в апреле-мае на 29% от естественных, что позитивно повлияло на хозяйственные условия нижнего бьефа. Сток в декабре-марте увеличился и составляет 112–120% от естественного. Влияние водохранилища прослеживается вниз по течению реки на 600 км (г. Колпашево), где сток в декабре-марте составляет 104–132% естественного, в остальное время 82-96% [Савкин В.М. и др., 2014]. Аккумуляция стока сибирскими водохранилищами осуществляется, в основном, на пике весеннего половодья, но в отдельные годы, в зависимости от водности и характера весенне-летнего периода, имеются особенности. В Новосибирское водохранилище основное посту-

пление воды происходит в мае-июне, в отдельные годы в апреле и июле. От общего объема притока р. Оби аккумуляция воды в водохранилище составляет: апрель 8,9%, май–июль 58,6%, август 9,6%, сентябрь–октябрь 12,5%, ноябрь–март 10,8%. Максимальные сбросы воды в нижний бьеф происходят также в мае-июне, их величины составляют в мае от 11 до 26%, в июне от 12 до 24% от общего годового расхода воды. В зависимости от водности года величина притока и сброса в мае-июне может изменяться в широких пределах: от 22,4 км^3 в многоводный и до 8,6 км^3 в маловодный год приток, и, соответственно, от 18,6 км^3 до 5,8 км^3 в год сбросы [Савкин, Двуреченская, 2014]. Надо отметить, что в настоящее время водные ресурсы водохранилища еще позволяют существенно улучшать санитарные условия реки в черте г. Новосибирска и обеспечивать бесперебойную работу городского водопроводного хозяйства увеличенными попусками в маловодные периоды, поддерживать судоходные условия на участке реки Оби от г. Новосибирска до устья реки Томи. Однако, при обеспеченности зимней межени по водности более 60% возможен дефицит от 1,0 до 1,5 км^3, что приводит к вынужденной сработке водохранилища до 1,5м ниже УМО. Это наносит существенный ущерб как водохозяйственному его использованию, так и сформировавшимся экосистемам. В связи с этим правомерна постановка проблемы о необходимости дополнительного регулирования стока Верхней Оби. [Савкин и др., 2014].

Целесообразность повышения регулирования стока Верхней Оби наглядно показало весеннее половодье и последующий за ним дождевой паводок в 2014 году. Обильные дожди в конце мая, к сожалению не предусмотренные долгосрочными прогнозами, при которых осадки в зонах питания рек на Алтае составили до 240% месячной нормы, вызвали подъем уровней воды на реках Бия, Катунь и их притоках, повлекшие большое наводнение и значительные материальные ущербы. Для предотвращения затоплений в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища, была подготовлена дополнительная емкость, путем сброса части уже аккумулированной воды. В течение июня расход через сооружения станции в нижний бьеф был увеличен до 4000, а позднее – до 4380 м^3/с, при максимально возможном 4600 м^3/с. В итоге общая величина сбросов в нижний бьеф составляла 6980 м^3/с, при этом уровень водохранилища в июне достиг отметки 113,54 м БС, т.е. отметки НПУ. Наиболее высокий водообмен в течение года (в том числе в сравнении с многолетними величинами) наблюдался в июне, июле, августе: 1,42; 1,04 и 0,61, соответственно, что было связано с повышенными сбросами в нижний бьеф.

Особенностью регулирования стока Верхней Оби и водного режима Новосибирского водохранилища в 2014 году стало его заполнение до отметки НПУ дважды: в июне и ноябре. Общая продолжительность стояния и превышения уровня НПУ за год составила 63 суток, из них 50 суток в июне и 13 суток с 25 октября по 9 ноября, что было связано с резким потеплением в регионе и обильными осадками, сопровождающимися таянием ранее выпавшего снега на водосборе. В целях недопущения переполнения Новосибирского водохранилища, в это время периодически осуществлялись холостые сбросы воды в нижний бьеф через водосливную плотину. В целом водохранилище аккумулировало треть объема дождевого паводка и защитило от подтопления 20-ую часть территории города. Таким образом, Новосибирское водохранилище (неполного сезонного регулирования стока), несмотря на определенные трудности, было успешно использовано для приема волны дождевого паводка рек Горного Алтая.

При оценке роли Новосибирского водохранилища в формировании качества воды проведено сравнение потоков химических веществ во входном створе и нижнем бьефе водоема. Установлено, что в нижнем бьефе, по сравнению с входным створом, для большинства химических веществ, определяющих состав воды, происходит снижение потоков. Увеличение потока в нижнем бьефе наблюдается по нефтепродуктам в летний период, что может быть связано с судоходством, а также антропогенным влиянием Бердского залива, куда сбрасываются сточные воды гг. Искитима и Бердска. Выявление роли водохранилища во внутриводоемных процессах, связанных с формированием качества вод и состоянием их загрязненности, проводилось с использованием показателей комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод [РД 52.24.643 – 2002]. Для примера были взяты различные по водности годы. Класс качества воды в 2006–2008 гг. менялся от “очень загрязненной” во входном створе до “загрязненной” в нижнем бьефе, оставался на уровне “очень загрязненная” в 2010 г. во входном створе и в нижнем бьефе и несколько ухудшался от “очень загрязненной” во входном створе до “грязной” в нижнем бьефе в 2009 г. Наибольший вклад в общую оценку степени загрязненности воды вносили ионы железа, марганца и меди, которые достигали уровня критических показателей загрязненности как во входном створе, так и нижнем бьефе. Однако следует отметить высокие фоновые значения концентраций этих ингредиентов в водах р. Оби.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №13-05-00937.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

РД 52.24.643 – 2002 "Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям". – Росгидромет. СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 36 с.

Савкин В.М., Двуреченская С.Я. Ресурсные и водно-экологические проблемы комплексного использования Новосибирского водохранилища// Водные ресурсы, 2014. – Т.41. – №4. – С. 456–465.

Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Ермолаева Н.И. и др. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 393 с.

REGULATION OF SIBERIAN RIVERS' RUN-OFF BY THE RESERVOIRS AS THE BASIS OF COMPLEX USE AND PROTECTION OF WATER RESOURCES

Savkin V.M., Dvurechenskaya S.Ya.

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, RAS, Novosibirsk Department, Russia, savkin@iwep.nsc.ru, dvur@iwep.nsc.ru

ABSTRACT

The plans of creation a perspective hydropower stations with the reservoirs and the actual state of regulation of the flow of rivers in Russia are discussed. It is pointed that in the case of unfavorable within-year distribution of river's runoff Russia lags behind in solving this problem from other countries. The possibility of construction of reservoirs in Siberia, their morphometric characteristics are analyzed. The long-term serving Novosibirsk reservoir is an example of the multipurpose use of water resources of the Upper Ob. It is noted that despite on the significant anthropogenic pressure reservoir exerts the positive impact on water quality.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СИСТЕМЫ – ОПТИМАЛЬНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ РАСПОЛАГАЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Филимонова Е.А., Штенгелов Р.С., Маслов А.А., Максимова Е.С., Балденков М.Г.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва

dveac@yandex.ru

Рассматриваются основные принципы гидрологического и гидрогеодинамического обоснования комбинированных водозаборных систем.

Обеспечение населения и промышленности страны бесперебойным водоснабжением в необходимых объёмах является важнейшим условием устойчивого социально-экономического развития. Поверхностные и подземные воды, используемые для организации питьевого, хозяйственно-бытового водоснабжения и технологического обеспечения, представляют единую ресурсную балансово-гидрогеодинамическую систему. При эксплуатации поверхностных вод (в том числе через береговые водозаборные скважины) в качестве основной проблемы выступает существенная неравномерность распределения располагаемых ресурсов речного стока по территории и в годовом периоде. В природных условиях бóльшей части территории России до 60–80% годового речного стока проходит в период весеннего половодья, что приводит к практической невозможности круглогодичной организации водоснабжения за счёт исключительного использования поверхностных вод. Достаточная внутригодовая трансформация водного режима рек за счёт водохранилищ или территориальной межбассейновой переброски речных или подземных вод не всегда возможна по природным, экологическим и технико-экономическим условиям.

Величина располагаемых ресурсов может быть увеличена с помощью комбинированной водозаборной системы (КВС), состоящей из основного и компенсационного водозаборов, работающих по согласованному диспетчерскому графику [Ковалевский, 2001, Штенгелов и др. 2012]. Основной водозабор (ОВ) может быть реализован в любой форме – поверхностной или подземной; важно, что его дебит обеспечивается речным стоком. ОВ работает с переменной производительностью, понижаемой в дефицитные периоды речного стока. Компенсационный водозабор (КВ) всегда подземный; включается периодически, в периоды понижения производительности ОВ, с таким дебитом, чтобы суммарная производительность КВС оставалась на уровне существующей водопотребности Q_0. Дебит КВ обеспечивается преимущественно естественными запасами подземных вод в ближайшей зоне и не наносит ущерба стоку реки до момента развития депрессионной воронки до её уреза. При этом ущерб реке от работы КВ имеет отложенный во времени характер, т.е. за период включения КВ он не превышает некоторой заданной минимальной величины, а полной величины достигает лишь в последующий многоводный период.

Гидрологическое обоснование создания и функционирования КВС заключается в построении расчетного внутригодового распределения поверхностного стока необходимой обеспеченности (вероятности превышения), отражающего характерные фазы водности реки.

По направленности функционирования КВС подразделяются на [Штенгелов, Филимонова, 2012]:

– компенсационные, в которых в маловодный период производительность основного водозабора Q_{0B} понижается до допустимой величины, а вся добываемая на компенсационном водозаборе вода в количестве Q_{KB} направляется потребителям для покрытия дефицита водоподачи:

$$Q_{0B} = Q_P - \text{МДР};\ Q_{KB} = Q_0 - Q_{0B} \qquad (1)$$

где Q_P, МДР – текущий и минимальный допустимый расходы реки соответственно,

– регенерационные, где производительность ОВ круглогодично сохраняется постоянной, а вся добываемая на компенсационном водозаборе вода сбрасывается в реку для покрытия недопустимого ущерба от работы основного водозабора:

$$Q_{KB} = \frac{Q_0 - (Q_P - \text{МДР})}{1 - Y};\ Q_{0B} = Q_0 \qquad (2)$$

где Y – удельный (на единицу дебита КВ) ущерб стоку реки.

Комплексным природно-технологическим фактором, контролирующим абсолютные величины Y

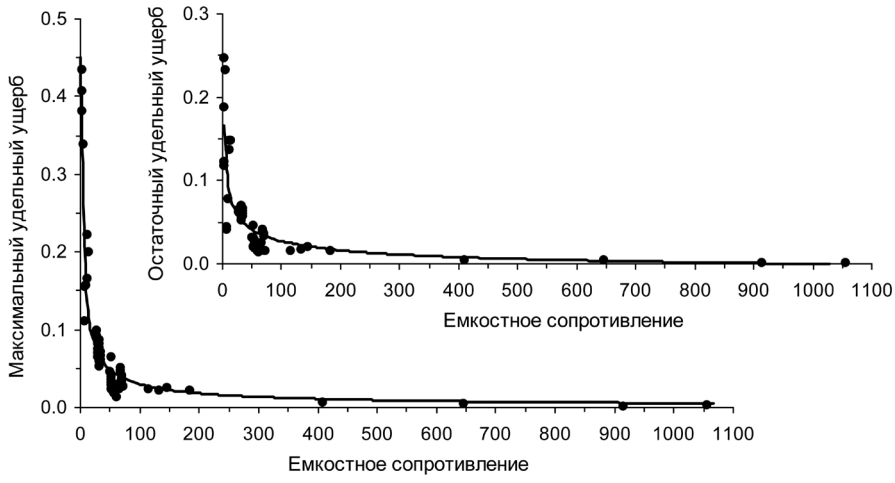


Рис. 1. Регрессионные зависимости максимального и остаточного удельного ущерба от емкостного сопротивления

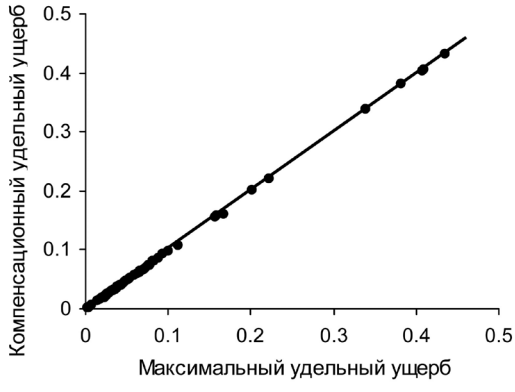


Рис. 2. Регрессионная зависимость компенсационного ущерба от максимального

и динамику развития ущерба речному стоку при периодической работе компенсационного водозабора, является безразмерный параметр "емкостного сопротивления", имеющий структурную форму следующего вида [Filimonova, Shtengelov, 2013]:

$$C = \frac{L^*}{\sqrt{a\Delta t}} \qquad (3)$$

где a – уровне(пьезо)проводность водоносного горизонта, Δt – длительность внутригодового периода работы КВ, под символом L^* понимается в любом случае собственно физическое удаление КВ в плане от уреза реки L_0, но в конкретных условиях учитываются и виртуальные величины эквивалентной длины (обобщённое фильтрационное сопротивление ложа реки по отношению к эксплуатируемому водоносному горизонту, фактор перетекания через разделяющий слабопроницаемый слой и др.).

Гидрогеологические условия месторождений подземных вод для создания КВС принципиально подразделяются на два типа: тип 1 – продуктивным является грунтовый водоносный горизонт, непосредственно связанный с рекой, тип 2 – компенсационный водозабор эксплуатирует межпластовый водоносный горизонт.

Месторождения типа 1 подразделяются на подтипы по степени гидрогеодинамического несовершенства реки: совершенная река, несовершенная "широкая" река, несовершенная "узкая" река.

Основными показателями динамического состояния ущерба речному стоку при периодической работе КВ являются величины максимального Y_M, компенсационного Y_K (на момент окончания очередного цикла работы КВ) и остаточного Y_0 (на момент очередного включения КВ) ущерба. На основе представительной серии численно-аналитических и модельных экспериментов установлены регрессионные зависимости между параметрами максимального и остаточного удельного ущерба и емкостным сопротивлением C для перечисленных типов месторождений подземных вод (рис. 1), имеющие степенной характер вида:

$$Y = aC^{-n}, \qquad (4)$$

где a = 0,75, n = 0,7–0,9 для Y_M; a = 0,30, n = 0,4–0,6 для Y_0.

Величина компенсационного удельного ущерба Y_K может приниматься практически равной максимальному (рис. 2).

Для КВС регенерационного типа удаление компенсационного водозабора от реки L_0 в принципе может быть произвольной. Для компенсационных КВС минимизация величины L_0 необходима для сохранения компактности общей инфраструктуры водозаборной системы; в то же время оптимальное положение компенсационного водозабора должно обеспечивать минимальную по величине и максимально отложенную во времени реакцию речного стока на водоотбор. Для определения минимальной величины L_0 при назначенном дебите КВ и допустимой величине ущерба речному стоку оценивается величина Y, и, по соответствующей регрессионной зависимости, определяется емкостное сопротивление C, после чего по гидрогеодинамическим параметрам водоносного горизонта и сопротивления ложа реки рассчитывается удаление КВ от реки:

$$L_0 = C\sqrt{a\Delta t} - \Delta L, \qquad (5)$$

где ΔL – обобщённая эквивалентная длина.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ №14-05-31325-мол-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. – М: Научный мир, 2001. – 332 с.

Штенгелов Р.С., Филимонова Е. А. Комбинированные водозаборные системы как метод оптимального управления водными ресурсами // *Мелиорация и водное хозяйство,* 2011. – Т. 6. – С. 23–26.

Штенгелов Р., Филимонова Е., Маслов А. Обоснование гидрогеодинамических условий для организации комбинированных водозаборных систем // *Известия ВУЗов, Геология и Разведка,* 2012. – Т. 1. – С. 43–48.

Filimonova E. A., Shtengelov R. S. The dependence of stream depletion by seasonal pumping on various hydraulic characteristics and engineering factors // *Hydrogeology Journal,* 2013. – Vol. 21, no. 8. – P. 1821–1832.

COMBINED WATER SYSTEMS AS THE OPTIMAL METHOD TO INCREASE AVAILABLE WATER RESOURCES

Filimonova E.A., Shtengelov R. S., Maslov A.A., Maximova E.A., Baldenkov M.G.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, dveac@yandex.ru

ABSTRACT

The principle hydrological and hydrodynamic conditions of combined water systems are investigated.

СЕКЦИЯ 5

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

ОСОБЕННОСТИ МАЛОВОДНОГО ПЕРИОДА 1996–2014 ГОДОВ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОДНОСТИ

Бережных Т.В., Абасов Н.В., Осипчук Е.Н.

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск

berejn@isem.sei.irk.ru

Рассматриваются особенности маловодного периода 1996–2014 гг. в бассейне озера Байкал как результат глобальных и региональных климатических изменений в рассматриваемом бассейне. Приведен пример прогноза развития водохозяйственной ситуации, последовавшей после маловодья в 2014 г., и подход к долгосрочному прогнозированию водности Байкала с технологией обработки данных глобальных климатических моделей.

Маловодный период на оз. Байкал (1996–2014 гг.) является наиболее длительным среди наблюдавшихся за весь период наблюдений 1899–2014 гг. Последствием длительных маловодных периодов притока могут быть значительные водохозяйственные, энергетические и экологические риски. С чрезвычайными рисками пришлось столкнуться в 2014 г., когда в результате аномально низкого годового притока в оз. Байкал (67% от нормы) возникла угроза оголения водозаборов в г. Ангарске на фоне аномально низкого стока рек Иркут, Китой, Белая. На основе разработанной в ИСЭМ СО РАН прогностической системы ГеоГИПСАР [Абасов, 2012] уже 01.11.2014 г. был предложен прогнозный сценарий развития сложившегося маловодья (рис.1) и внесено предложение о необходимости

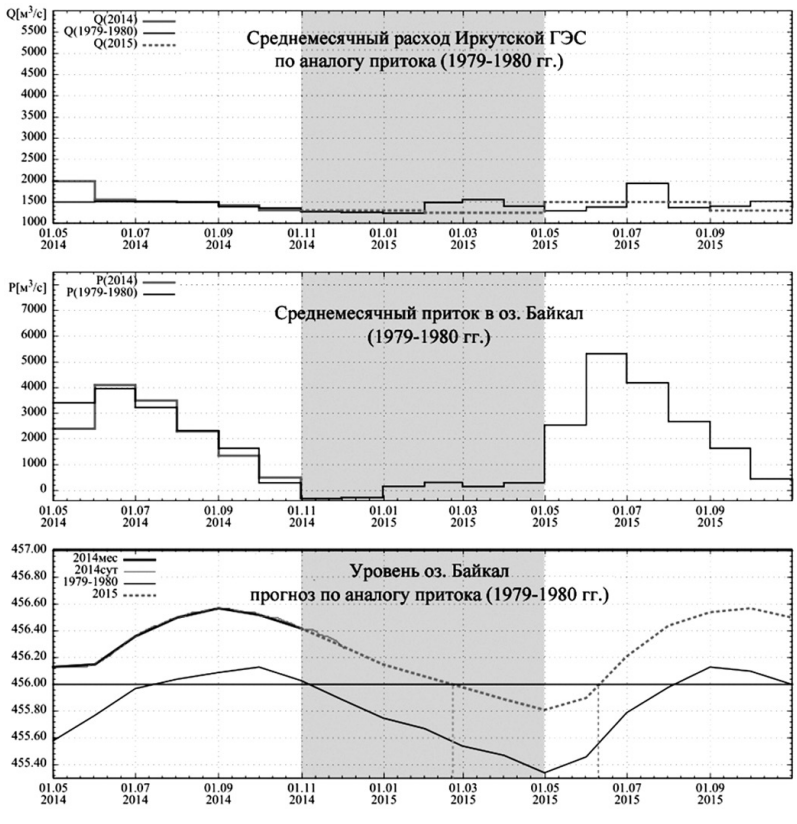


Рис. 1. Прогнозный сценарий наполнения и сработки оз. Байкал 2014–2015 гг. от 01.11.2014 г.

Рис. 2. Маловодные периоды на оз. Байкал и р. Селенга (п. Мостовой)

временных изменений в Постановление Правительства РФ №234 от 26.03.2001 г. Последнее, как известно, регламентирует годовые колебания уровня оз. Байкал в пределах одного метра между отметками наполнения осенью – 457 м и сработки весной – 456 м ТО (Тихоокеанская система высот). В результате Правительством РФ было принято Постановление от 4 февраля 2015 г. №97, в котором было снято временное ограничение на указанное снижение уровня озера. Следует отметить, что отметка уровня 456 м на оз. Байкал была пройдена 19–24 февраля 2015 г., а минимальный уровень 455,86 м зафиксирован 26–28 апреля 2015 г., т.е. озеро Байкал было сработано ниже отметки 456 м ТО на 14 см. Наполнение озера весной до этой отметки, согласно прогнозному сценарию, должно было произойти в первой декаде июня 2015 г, на 28 мая 2015 г. уровень оз. Байкал составил 455,95 м.

За период эксплуатации Иркутской ГЭС (1957–2014 гг.) уровень озера опускался ниже отметки 456 м 22 раза, в том числе до отметки 455,27 м в период маловодья 1976–1982 гг.

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Учитывая характер маловодных периодов в бассейне оз. Байкал в последние годы, в ИСЭМ СО РАН пристальное внимание было уделено климатическим изменениям, происходящим в летний период на достаточно обширной территории, включающей Прибайкалье, Забайкалье, а также большую часть Монголии. Наиболее значимые результаты по данной проблеме получены для бассейна р. Селенги, дающей до 50% притока в оз. Байкал [Бережных и др., 2012]. На рис. 2 представлены ряды годового полезного притока в оз. Байкал и стока р. Селенга – п. Мостовой с выделенными маловодными периодами: 1899–1905 гг., 1922–1929 гг., 1954–1958 гг., 1976–1982 гг., 1996–2014 гг. На рис. 2 можно видеть хорошую согласованность в колебаниях притока в оз. Байкал и стоком р. Селенги, которая подтверждается высокими значениями коэффициентов корреляции (0,85) между ними.

Маловодные периоды являются следствием отрицательных аномалий осадков на значительных территориях в летний период. На рис. 3 приведены аномалии осадков за летний период (июнь-август) 1996–2014 гг. Там же выделены бассейны реки Селенга, оз. Байкал и реки Ангара. Аномалия осадков в бассейне р. Селенга распространяется на южные районы бассейна оз. Байкал, а также территорию Монголии и Северного Китая. При этом для бассейна р. Ангары и северных районов оз. Байкал наоборот отмечалась положительная аномалия осадков.

Долготно-временные изменения аномалий суммарных летних осадков (июнь-август) в широтной зоне 48°–54° за период 1970–2014 гг. представлены на рис. 4 в виде диаграммы Хофмеллера, где область бассейна р. Селенга выделена вертикальными линиями. На рис. 4 видно, что, начиная с 1996 г., летние осадки в бассейне р. Селенга на протяжении 18 лет ни разу не выходили на уровень заметных положительных аномалий.

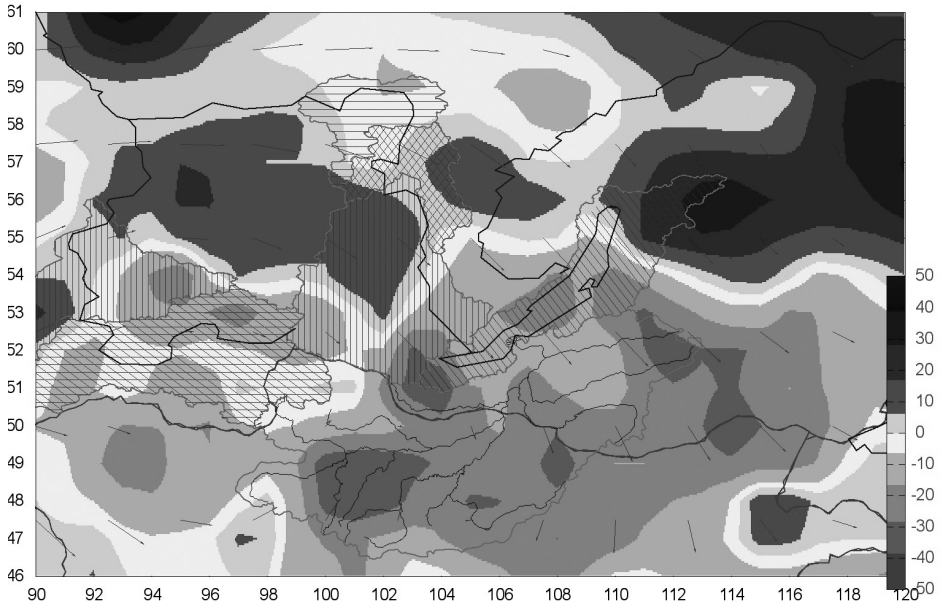


Рис. 3. Аномалии летних осадков (мм) в бассейнах оз. Байкал и р. Ангара за 1996–2014 гг. (по оси X – градусы в.д., по оси Y – градусы с.ш.)

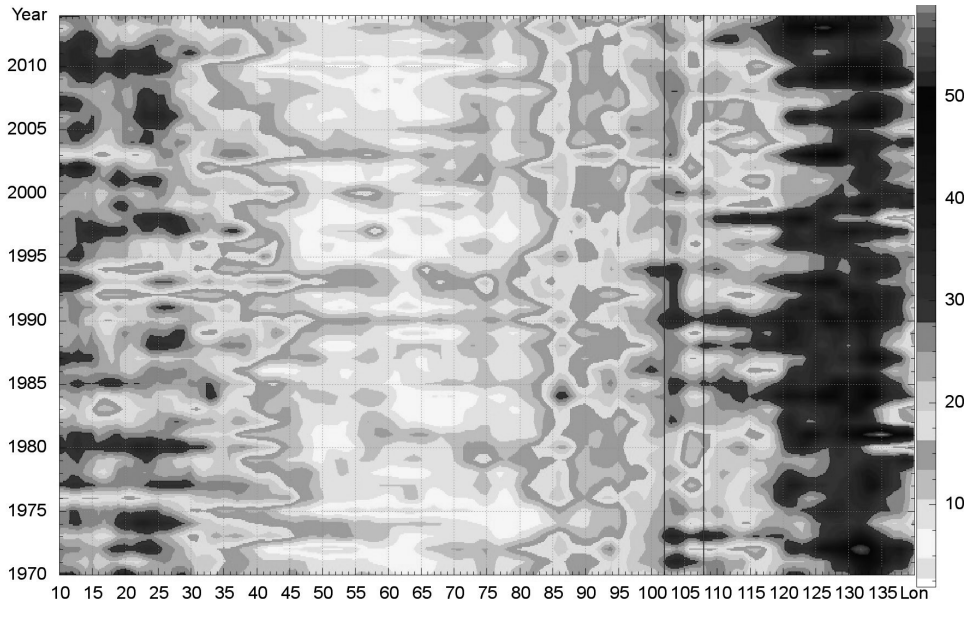


Рис. 4. Диаграмма Хоффмеллера аномалий летних осадков (мм) для северных широт 48°-54° и восточных долгот 10°–135°

Ранее выполненные исследования показали, что одной из непосредственных причин современного маловодного периода в бассейне Селенги является резкое ослабление Юго-Восточного муссона [Бережных и др., 2012]. С 1999 года в регионе практически не отмечались юго-восточные траектории, с которыми связаны переносы большого количества влаги. Ослабления муссонных переносов имели место и в предыдущие десятилетия, однако они не были такими продолжительными и не сопровождались крупномасштабными изменениями температурного фона в регионе.

ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИТОКА В ОЗЕРО БАЙКАЛ

В связи с происходящими климатическими изменениями принципиальное значение для гидроэнергетики Сибирского региона имеет долгосрочный прогноз состояния водности в бассейнах Байкала и Ангары. Для решения этой задачи в ИСЭМ СО РАН используется система ГеоГИПСАР, включающая широкий спектр методов для прогнозирования и верификации прогнозов, в том числе накопление и статистическую обработку глобальных климатических данных.

Наряду с традиционными методами долгосрочного прогнозирования стока рек (притоков воды в водохранилища ГЭС) с заблаговременностью месяц, квартал, сезон, год, несколько лет, основанных на длительных рядах наблюдений [Абасов, Бережных, Ветрова, 2012], в настоящее время ведутся поиски новых возможностей учета климатических изменений (атмосферных осадков, геопотенциала, температурного режима) в конкретных бассейнах, с учетом прогностических показателей глобальных климатических моделей.

Разработанная технология уточнения прогностических показателей водности бассейна оз. Байкал позволяет формировать наиболее вероятные сценарии с оценками рисков управления водными ресурсами.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №14-47-04155.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абасов Н.В. Система долгосрочного прогнозирования и анализа природо-обусловленных факторов энергетики ГеоГИПСАР // Материалы междунар. совещания APN (MAIRS/NEESP/SIRS) "Экстремальные проявления глоб. изменения климата на территории Северной Азии": Enviromis-2012. – С. 63–66.

Абасов Н.В., Бережных Т.В., Ветрова В.В. Долгосрочное прогнозирование гидроэнергетического потенциала каскада ГЭС в условиях изменения климата // Известия РАН, Энергетика, 2012. – №1. – С. 49–57.

Бережных Т.В., Марченко О.Ю., Абасов Н.В., Мордвинов В.И. Изменение циркуляции атмосферы над Восточной Азией и формирование длительных маловодных периодов в бассейне реки Селенги// География и природные ресурсы, 2012. – №3. – С. 61–68.

THE BAIKAL LOW-WATER PERIOD OF 1996–2014 AND LONG-TERM WATER LEVEL FORECASTING

Berejnykh T.V., Abasov N.V.

Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS, Irkutsk, Russia, berejn@isem.sei.irk.ru

ABSTRACT

The paper considers specific features of the Baikal low-water period of 1996-2014, as a result of global and regional climate changes in the considered basin. An example of the prediction of hydro-economic situation that followed the low-water period in 2014 and approach to the long-term forecasting of the water inflow in Baikal are presented along with a technology for processing data of global climate models.

МОДЕЛЬ РУСЛОВОГО ДОБЕГАНИЯ, УЧИТЫВАЮЩАЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТЬ КРИВОЙ ОБЪЕМОВ НА ПОДЪЕМЕ И СПАДЕ ПАВОДКОВОЙ ВОЛНЫ

Бураков Д.А.[1], **Карепова Е.Д.**[2], **Шанько Ю.В.**[2]

[1] *Институт землеустройства, кадастров и природообустройства КрасГАУ, Красноярск*

[2] *Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск*

e.d.karepova@icm.krasn.ru

На основе предложенной Д. А. Бураковым кривой добегания, учитывающей неоднозначность кривой объемов на подъеме и спаде паводковой волны, в работе получено новое семейство кривых добегания. Представлен сравнительный анализ результатов расчетов с использованием различных кривых добегания на массиве данных наблюдений за прохождением искусственных попусков ниже Новотверецкой и Иваньковской ГЭС.

Одной из задач гидрологии является определение расходов воды в замыкающем створе русла по известным характеристикам потока в его входном створе. Для ее решения используются линейные модели, представленные интегралом свертки [Калинин, Милюков, 1958; Кучмент, 1972]

$$Q(t) = \varphi(t, \mathbf{C}) * q(t) = \int_0^t \varphi(\tau, \mathbf{C}) q(t-\tau) d\tau, \quad (1)$$

где $q(t)$, $Q(t)$ – расход воды на входе и выходе, $\mathbf{C}$ – набор параметров, характеризующих гидрологическую систему и поток, $\varphi(t, \mathbf{C})$ – функция влияния гидрологической системы или кривая добегания, символом * обозначена операция свертки. В этом случае необходимо из физических соображений: 1) задать вид кривой объемов (или кривой добегания); 2) подобрать значения параметров $\mathbf{C}$ рассматриваемой гидрологической системы. При наличии наблюдений за парой $q(t)$ и $Q(t)$ для настройки набора параметров $\mathbf{C}$ используют методы оптимизации [Корень, Кучмент, 1971].

Остановимся подробнее на первой проблеме. Если выбран какой-либо определенный вид кривой объемов, то на его основе можно построить целое семейство кривых добегания. Для получения семейства этих кривых и физически значимой интерпретации их параметров удобно использовать преобразование Лапласа. В частности, верно соотношение

$$\left.\frac{d^r \overline{\varphi}(p)}{dp^r}\right|_{p=0} = (-1)^r \int_0^\infty \tau^r \varphi(\tau) d\tau = (-1)^r m_r, \quad (2)$$

где $\overline{\varphi}(p)$ – изображение функции $\varphi(t)$, m_r – начальный момент порядка r кривой добегания $\varphi(t)$. Как впервые заметил Д.А. Бураков, (2) дает возможность определить параметры кривой добегания через ее статистические моменты, вытекающие из представлений турбулентной диффузии [Бураков, 1978, 1989]. В табл. 1 приведены оригиналы и изображения двух семейств кривых добегания: 1) семейства основанного на классической кривой объемов Калинина-Милюкова $W(t) = kQ(t)$ [Калинин, Милюков, 1958]; 2) нового семейства, учитывающего неоднозначность кривой объемов на подъеме и спаде паводковой волны $W(t) = k_1 Q(t) + k_2 \frac{dQ}{dt}$ [Бураков, 1989, 2015].

Поскольку скорость потока всегда конечна, следует учесть минимальное время добегания τ_{min} от верхнего створа до замыкающего. Математически учет τ_{min} можно ввести как запаздывание оригинала. В результате, каждой кривой добегания из табл. 1 соответствует кривая добегания, изображение и оригинал которой связаны с исходными следующим образом:

$$\overline{\varphi}(p) = \overline{\varphi}^0(p) \exp(-\tau_{min} p),$$
$$\varphi(t) = \varphi^0(t - \tau_{min}) H(t - \tau_{min}),$$

где $H(t)$ – функция Хевисайда. Развиваемая в работах [Бураков, 1978, 1989, 2015] вероятностная трактовка кривой добегания позволяет записать параметры $\mathbf{C}$ кривых в зависимости от ясных в физическом смысле характеристик гидрологической системы. В табл. 2–3 приведены основные характеристики кривых добегания, полученные на основе (2) и формул для расчета моментов (математического ожидания $m_1 = \overline{\tau}$ и дисперсии $M_2 = a^2 \overline{\tau}$) распределения времени добегания на морфологически однородных бесприточных участках рек в зависимости от параметров потока ($\overline{\tau}$ – среднего времени добегания элементарного объема воды от верхнего створа до замыкающего и a – коэффициента продольного рассеяния потока) [Бураков, 1978, 2015].

В качестве данных наблюдений для вычислительных экспериментов (табл. 4) были взяты данные по двум натурным экспериментам, считающимся в гидрологии эталонными.

Таблица 1. Изображение и оригинал двух семейств кривых добегания

НАЗВАНИЕ КРИВОЙ ДОБЕГАНИЯ	ИЗОБРАЖЕНИЕ	ОРИГИНАЛ
Семейство, порожденное кривой объемов Калинина-Милюкова		
1. Калинина- Милюкова для одного характерного участка	$\overline{\varphi^0_{KM}}(p) = \frac{1}{kp+1}$	$\varphi^0_{KM}(t) = \frac{1}{k}\exp\left(-\frac{t}{k}\right)$
2. Калинина- Милюкова для $n \in N$ характерных участков	$\overline{\varphi^0_{KM,n}}(p) = \frac{1}{(kp+1)^n}$	$\varphi^0_{KM,n}(t) = \frac{1}{k(n-1)!}\left(\frac{t}{k}\right)^{n-1}\exp\left(-\frac{t}{k}\right)$
3. Гамма-wраспределение, $s \in R^+$	$\overline{\varphi^0_{\Gamma}}(p) = \frac{1}{(kp+1)^s}$	$\varphi^0_{\Gamma}(t) = \frac{1}{\gamma\Gamma(s)}\left(\frac{t}{\gamma}\right)^{s-1}\exp\left(-\frac{t}{\gamma}\right)$
4. Бровковича, $s \in R^+$	$\overline{\varphi^0_{Бр}}(p) = \frac{1}{(1+\gamma p)^s} - \frac{b}{6}\frac{(\gamma p)^3}{(1+\gamma p)^{s+3}}$	$\varphi^0_{Бр}(t) = \varphi^0_{\Gamma}(t) - \frac{b}{6}\left(f_{s;\gamma}(t) - 3f_{s+1,\gamma}(t) + 3f_{s+2;\gamma}(t) - f_{s+3,\gamma}(t)\right),$ $f_{\alpha;\beta}(t) = \frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)}\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1}\exp\left(-\frac{t}{\beta}\right)$
Семейство, порожденное кривой объемов Буракова		
5. Буракова для одного характерного участка	$\overline{\varphi^0_{Б}}(p) = \frac{1}{k_2p^2+k_1p+1}$	$\varphi^0_{Б}(t) = \frac{1}{k_2(b-c)}\left(\exp(-ct) - \exp(-bt)\right)$
6. Буракова для $n \in N$ характерных участков	$\overline{\varphi^0_{Б,n}}(p) = \frac{1}{(k_2p^2+k_1p+1)^n}$	$\varphi^0_{Б,n}(t) = \frac{(cb)^n}{(n-1)!}\frac{(-1)^n}{(c-b)^{2n-1}}\times$ $\times\left(\exp(-ct)\sum_{j=0}^{n-1}\frac{(2n-2-j)!((c-b)t)^j}{j!(n-1-j)!} - \right.$ $\left. - \exp(-bt)\sum_{r=0}^{n-1}\frac{(2n-2-j)!((b-c)t)^j}{j!(n-1-j)!}\right)$
7. Буракова, $s \in R^+$	$\overline{\varphi^0_{Б,s}}(p) = \frac{1}{(k_2p^2+k_1p+1)^s}$	$\varphi^0_{Б,s}(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{k_2}\Gamma(s)}\left(\frac{t}{\sqrt{k_1^2-4k_2}}\right)^{s-1/2}\times$ $\times\exp\left(-\frac{k_1}{2k_2}t\right)I_{s-1/2}\left(\frac{\sqrt{k_1^2-4k_2}}{2k_2}t\right),$ где $I_S(z)$ – модифицированная функция Бесселя первого рода [Erdelyi, 1954]

1. Наблюдения за прохождением искусственного попуска на реке Тверце ниже Новотверецкой ГЭС [Исследования..., 1961]. Рассмотрен участок длиной 20,61 км. Наблюдения ГГИ на р. Тверце освещают влияние на неустановившееся движение воды широкой, местами заросшей поймы.
2. Наблюдения за прохождением искусственного попуска на верхней Волге ниже Иваньковской ГЭС [Гильденблат и др., 1948]. Рассмотрен участок длиной 24,9 км. Пойма на исследуемом участке реки, напротив, оказывает незначительное влияние на прохождение попуска, но в этом случае на участке присутствует ощутимый приток, который дает при оптимизации $\tau_{min} = 0$. Улучшить критерий качества в этом случае можно, учитывая боковой приток, например с помощью коэффициента приведения.

Важными характеристиками кривой добегания является отношение $\kappa = C_s/C_v$ коэффициентов асимметрии C_s и вариации C_v. Для кривой добегания в форме гамма-распределения выполняется равенство, что не всегда соответствует реальным руслам [Бураков 1978, 2015]. Кривая добегания Буракова расширяет диапазон возможных отношений C_s и C_v до неравенства $2 \leqslant \kappa \leqslant 9/4$.

Для бесприточных участков русла, когда $C_s > 2C_v$ значительно улучшает модель учет минимального времени добегания $\tau_{min} \neq 0$. В этом случае

$$2 \leqslant \kappa \leqslant \frac{9}{4}\frac{\overline{\tau}}{\overline{\tau} - \tau_{min}}$$

(см. также, например, расчеты по р. Тверце из табл. 4). Параметр τ_{min} может быть задан как из физических соображений, так и являться одним из параметров оптимизации. Однако, для русел с заметным прито-

Таблица 2. Характеристика кривых добегания семейства Калинина – Милюкова

НАЗВАНИЕ КРИВОЙ ДОБЕГАНИЯ	СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРИВОЙ ДОБЕГАНИЯ	БЕЗ УЧЕТА ЗАПАЗДЫВАНИЯ ОРИГИНАЛА	С УЧЕТОМ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ОРИГИНАЛА (τ_{min})
1. Калинина-Милюкова для одного характерного участка	m_1	$k = \overline{\tau}$, $C_v = 1$	$k = \overline{\tau} - \tau_{min}$, $C_v \leqslant 1$
2. Калинина-Милюкова для $n \in N$ характерных участков	m_1, n	$k = \frac{\overline{\tau}}{n}$, $C_v = 1$	$k = \frac{\overline{\tau} - \tau_{min}}{n}$, $C_v \leqslant 1$
3. Гамма-распределение, $s \in R^+$	m_1, M_2	$\gamma = \frac{M_2}{\overline{\tau}} = a^2$, $s = \frac{\overline{\tau}}{\gamma} = \frac{\overline{\tau}}{a^2}$, $C_v = 1$, $C_s = 2C_v$	$\gamma = \frac{M_2}{\overline{\tau} - \tau_{min}} = \frac{a^2\overline{\tau}}{\overline{\tau} - \tau_{min}}$, $s = \frac{\overline{\tau} - \tau_{min}}{\gamma} = \frac{(\overline{\tau} - \tau_{min})^2}{a^2\overline{\tau}}$, $C_v \leqslant 1$, $C_s = \left(2 + \frac{2\tau_{min}}{\overline{\tau} - \tau_{min}}\right) C_v$
4. Бровковича	m_1, M_2, κ, $C_s = \kappa C_v$	$\gamma = a^2$, $s = \frac{\overline{\tau}}{a^2}$, $b = \frac{C_s - 2C_v}{C_v^3} = \frac{(\kappa - 2)\overline{\tau}}{a^2}$	$\gamma = \frac{a^2\overline{\tau}}{\overline{\tau} - \tau_{min}}$, $s = \frac{(\overline{\tau} - \tau_{min})^2}{a^2\overline{\tau}}$, $b = \left(\frac{\overline{\tau} - \tau_{min}}{a\overline{\tau}}\right)^2 \times \times \left((\kappa - 2)\overline{\tau} - \kappa\tau_{min}\right)$

Таблица 3. Характеристика кривых добегания семейства Буракова

НАЗВАНИЕ КРИВОЙ ДОБЕГАНИЯ	СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРИВОЙ ДОБЕГАНИЯ	БЕЗ УЧЕТА ЗАПАЗДЫВАНИЯ ОРИГИНАЛА	С УЧЕТОМ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ОРИГИНАЛА (τ_{min})
1. Буракова для одного характерного участка	m_1, M_2	$b, c = \frac{k_1 \pm \sqrt{k_1^2 - 4k_2}}{2k_2} > 0$, $k_1 = \overline{\tau}$, $k_2 = 0{,}5(\overline{\tau}^2 - a^2\overline{\tau})$	$k_1 = \overline{\tau} - \tau_{min}$, $k_2 = 0{,}5\left((\overline{\tau} - \tau_{min})^2 - a^2\overline{\tau}\right)$
2. Буракова для $n \in N$ характерных участков	m_1, n, M_2	$k_1 = \frac{\overline{\tau}}{n}$, $k_2 = \frac{\overline{\tau}^2 - na^2\overline{\tau}}{2n^2}$	$k_1 = \frac{\overline{\tau} - \tau_{min}}{n}$, $k_2 = \frac{(\overline{\tau} - \tau_{min})^2 - na^2\overline{\tau}}{2n^2}$
3. Буракова, $s \in R^+$	m_1, M_2, κ, $C_s = \kappa C_v$	$k_1 = \frac{\overline{\tau}}{s}$, $k_2 = \frac{\overline{\tau}^2 - sa^2\overline{\tau}}{2s^2}$, $s_{1,2} = \frac{\overline{\tau}}{2M_3}\left(3M_2 \pm \pm\sqrt{9M_2^2 - 4\overline{\tau}M_3}\right)$, $M_2 = s(k_1^2 - 2k_2)$, $M_3 = s(2k_1^3 - 6k_1k_2)$	$k_1 = \frac{\overline{\tau} - \tau_{min}}{s}$, $k_2 = \frac{(\overline{\tau} - \tau_{min})^2 - sa^2\overline{\tau}}{2s^2}$, $s_{1,2} = \frac{\overline{\tau} - \tau_{min}}{2M_3}\left(3M_2 \pm \pm\sqrt{9M_2^2 - 4(\overline{\tau} - \tau_{min})M_3}\right)$,

Таблица 4. Результаты вычислительных экспериментов

НАЗВАНИЕ КРИВОЙ ДОБЕГАНИЯ	СРЕДНЕ-КВАДРАТИЧНАЯ ОШИБКА	ПАРАМЕТРЫ КРИВОЙ ДОБЕГАНИЯ	СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРИВОЙ ДОБЕГАНИЯ
р. Тверца, $\tau_{min} = 0$			
Гамма- распределение	4,504333	s = 1,910694, γ = 12, 29156	$\bar{\tau}$ = 23,4854, a = 3,505932, $\sqrt{M_2}$ = 16,99036, C_v = 0,7234432, C_s = 1,446886, к = 2
Бровковича	4,504717	s = 1,910821, γ = 12, 29052, b = 0,503095	$\bar{\tau}$ = 23, 48497, a = 3,505783, $\sqrt{M_2}$ = 16,98948, C_v = 0,7234192, C_s = 1,637306, к = 2,263287
Буракова	3,908327	s = 1,397947, k_1 = 17,12119, k_2 = 28, 0119	$\bar{\tau}$ = 23,93452, a = 3, 721424, $\sqrt{M_2}$ = 18,20629, C_v = 0,7606708, C_s = 1, 658605, к = 2,18045
р. Тверца, τ_{min} – параметр оптимизации			
Гамма- распределение	3,400073	s = 1,137918, γ = 18,13212	τ_{min} = 3,786779, $\bar{\tau}$ = 24, 41963, a = 3,914122, $\sqrt{M_2}$ = 19,34211, C_v = 0, 7920722, C_s = 1,874885, к = 2,367063
Бровковича	3, 400227	s = 1,137985, γ = 18,13118, b = 0,8215682	τ_{min} = 3,786482, $\bar{\tau}$ = 24, 41949, a = 3,914046, $\sqrt{M_2}$ = 19,34168, C_v = 0,7920592, C_s = 2,551595, к= 3, 22147
Буракова	3,395426	s = 1,133657, k_2 = 3, 073509, k_1 = 18,35122,	τ_{min} = 3,62296, $\bar{\tau}$ = 24, 42695, a = 3,917156, $\sqrt{M_2}$ = 19,36001, C_v = 0,7925676, C_s = 1,878163, к = 2,369719
р. Верхняя Волга, после оптимизации параметр $\tau_{min} = 0$			
Гамма- распределение	6, 222326	s = 3,953681, γ = 2,190842	$\bar{\tau}$ = 8,661891, a = 1,480149, $\sqrt{M_2}$ = 4,356241, C_v = 0,5029203, C_s = 1,005841, к = 2
Бровковича	6, 222146	s = 3,953927, γ = 2,190714, b = 2,111234	$\bar{\tau}$ = 8,661924, a = 1,480106, $\sqrt{M_2}$ = 4,356122, C_v = 0,5029047, C_s = 1, 27434, к = 2,533959
Буракова	6, 222187	s = 1,976949, k_2 = 4, 799272, k_1 = 4,381448	$\bar{\tau}$ = 8,661899, a = 1,480109, $\sqrt{M_2}$ = 4,356126, C_v = 0,5029065, C_s = 1,005813, к = 2

ком, $\tau_{min} = 0$, а $C_s < 2C_v$. В этом случае целесообразно использовать кривую Бровковича [Бровкович, 1941; Бураков, 1978, 2015], обобщающую гамма-распределение.

В рамках нашего изложения кривую добегания Бровковича введем следующим образом: 1) коэффициент асимметрии кривой пропорционален коэффициенту вариации $C_s = \kappa C_v$, $\kappa \in R$ – дополнительный параметр кривой добегания; 2) матожидание и дисперсия кривой добегания не зависят от к; 3) при $C_s = 2C_v$ кривая добегания совпадает с гамма-распределением; 4) кривая добегания является линейной комбинацией гамма-распределений. Заметим, что при этих предположениях изображение кривой добегания можно задать разными способами, в частности, изображение и оригинал для известной кривой Бровковича указаны в табл. 1, строка 4, а ее параметры в табл. 2. Напомним, что эта кривая при некоторых наборах параметров принимает отрицательные значения, что не влияет на возможность ее практического применения [Бураков, 1998, 2015], поскольку такие случаи не отвечают реальным гидрологическим системам.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант №14-01-00296-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бровкович Г.Н., Великанов Г.Н. О проверке уравнений кривых распределения вероятностей // "Труды НИУ ГУГМС", 1941. – Сер.4. – Т. 10. – С. 217–218.

Бураков Д.А. К оценке параметров уравнений, аппроксимирующих кривую руслового добегания // Водные ресурсы, 1978. – №4. – С. 21–34.

Бураков Д.А. К оценке параметров линейных моделей стока // Метеорология и гидрология, 1989. – №10. – С. 89–95.

Бураков Д.А. Вероятностная трактовка функций влияния линейных моделей стока // Актуальные вопросы развития науки в мире. Сборник научных работ IV Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, апрель 2015). – Москва: ЕНО, 2015. – С. 181–185.

Исследования неустановившегося движения на реках Тверца и Оредеж. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961.

Калинин Г.П., Милюков П.И. Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс. – М: Труды ЦИП, 1958. – Вып. 66. – 72 с.

Корень В.И., Кучмент Л.С. Математическая модель формирования дождевых паводков, оптимизация её параметров и использование в гидрологических прогнозах // Метеорология и гидрология, 1971. – №11. – С. 59–68.

Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 191 с.

Tables of Integral Transforms. Editor A. Erdelyi. – USA: McGraw-Hill Inc., 1954. – V. 1.

THE MODEL OF THE CHANNEL LAG BASED ON VARIABILITY OF A CAPACITY CURVE ON THE RISE AND THE RECESSION OF THE FLOOD WAVE

Burakov D.A.[1], Karepova E.D.[2], Shan'ko Yu.V.[2]

[1] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia, daburakov@yandex.ru

[2] Institute of Computational Modelling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, e.d.karepova@icm.krasn.ru, shy70@mail.ru

ABSTRACT

In this paper, the new family of the lag curves was obtained on the basis of the lag curve proposed by D.A. Burakov based on variability of a capacity curve on the rise and on the recession of the flood wave. The paper contains the results of the numerical experiments with different lag curves using the observational data about the artificial outflows downstream from Novo-Tveretskaya and Ivan'kovskaya hydropower stations.

АНСАМБЛЕВЫЕ СЦЕНАРИИ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА КРУПНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ РУССКОЙ РАВНИНЫ В ПЕРВОЙ ТРЕТИ XXI ВЕКА

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Барабанова Е.А.

Институт географии РАН, Москва

galex50@gmail.com

Предлагается подход к долгосрочному сценарному ансамблевому прогнозированию изменений речного стока в бассейнах крупных рек в первой трети XXI века, обусловленных социально-экономическими и глобальными климатическими изменениями. Полученные сценарные оценки показывают, что ожидаемые в результате потепления климата изменения речного стока в бассейнах Волги и Дона могут быть относительно небольшими как в отношении годового стока, так и его внутригодового распределения. В то же время, при реализации ряда сценариев социально-экономических изменений, ресурсы речного стока могут существенно сократиться, в особенности в бассейне Дона, что может привести к весьма негативным последствиям. Тогда как в бассейне Волги они во многом компенсируются за счет возможного роста стока в результате потепления климата.

ВВЕДЕНИЕ

Весьма вероятное в будущем изменение речного стока, обусловленное как изменениями климата, так и антропогенной нагрузки на природу, может иметь кризисные (не исключено, катастрофические) последствия. Поэтому важно заблаговременное предвидение возможных изменений речного стока и их последствий.

Опыт предшествующих исследований показывает, что попытки одновариантного прогноза, тем более на отдаленную перспективу, как правило, обречены на неудачу. Особенно это относится к быстро меняющейся хозяйственной, в том числе водохозяйственной, деятельности. Отсюда актуальность вариантного рассмотрения будущей ситуации, основанной на различных сценариях развития событий.

Именно этими обстоятельствами обусловлено то внимание, которое уделяется вопросам разработки долгосрочного сценарного прогнозирования гидрологических последствий глобальных изменений климата и трансформации водохозяйственного комплекса в крупнейших речных бассейнах России.

МЕТОДОЛОГИЯ

Разработанный авторами подход к ансамблевому долгосрочному сценарному прогнозированию изменений ресурсов стока в крупных речных бассейнах России включает в себя оценку диапазона возможных сценарных климатических изменений, основанную на обобщении результатов расчетов, выполненных на ансамбле глобальных климатических моделей; гидрологическое моделирование, в достаточной мере надежно описывающее процессы формирования стока; метод вариантных сценарных оценок трансформации водохозяйственного комплекса и ГИС технологии [Георгиади и др., 2011; Георгиади и др., 2014].

Модель месячного водного баланса. Модель может быть отнесена к классу макромасштабных гидрологических моделей, которые активно разрабатываются в последние годы [Willmott *et al.*, 1985; WATCH, 2008 и др.]. Она основана на уравнении среднемноголетнего месячного водного баланса речных водосборов. Оцениваются сценарные изменения основных составляющих среднего многолетнего месячного водного баланса в ячейках регулярной сетки. В модели ММВБ описываются основные процессы гидрологического цикла суши: инфильтрация и аккумуляция влаги в почве, испарение (на основе модификации метода Торнтвайта [Willmott *et al.*, 1985], промерзание и оттаивание (для условий многолетней мерзлоты) почвогрунтов [Bel'chikov, Koren', 1979], накопление снегозапасов и снеготаяние [Manual …, 1989], формирование поверхностного и почвенного, грунтового и полного речного стока. Такой подход обеспечивает необходимую степень точности моделирования изменений климата, получаемых в результате экспериментов на моделях общей циркуляции атмосферы. Модель прошла апробацию для условий крупных речных бассейнов, расположенных в разных природных зонах России, включая зону вечномерзлых грунтов [Георгиади, Милюкова, 2002; Георгиади и др., 2011; Георгиади и др., 2014].

Основу для выбора климатических сценариев составляли результаты, полученные на ансамбле глобальных климатических моделей в рамках про-

грамм CMIP3 [http://ensembles-eu.metoffice.com/] и CMIP5 [http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/].

При использовании сценарного подхода к оценкам будущих гидрологических изменений приходится учитывать несколько видов неопределенностей, связанных с климатическими сценариями (см., например, [Георгиади и др., 2014]). Очевидно, что в этих условиях наиболее обоснованы оценки диапазона климатических изменений, и необходима разработка метода расчета такого диапазона, основанного на результатах всего имеющегося ансамбля климатических моделей. Авторами в качестве климатического сценария было предложено использовать диапазон возможных климатических изменений [Георгиади и др., 2011], который рассчитывается по результатам численных расчетов отклонений климатических элементов от их современных значений, проведенных на ансамбле климатических моделей (включенных в программу Межправительственной группы экспертов по изменению климата), исходящих из двух контрастных семейств сценариев мирового социально-экономического развития. В качестве оценки сценарного диапазона климатических изменений по каждому из указанных семейств сценариев принимается среднее значение элемента по всему ансамблю моделей. Были использованы сценарии наиболее (A2 из программы CMIP3 и RCP 8.5 из программы CMIP5) и наименее (B1 – из CMIP3 и RCP 2.6 – из CMIP5) интенсивного роста среднеглобальной годовой температуры воздуха.

Метод сценарных оценок изменения водопотребления. Методология оценки воздействия социально-экономических изменений на ресурсы речного стока [Koronkevich, 1990; Коронкевич и др., 2009; Георгиади и др., 2011, Георгиади и др., 2014] основывается на предположении о различных темпах возможного социально-экономического развития страны и ее регионов и сценариях использования различных технологий водопользования и охраны водных систем. Рассматриваются основные водопотребители (хозяйственно-бытовой сектор, промышленность, сельское хозяйство). Сценарии изменения хозяйственно-бытового водопотребления осуществлялись с учетом динамики населения, в том числе городского и сельского.

Среди основных возможных сценариев рассматриваются сценарии ускоренного (инновационного), умеренного и минимального социально-экономического развития. Рассматривались сценарии, исходя из современного удельного водопотребления и его максимального, среднего и минимального снижения. Кроме того, учитывалось изменение испарения с акватории водохранилищ и влияние агротехнических мероприятий.

Важно, что динамика водопотребления в бассейнах рек Волги и Дона в последние десятилетия во многом близка к той, которая имела место для России в целом, что позволяет при разработке бассейновых сценариев использовать прогнозные разработки в области развития экономики и изменения водопотребления, выполненные в общероссийском масштабе. Вместе с тем природные и хозяйственные особенности отдельных бассейнов вносят свои коррективы в прогнозные сценарии.

Общий алгоритм метода вариантных сценарных оценок изменения водопотребления состоит из двух стадий – предпрогнозной и собственно прогнозной.

ОЖИДАЕМЫЕ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПЕРВОЙ ТРЕТИ XXI ВЕКА

Особенности изменений температуры воздуха и атмосферных осадков. В бассейнах рек Волги и Дона в среднемноголетних условиях первой трети текущего века согласно обоим сценариям можно ожидать повышения среднегодовой температуры воздуха и атмосферных осадков. Сценарные изменения среднегодового атмосферного увлажнения также предсказывают его увеличение, которое, однако, находится в пределах пяти процентов от современных значений, но в то же время масштаб его изменений может быть сопоставим с современным годовым стоком. При этом, наибольшие их изменения могут происходить в холодную часть года, и наибольшей внутригодовой неоднородностью характеризуются изменения атмосферных осадков.

Основные тенденции изменений речного стока. Относительно близкие между собой сценарные изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в первой трети текущего столетия могут привести к различному характеру гидрологических последствий в бассейнах Волги и Дона. Можно ожидать, что при вероятных сценарных климатических изменениях годовой сток в бассейне Дона изменится слабо в условиях всех рассмотренных сценариев. Тогда как годовой сток Волги в сценарных климатических условиях A2, RCP8.5 и RCP2.6 наиболее вероятно возрастет примерно на 10%, однако в условиях сценария B1 изменения могут быть небольшими.

Реакция внутригодовой структуры речного стока на сценарные климатические изменения также весьма различна для бассейнов Волги и Дона. Если на Дону можно ожидать “распластывания” волны половодья, то на Волге, напротив, в месяц наибольшего стока в течение половодья он может возрасти, тогда как сток следующего за ним месяца может снизиться. При этом зимний сток может увеличиться как на Волге, так и на Дону, летне-

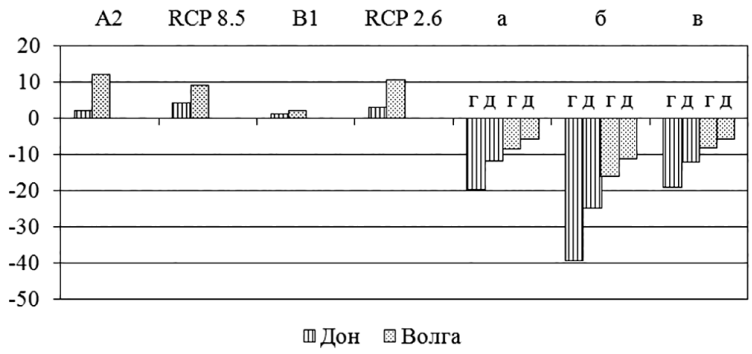


Рис. 1. Современный и возможный в будущем на уровне 2025-2030 гг. водозабор в бассейнах рек Дон и Волга, а также изменение их среднегодового стока, прогнозируемое в первой трети XXI века при наиболее контрастных сценариях (A2 и RCP8.5; B1 RCP2.6) глобального потепления климата (% от современного среднего многолетнего стока).

а – современная ситуация, б – наиболее благоприятный сценарий экономического развития и сохранения современного удельного водопотребления, в – умеренное экономическое развитие при снижении удельного водопотребления, г – водозабор, д – безвозвратный расход воды.

осенний сток на Волге может быть ниже современного, а на Дону – выше.

СЦЕНАРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Следует отметить, что сценарный прогноз антропогенного изменения стока Волги и Дона существенно скорректирован по сравнению с ранее сделанным [Георгиади и др., 2014]. Это обусловлено целым рядом обстоятельств, возникших в самые последние годы. Среди них кризисные явления в экономике, интенсивная перестройка в структуре водопользования, связанная с заменой водоемких производств менее водоемкими, а также меры по экономии воды. В результате представленные ранее индексы развития хозяйства и осуществления водоохранных мер скорректированы с учетом практически двойного уменьшения срока прогнозирования и отнесены к современному периоду (2010–2013 гг.).

Скорректированные результаты расчетов показали, что, как и в ранее выполненных расчетах, сохранение и впредь существующих норм удельного водопотребления в бассейнах Волги и особенно Дона неприемлемо, т.к. в большинстве вариантов развития создает чрезмерную нагрузку на водный элемент окружающей среды.

При наиболее благоприятном сценарии развития экономики и сохранении современного удельного водопотребления водозабор по сравнению с существующим положением (рис.1а) может возрасти в среднем в два раза, достигнув 17% от среднего многолетнего стока в бассейне Волги и почти 40% в бассейне Дона (рис.1б), чего нельзя допустить с водохозяйственных и экологических позиций. Однако, возможно сохранить водозабор, близкий к современному (рис.1в), при уменьшении удельного водопотребления в 1,2–1,3 раза и при умеренных темпах развития экономики.

Снижение удельного водопотребления на основе уже известных технологических решений, в первую очередь, по борьбе с непроизводительными потерями воды, позволит существенно снизить основные показатели водопотребления, а по одному из вариантов экономического развития и максимального внедрения передовых технологий добиться антропогенной нагрузки на водные ресурсы меньшей, или приблизительно равной той, что имеет место сейчас, при значительно более высоком уровне благосостояния населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый ансамблевый подход к долгосрочному сценарному прогнозированию изменений ресурсов стока в крупных речных бассейнах, обусловленных долговременной динамикой социально-экономических и глобальных климатических процессов, позволяет оценить диапазон изменений речного стока в бассейнах крупных рек России, возможный в первой трети XXI века.

При наиболее благоприятном сценарии развития экономики и сохранении современного удельного водопотребления водозабор, по сравнению с его нынешнем уровнем, может возрасти в среднем в два раза и достичь критических объемов, что крайне неблагоприятно скажется на водохозяйственном комплексе и окружающей природной среде. Однако, возможно сохранить водозабор, близкий к современному, при уменьшении удельного

водопотребления и при умеренных темпах развития экономики.

В случае реализации сценариев глобального потепления климата может произойти повышение среднегодового стока Волги, что в известной мере компенсирует негативные последствия роста водозабора. Тогда как на Дону этого, вероятно, не произойдет.

Исследования были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований и Русским географическим обществом №№13-05-41437 РГО, 15-05-04207.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бельчиков В.А., Корень В.И. Модель формирования талого и дождевого стока для лесных водосборов. // Труды ГМЦ, 1979. – Вып. 218. – С. 3–21.

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона. – М., Издательство "Макс Пресс", 2014. – 215 с.

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кислов А.В., Анисимов О.А., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А., Бородин О.О. Сценарная оценка вероятных изменений речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 1. Бассейн реки Лены. – М.: Макс Пресс, 2011. – 179 с.

Георгиади А.Г., Милюкова И.П. Масштабы гидрологических изменений в бассейне реки Волги при антропогенном потеплении климата // Метеорология и гидрология, 2002. – №2. – С. 72–79.

Думнов А.Д., Кузьмич В.Н., Максимов Ю.И. и др. Водные ресурсы Российской Федерации. Статистический сборник. – М.: НИА-Природа, 2006. – 176 с.

Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. – М., Наука, 1990. – 205 с.

Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Милюкова И.П. Сценарный прогноз изменения водных ресурсов р. Волги в первой трети XXI века // Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения. Сб. научных трудов. – Барнаул: изд-во ООО "Агентство рекламных технологий", 2009. – С. 122–137.

Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек, озер и водохранилищ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 358 с.

Georgiadi A.G., Koronkevich, N.I., Milyukova, I.P., Barabanova E.A. The ensemble scenarios projecting runoff changes in large Russian river basins in the 21st century // Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water–Society Interactions. Proceedings of ICWRS2014, Bologna, Italy, June 2014 (IAHS Publ. 364, 2014). – P. 210–215.

Willmott C.J., Rowe C.M. & Mintz, Y. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. // J. of Climatology, 1985. – Vol. 5. – P. 589–606.

WATCH (Water and Global Changes). Technical Report No.1, 2008. – P. 1–19.

THE ENSEMBLE SCENARIOS PROJECTING RUNOFF CHANGES IN LARGE RIVER BASINS OF RUSSIAN PLAIN IN THE 21ST CENTURY

Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Barabanova E.A.

Institute of Geography RAS, Moscow, Russia, galex50@gmail.com

ABSTRACT

The approach for long-term scenario projection of river runoff changes for Russian large river basins in the first third of XXI century caused by climate warming and social-economic changes is suggested. The obtained scenario estimates show that expected changes in the Volga and Don annual river runoff and its intraannual distribution in the first third of this century can be relatively small, while changes in water use characteristics may be in some scenarios extremely negative especially in the Don river basin.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА: АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ПРОГНОЗ

Добровольский С.Г.

Институт водных проблем РАН, Москва

Анализируются, при помощи разработанных автором новых методов, ряды годового, максимального, минимального стока примерно в 3000 створах на территории всех обитаемых материков (около 6000 рядов длиной не менее 20 лет). Изучается вопрос о применимости больших моделей климатической системы (МК) для целей воспроизведения средних значений речного стока и их изменений во времени. Предложены новые способы учета неопределенностей прогнозов стока на отдаленную перспективу с учетом возможного антропогенного потепления. Приводятся прогнозы вероятностей изменений глобального слоя годового стока и стока важнейших рек РФ на протяжении 21 века.

Изучению межгодовых и многолетних изменений речного стока, как и прогнозу этих изменений на отдаленную перспективу, посвящено большое количество работ. Вместе с тем, до последнего времени первая из двух названных проблем исследовалась на примерах изменений стока либо индивидуальных рек, либо сравнительно небольшого количества рек в глобальном масштабе [Раткович, 1976], либо большого количества рек и створов на территории крупного, но все-таки ограниченного региона (РФ) [Пространственно…, 1988]. В свою очередь, прогнозирование стока на перспективу последующих десятилетий (например, [Gossling et al., 2013] осуществляется без учета всех доступных для анализа неопределенностей такого прогноза.

В нашем исследовании впервые соединены результаты анализа наблюденных изменений стока в подлинно глобальном масштабе – с использованием примерно 3000 створов на всех обитаемых континентах, анализ способности глобальных моделей климатической системы (МК) воспроизводить речной сток и его изменения (37 моделей эксперимента CMIP-5) и результаты прогнозирования как слоя стока в глобальном масштабе, так и стока конкретных рек.

Для анализа рядов стока автором предложена система новых методов и формул для оценок статистических и стохастических параметров: промежуточных значений стандартов, автокоррелированности, критериев выбора оптимальных порядков авторегрессионных моделей, введены новые двусторонние критерии для проверки нулевой гипотезы относительно стационарности стока по среднему значению, автокоррелированности и стандартам. С этой целью автором был разработан новый экономичный алгоритм генерирования гауссовских псевдослучайных величин – смещенность величин

Таблица 1. Показатели нестационарности многолетних рядов годового, максимального и минимального стока для рек всех типов

ТИП ВОДОСБОРА/РЕКИ	ПОКАЗАТЕЛЬ	ГОДОВОЙ СТОК	МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК	МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК
1	2	3	4	5
Все типы	ПН0 ПН0+ ПН0-	+6,0% +3,6% +2,4%	+8,4% +2,5% +5,9%	+21,4% +20,2% +1,2%
Основной (равнинные неозерные, незарегулированные, тип 1)	ПН0 ПН0+ ПН0-	+3,6% +3,3% +0,3%	+3,8% +1,8% +2,0%	+17,3% +17,2% +0,1%
Озерные и переходные к ним (типы 2, 6)	ПН0 ПН0+ ПН0-	+11,0% +7,1% +3,9%	+18,6% +7,7% +10,9%	+22,7% +21,5% +0,7%
Ледникового питания (тип 3)	ПН0 ПН0+ ПН0-	+9,8% -2,5% +12,3%	+6,1% -2,5% +8,6%	+29,6% +16,7% +12,9%
Зарегулированные и переходные к ним (типы 4,5)	ПН0 ПН0+ ПН0-	+6,4% +3,1% +3,3%	+9,6% +1,9% +7,7%	+24,5% +23,0% +1,5%

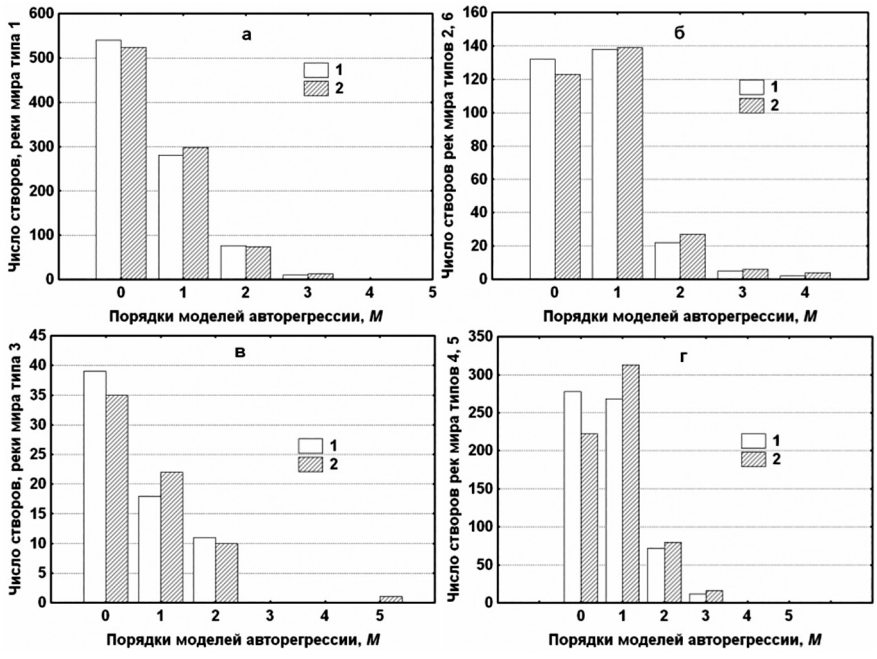


Рис. 1. Гистограммы порядков авторегрессионных моделей рядов годового стока рек мира

а – реки основного (первого) типа; б – реки типов 2, 6; в – реки типа 3; г – реки типов 4, 5;
1– исходные ряды; 2 – ряды, пересчитанные в ряды выборочных значений гауссовских величин)

Таблица 2. Параметры наблюденных и моделированных рядов годового стока

ПАРАМЕТР	ВОЛГА	СЕВ. ДВИНА	ОБЬ	ЕНИСЕЙ	ЛЕНА	АМУР
1	2	3	4	5	6	7
$M_{\text{набл}}{}^{1}$, м^3/с	8136	3336	12617	18368	16697	9981
$M_{\text{мод}}{}^{1}$, м^3/с	8215	2731	12205	14401	14097	12608
ΔM,%	1	-18	-3	-21	-16	26
$\sigma\,(M_{\text{мод}})^{1}$, м^3/с	2901	762	3893	5254	5323	4234
$\sigma\,(M_{\text{мод}})$,%	35	28	32	36	38	34

Примечание: M – среднее; Δ – разность между оценкой по данным моделей и наблюдений; σ – среднеквадратичное отклонение. Индекс "набл" – величины по данным наблюдений, "мод" – моделей. σ() – процедура расчета размаха оценок (в среднеквадратичном) по 37 моделям, в следующей строке – то же, но в процентах от среднего значения параметра по моделям.

среднего, стандарта и коэффициента асимметрии при использовании предложенного алгоритма на порядки меньше, чем соответствующие смещенности при использовании имеющихся алгоритмов (см. [Добровольский, 2011]).

Предложен новый алгоритм пересчета исходных рядов стока в ряды выборочных значений гауссовских величин.

Использованные в работе около 3000 створов были разделены на 6 типов в зависимости от типа питания рек и степени антропогенного влияния на изменения стока. Всего проанализированы примерно 6000 рядов годового, максимального и минимального стока. Каждый ряд анализировался в трех вариантах – в исходном виде, в обеспеченностях и в виде ряда, пересчитанного в выборочные значения гауссовских величин.

В таблице 1 приводится один из основных результатов – величины показателей стационарности/нестационарности рядов (в нормализованном, гауссовском варианте). Здесь ПН0 – процент рядов, не соответствующих критерию стационарности по среднему значению, предложенному автором, ПН0+ и ПН0- – проценты рядов, отклоняющихся в положительную и отрицательную сторону (см. пояснения, формулы в [Добровольский, 2011]).

Из таблицы 1 следует, что изменения годового стока основного типа рек (тип 1), в общем, соответствуют гипотезе стационарности по среднему, отличие показателей ПН0 от нуля в этом случае имеет порядок ошибок метода (как показывают 3-й и 4-й столбцы 11-й строки, имеющие порядок первых процентов).

Обращает на себя внимание, однако, повышенный процент нестационарных рядов минимального

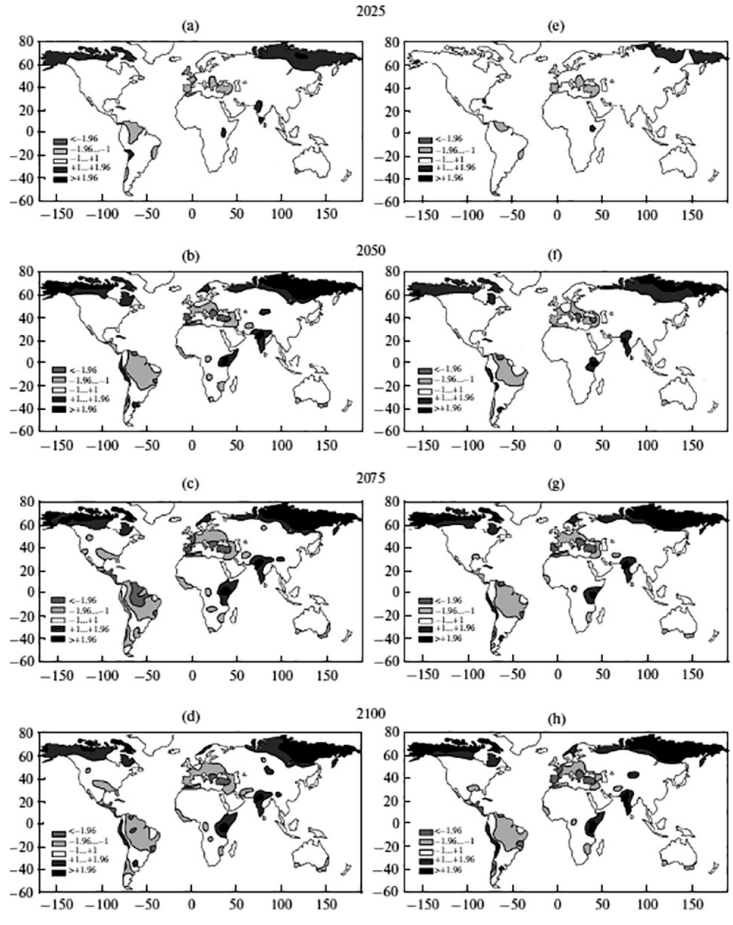


Рис.2. Индексы значимости (ИЗ) оценок изменений среднего годового слоя стока.

Слева (a, b, c, d) – с использованием 6 сценариев МГЭИК, справа (e, f, g, h) – с использованием сценария Московского энергетического института (см. пояснения в тексте)

стока всех видов: от 17% до 30% – с положительной, преимущественно, тенденцией. Любопытно также преобладание отрицательной тенденции в нестационарной части рядов максимального стока – небольшой в процентом соотношении, однако необходимо помнить, что максимальный сток обычно измеряется намного большими объемами.

Другим интересным, но неожиданным для автора, было значительное преобладание моделей авторегрессии нулевого порядка, по существу "белого шума", при описании изменений годового и максимального стока рек основного типа и рек ледникового питания над моделями "простой Марковской цепи" (авторегрессии первого порядка), считающимися чуть ли не универсальными в гидрологии (рис. 1). Заметим, что при описании рядов минимального стока со всех типов водосборов, а также рядов годового стока озерных и "зарегулированных" рек преобладали модели авторегрессии первого порядка.

Перед тем, как перейти к другой части работы – анализу прогнозов речного стока на отдаленную перспективу, нами было проведено исследование способности "больших" моделей климатической системы", обычно используемых для расчетов таких прогнозов, воспроизводить наблюденный сток и его изменчивость. В таблице 2 помещены соответствующие результаты (на примере важнейших рек России).

В таблице сравниваются результаты анализа наблюденных рядов стока в ближайших к устьям створах и моделированных на 37 климатических моделях эксперимента CMIP-5 рядов для аналогичных временных интервалов. Обращает на себя внимание значительная смещенность даже средних по всем моделям средних многолетних значений стока, а также очень большой разброс оценок по моделям – в среднем более 30%. Результаты моделирования максимального, минимального стока, автокоррелированности стока и характера стохастических моделей говорят о том, что в этих отношениях результаты КМ катастрофически плохи. В связи с этим, при оценке возможных изменений стока в 21 веке за счет антропогенного потепления (единственного достоверного детерминированно-

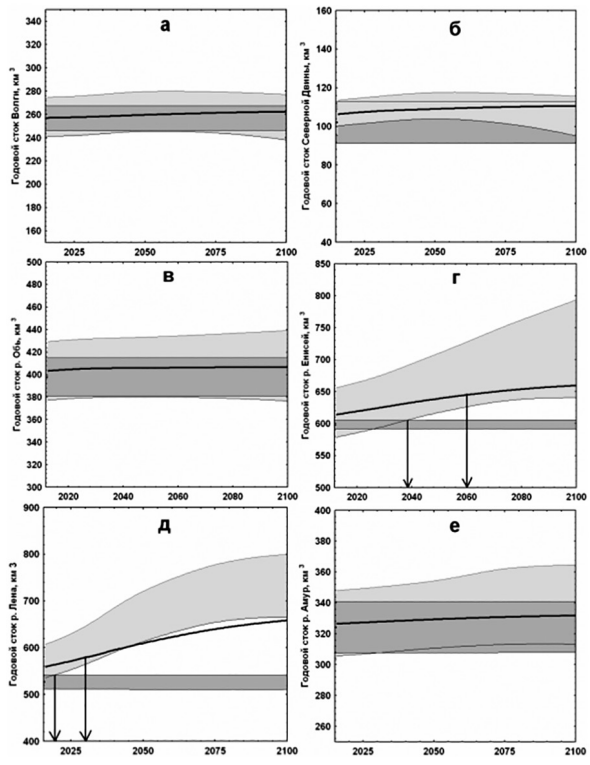


Рис. 3. Прогнозы стока важнейших рек России (см. пояснения в тексте)

го механизма глобальных изменений), мы ограничились рассмотрением среднего годового стока. На рис. 2 показаны соотношения прогнозируемых, при помощи 21 модели МГЭИК, изменений годового стока и среднеквадратичных ошибок прогнозов, построенных методом [Dobrovolski, 2014].

Очевидно отсутствие значимых изменений годового стока почти на всей территории РФ до 2030-х гг. Наконец, на рис. 3. показаны хронологические прогнозы стока рек РФ: темно-серые полосы – наблюденные значения среднего со стандартными ошибками, светлые – аналогичные прогнозные значения (6 моделей МГЭИК), сплошные кривые – прогноз по сценарию МЭИ. Вертикальные стрелки указывают на даты расхождения наблюденных и прогнозируемых величин в среднеквадратичном. а – Волга, б – Северная Двина, в – Обь, г – Енисей, д – Лена, е – Амур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Пространственно-временные колебания стока рек СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 376 с.

Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 256 с.

Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. – М.: Геос, 2011. – 660 с.

Dobrovolski S.G. Assessment of the statistical significance of global changes in the annual river runoff in XXI century due to possible anthropogenic warming of climate // Water Resources, 2014. – Vol.41. – No.6. – P. 728–737.

Gosling S.N., Bretherton D., Haines K., Arnell N.W. Global hydrology modeling and uncertainty // Phil. Trans. Roy. Soc. A: Math., Phys., Eng. Sci., 2013. – Vol.368. – P. 4005–4021.

MULTI-YEAR CHANGES IN THE RIVER RUNOFF: ANALYSIS OF OBSERVATIONAL DATA AND FORECAST

Dobrovolski S.G.

Water Problems Institute, RAS, Moscow, Russia, sgdo@bk.ru

ABSTRACT

Time series of the river runoff values at approximately 3000 river gauges all over the world (about 6000 time series of annual, maximal, and minimal runoff values) were analyzed using new methods proposed by the author. The problem of applicability of General Circulation Models to the description of mean values of runoff and runoff variability is discussed. New approaches to the estimating of uncertainties of the runoff long-term "greenhouse" forecasts are proposed. Probabilities of the possible changes of the greatest Russian rivers runoff during 21th century are presented.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ВЕСЕННЕГО СТОКА РЕК СЕВЕРА ЕТР С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Ефремова Н.А., Жук В.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

vajouk@mail.ru

Современные изменения климата и гидрометеорологической сети наблюдений нарушают надежность существующих методов гидрологического прогнозирования. В работе рассматривается перспективность метода представления полей естественными ортогональными составляющими при составлении территориального долгосрочного прогноза объема весеннего стока рек на примере бассейнов рек Онеги, Северной Двины, Мезени и Печоры, одним из преимуществ которого является описание процесса формирования стока сравнительно малым количеством предикторов при охвате обширной территории.

Половодье представляет собой многофакторное явление и определяется целым комплексом взаимосвязанных во времени природных процессов, к которым относятся поступление воды на поверхность бассейна за счет таяния снега и жидких осадков, процессы поверхностного задержания и поглощения, процессы склонового и руслового стекания. Их сложность определяется протеканием на обширных территориях в условиях неоднородности и многообразия физико-географической среды, а также неравномерностью во времени.

Под воздействием климата на формирование талого стока и на его объем оказывают влияние постоянные и частично изменяющиеся факторы – орография, геологическое строение, морфометрические особенности водосбора, густота и рисунок русловой сети, продольные уклоны, факторы подстилающей поверхности, почвенно-растительный покров, агрофон, наличие озер и болот. Степень постоянства их действия находится в прямой зависимости от антропогенной деятельности человека, и, под ее воздействием, может существенно изменяться.

При переходе от локальных прогнозов для участков русел рек к водосборам увеличивается значимость распределения участков с относительно однородными факторами подстилающей поверхности.

При использовании методик локальных прогнозов характеристик стока для хорошо изученных бассейнов возникает проблема его предвидения со слабо изученных или неизученных водосборов. И данный вопрос в гидрологических прогнозах стоит уже много лет. Конечно, существует вариант составления прогноза для отдельных частных водосборов определенной территории, с последующей интерполяцией полученных результатов между ними. Однако, в данном случае, не учитываются локальные физико-географические, метеорологические и гидрологические особенности территории неосвещенной данными, которая зачастую имеет значительные масштабы.

Одним из решений проблемы освещения данными неизученных территорий является широко применяемый, при обработке метеорологической информации, прием перехода от анализа индивидуальных рядов к анализу полей гидрометеорологических элементов. Со второй половины XX века сначала в метеорологии, а затем и в гидрологии начали использоваться методы, в которых, вместо самих данных наблюдений гидрометеорологических элементов на сети мониторинга рассматриваются некоторые обобщающие параметры [Гандин, 1963; Лобода и др., 2003]. К таким параметрам относятся индексы атмосферной циркуляции, коэффициенты разложения по ортогональным полиномам Чебышева, коэффициенты разложения поля в ряд по сферическим функциям и другие. При рациональном выборе обобщенных параметров можно довольно детально описать поля тех или иных элементов и процессы, пользуясь небольшим их числом, некоторые их которых имеют вполне определенный физический смысл. Так, при разложении двумерных полей по ортогональным полиномам Чебышева можно показать, что первый коэффициент разложения характеризует значение фона поля, следующие – густоту изолиний данного поля вдоль осей координат и т.д. Но какое бы разложение ни выбиралось, данное поле искусственно разбивается на слагаемые, которые сами по себе либо имеют небольшой физический смысл, либо совсем его не имеют [Поляк, 1979]. По этой причине чаще применяются такие разложения, в которых отдельные составляющие определяются данной совокупностью изучаемых полей – естественные ортогональные составляющие (ЕОС). Основная информация о состоянии анализируемого поля во многих точках сосредотачивается в небольшом числе незави-

симых случайных величин. При этом, изменение во времени коэффициентов разложения носит более плавный, регулярный характер, чем изменение самих исходных данных. В отличие от существующих "бассейновых" методик прогноза стока, при анализе поля проводится поэтапный анализ пространственных и временных компонент половодья, позволяющий представить каждый стокоформирующий процесс с помощью независимых функций. При подобном подходе создаются условия исключения из описания и прогнозирования "шумов" – сверхлокальных факторов формирования стока.

Элементы массива данных гидрометеорологических наблюдений при использовании ЕОС представляются в виде:

$$Z_{ij} = \sum_{l=1}^{p} a_{ij} f_{li} + v_j \qquad (1)$$

Z_{ij} – нормированная величина j-ой переменной i-го объекта; a_{jl} – весовые коэффициенты, характеризующие вклад j-ой переменной в l-ый собственный вектор; f_{li} – составляющие l-го собственного вектора i-го объекта; v_j – остаток переменной, связанный с ошибками измерений и с сокращением числа собственных векторов; p – число включенных в расчет собственных векторов. Значения a_{jl} не зависят от времени, а f_{li} – общие для всех объектов конкретной ЕОС и изменяются только во времени.

Схема прогнозирования стока на основе ЕОС состоит из трех этапов. На первом – исходные многолетние гидрометеорологические данные нормализуются и интерполируются в узлы сетки с шагом 1×1 градус. По ним вычисляются ковариационные матрицы полей, собственные числа и собственные векторы этих матриц – эмпирические ортогональные функции, а также коэффициенты разложения – значения временных функций для каждого временного шага, описывающие амплитуду естественных колебаний рассматриваемых полей. На втором этапе оцениваются вклады собственных векторов в дисперсию анализируемых полей, выбираются эффективные предикторы, составляются уравнения регрессии и определяются их коэффициенты. Третий этап – выпуск прогноза поля весеннего стока и оценка его оправдываемости.

В нашей работе эффективность методики территориального (фонового) прогнозирования поля слоя стока весеннего половодья (Y) посредством представления полей гидрометеорологических характеристик ортогональными функциями, оценивалась на примере северных рек европейской территории России, в бассейнах Онеги, Северной Двины, Мезени и Печоры. Бассейны этих рек можно отнести к водосборам с условно-естественным режимом стока.

В качестве предикторов использовались массивы данных наблюдений:

- запасов воды в снежном покрове на 1 апреля, по данным измерений на полевых S_P и лесных S_L участках (максимальные запасы S за зимний сезон);
- суммарных осадков за зимний период (с 1 ноября по 31 марта) X_A, а также выпавших – при отрицательных температурах – X_S (снег), положительных температурах – X_R (дождь);
- глубины промерзания почвы L по данным на 1 апреля;
- сумм отрицательных Θ_N и положительных Θ_P температур за зимний период (с 1 ноября по 31 марта);
- суммы осенних осадков A (с 1 сентября по 1 октября).

Описание поля стока велось на основе ежегодных данных наблюдений 59 гидрологических створов. Для исключения многократного учета стока, сформировавшегося на территории, относящейся к разным постам на одной реке ("эффект матрешки") в работе рассчитывался сток с частных водосборов. Так определялся сток с территории, заключенной между двумя пунктами наблюдений за стоком. Значения стока (слой стока весеннего половодья) относились к центрам частных водосборов.

Поля метеорологических характеристик составлены по данным наблюдений 85 станций и постов. Совместный период наблюдений для всех исследуемых полей составил 31 год – с 1973 по 2003 гг. Границы периода выбраны с учетом максимальной полноты данных наблюдений по гидрологии, метеорологии и агрометеорологии, а также в связи с тем, что в 1970-х гг. на территории ЕТР, по мнению большинства исследователей, начались существенные изменения водного режима рек, вызванные глобальными изменениями климата [Груза, Ранькова, 2003; Оценочный доклад …, том 1 и 2, 2008; Кислов и др., 2008; Мелешко и др., 2008; Фролова и др., 2015].

Однако, по нашим исследованиям, за рассматриваемый период, значимых изменений во временных рядах слоя весеннего стока и определяющих его агрометеорологических факторов не обнаружено. Исключение составляют суммы положительных температур отдельных территорий и глубина промерзания почвы практически по всем пунктам наблюдений. Вероятнее всего, это вызвано изменением дат начала и окончания устойчивого холодного периода, приводящее фактически к сокращению зимы. Изменения за рассматриваемый период незначительные и их можно не учитывать при решении задачи фонового прогноза весеннего стока.

Таблица 1. Значения собственных чисел
пространственных и временных векторов, в %

ПОЛЕ	Y	L	S	S_P	S_L	O_N	O_P	A	X_A	X_S	X_R
Вектор 1	61	53	68	60	63	86	71	45	74	73	72
$\Sigma(1–2)$	80	77	85	80	81	93	85	74	89	86	84
$\Sigma(1–3)$	91	91	91	90	91	98	92	88	95	92	93

Анализ результатов представления полей гидрометеорологических элементов векторами ЕОС показал следующее. По собственным числам, которые показывают величину вклада ЕОС в процесс формирования пространственно-временной изменчивости анализируемой характеристики, установлено, что практически для всех полей, за исключением суммы осенних осадков, значение первого вектора превышает 50%. Величина каждого последующего убывает, однако суммы первых двух векторов превышают 75%, а первых трех – 90% суммарной изменчивости исследуемого поля (табл. 1).

Пространственно-временная изменчивость поля стока на 61% зависит от фонового увлажнения территории, изменяющегося с запада на восток (удаление территории от влагонесущих масс). По 19% и 11% приходится на локальные особенности, предположительно вызванные залесенностью водосборов и заболоченностью территории.

Теснота связи между полученными векторами отличается от фактически наблюдаемой. В случае с пространственными векторами стока, запасов воды в снежном покрове и сумм отрицательных температур она оказывается существенно выше. Больший разброс наблюдается для временных векторов, где парные коэффициенты корреляции понижаются до значений 0,35–0,45, поэтому для описания каждого вектора стока использованы линейные уравнения с двумя и более переменными.

В первом приближении получена зависимость для составления территориального прогноза, представляющая собой систему уравнений множественной регрессии, основанной на произведении первых векторов:

$$Y = \sum_{i=1}^{2} a_i Y_i T_{Yi} + c \qquad (2)$$

$$\begin{cases} Y_1 = f(S_{L2}, X_{A3}) \\ TY_1 = f(TS_{P3}, TX_{S3}, T_{L1}) \end{cases} \qquad (3)$$

Индексы при переменных означают номер вектора. Для определения регрессионных коэффициентов уравнения весеннего стока (a_i, c) установлены зависимости от временных векторов.

Применение методики прогноза на практике является целесообразным лишь в случае, когда обеспеченность допустимой погрешности не менее чем на 10% превышает обеспеченность вероятного отклонения от нормы. Исходя из этого, к предложенной методике применена оценка по критерию $\bar{s} / \bar{\sigma}$ [Руководство…, 1989]. Результат ее применительно ко всему полю с учетом анализа на зависимом материале по 31 году наблюдений составил 0,62, а обеспеченность допустимой ошибки прогноза – 70%. Среднее многолетнее количество узлов, в которых прогноз оправдывается в пределах "допустимой ошибки" 0,674σ без уточнения, составляет 90 из 150 принимаемых к расчету. Хорошие результаты получены для 1973, 1974, 1977–1979, 1981, 1987, 1988, 1990 гг. – в эти годы, без уточнения, оправдались прогнозы более чем в 100 расчетных узлах. Самые плохие результаты приходятся на малоснежные зимы и/или аномальные по тому или иному параметру весны 1984, 1989, 1992, 1995, 1996 и 2002 года.

Распределение относительных ошибок прогноза по территории речных бассейнов неравномерное – максимальные ошибки приурочены к прибрежными северным частям бассейнов Онеги, Северной Двины и Мезени, а также к водосбору р. Ижма, где средние относительные ошибки достигают величины 30–40%. Показательно, что даже в годы с очень высокой оправдываемостью прогноза слоя стока для основной части территории, ошибки на ее северных участках сохраняются. Обусловлено это низким качеством экстраполяции полей в граничные узлы расчетной сетки, в особенности это касается нижней Онеги и бассейна Емцы. На остальной территории, ошибки прогноза слоя стока в среднем не превышают величины 20–25%.

На основании полученных результатов прогнозирования и оценке их точности, можно говорить о правомерности использования метода представления полей гидрометеорологических элементов ЕОС для прогноза стока весеннего половодья, а возможность прогноза стока с неизученных и слабоизученных водосборов указывает на его преимущество по сравнению с традиционным бассейновым подходом и перспективы применения в оперативной практике прогнозирования в подразделениях Росгидромета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 286 с.

Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. Санкт-Петербург: РГГМУ, 2007. – 436 с.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2003. – Т. 39. – №2. – С. 166–185.

Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М., Соколихина Н.Н., Суркова Г.В., Торопов П.А., Чернышев А.В., Чумаченко А.Н. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточноевропейской равнины в условиях потепления XXI века. – М.: Макс Пресс, 2008. – 292 с.

Лобода Н.С. Ехнич М.П., Шаменкова О.И. Параметризация гидрологических процессов на основе метода главных компонент // Наукові праці УкрНДГМІ. К.: Ніка – Центр, 2003. – Вип. 251. – С. 32–37.

Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке. Часть 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности оценки его расчета // Метеорология и гидрология, 2008. – №6. – С. 5–19.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2008. Том I. Изменения климата. Бедрицкий А.И., Блинов В.Г., Гершинкова Д.А. и др. (ред.). – М.: Росгидромет, 2008. – 228 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2008. Том II. Последствия изменений климата Бедрицкий А.И., Блинов В.Г., Гершинкова Д.А. и др. (ред.). – М.: Росгидромет, 2008. – 301 с.

Поляк И.И. Методы анализа случайных процессов и полей в климатологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 255 с.

Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 248 с.

Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишникова Е.С. Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение. – М.: МГУ, 2015.

LONG-TERM FORECAST OF SPRING FLOW FOR THE RIVERS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA BASED ON SYNOPTIC-STATISTICAL METHOD

Efremova N.A., Zhuk V.A.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, vajouk@mail.ru

ABSTRACT

Modern climate change and changes in hydrometeorological observation network break the reliability of existing forecast methods in hydrology. This paper considers suitability of the natural orthogonal function method for the spatial long-term forecast of spring flow by the example of the Onega, Northern Dvina, Mezen and Pechora's watersheds. Using small number of the flow-forming factors for the large areas is one of its advantages.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

АБАСОВ Н.В. 521
АВАНЕСОВА Г.С. 47
АГАФОНОВА С.А. 341
АЙЗЕЛЬ Г.В. 50
АКИМОВ В.Н. 267
АЛЕКСАНДРОВСКИЙ А.Ю. 469, 473
АЛЕКСЕЕВ И.А. 253
АМИРГАЛИЕВ Н.А. 133, 200
АНДРИАНОВА А.В. 136
АРТЕМЬЕВА Е.А. 493
БАЖЕНОВА О.П. 225
БАЛДЕНКОВ М.Г. 518
БАРАБАНОВА Е.А. 305, 530
БАРЕНБОЙМ Г.М. 139
БЕЗМАТЕРНЫХ Д.М. 228, 253
БЕЗРУКОВ Л.А. 477
БЕЛКИНА Н.А. 393
БЕЛОЛИПЕЦКИЙ В.М. 95
БЕЛОУСОВА А.П. 352
БЕРЕЖНЫХ Т.В. 521
БИБИКОВА Т.С. 305, 465
БОГДАНОВА М.С. 42
БОЛГОВ М.В. 13, 278, 481
БОЛДЕСКУЛ А.Г. 206
БОРОДУЛИНА Г.С. 356
БОЯРИНЦЕВ Е.Л. 47
БРЕЗГУНОВ В.С. 396
БРЕХОВСКИХ В.Ф. 143
БРЫЗГАЛО В.А. 249
БУБЕР А.Л. 481
БУГРОВ А.А. 57
БУДАНЦЕВА Н.А. 193
БУЗМАКОВ С.В. 282
БУЛГАКОВ В.Г. 203
БУРАКОВ Д.А. 525
ВАСИЛЬЕВ О.Ф. 98
ВАСИЛЬЧУК Ю.К. 193
ВДОВИНА О.Н. 253
ВЕНИЦИАНОВ Е.В. 24, 146, 218
ВИНОГРАДОВА Т.А. 88, 102
ВИНОКУРОВ Ю.И. 485, 489
ВИРЧЕНКО Е.П. 430
ВИШНЕВСКАЯ И.А. 465
ВОЛКОВА З.В. 143
ГАГАРИНА О.В. 493
ГАГАРИНОВА О.В. 231, 477
ГАЛЬЧЕНКО В.Ф. 267
ГЕНОВА С.Н. 95
ГЕОРГИАДИ А.Г. 273, 530
ГЕОРГИЕВСКИЙ В.Ю. 5
ГЕОРГИЕВСКИЙ Д.В. 313
ГИБКОВ Е.В. 186
ГЛЫЗИН Л.А. 398
ГЛЫЗИНА О.Ю. 398
ГОЛОВАНОВ В.К. 423
ГОЛОСОВ С.Д. 109
ГОЛУБЕВ В.Н. 54
ГОЛУБЕВА Е.М. 166
ГОРБАТЕНКО Л.В. 496
ГОРИН С.Л. 402
ГОРЮХИН М.В 375
ГРЕК Е.А.. 313
ГРИГОРЬЕВ В.Ю. 57
ГРИГОРЬЕВА И.Л. 406
ГУБАРЕВ М.С. 489, 512
ГУБЕРНАТОРОВА Т.Н. 146, 234
ГУДКОВ А.В. 360
ГУЛЬЧЕНКО Я.И. 225
ГУРЕВИЧ Е.В. 313
ГУСЕВ Е.М. 50
ГУСЕВА М.А. 259
ДВУРЕЧЕНСКАЯ С.Я. 515
ДЕМИН А.П. 278
ДЖАМАЛОВ Р.Г. 57, 345
ДЗЮБА А.В. 363, 366
ДОБРОВОЛЬСКИЙ С.Г. 499, 534
ДОЛГОВ С.В. 61, 305
ДОЛГОПОЛОВА Е.Н. 106
ДОЛИННАЯ С.Я 65
ДОЛМАТОВА Л.А. 246
ДОСТОВАЛОВА М.С. 83
ДРАБКОВА В.Г. 409
ДРЕЕВА Ф.Р. 150
ДРОНЬ О.В. 420
ДРЮПИНА Е.Ю. 189
ДУДАКОВ М.О. 454
ЕРМОЛАЕВА Н.И. 237, 240, 253
ЕФРЕМОВА Н.А. 298, 538
ЕФРЕМОВА Т.А. 153
ЕФРЕМОВА Т.В. 126
ЖАРКОВ Р.В. 369
ЖУК В.А. 538
ЖУРАВЛЕВ С.А. 282
ЗАЙЦЕВА И.С. 305
ЗАКОННОВА А.В. 423
ЗАКРУТКИН В.Е. 186
ЗАРУБИНА Е.Ю. 237, 253
ЗВЕЗДЕНКОВА Г.А. 218
ЗВЕРЕВ В.П. 33
ЗВЕРЕВ И.С. 109
ЗЕКЦЕР И.С. 372
ЗИНОВЬЕВ А.Т. 112
ЗОБКОВА М.В. 153
ЗОЛОТАРЕВ В.А. 243
ЗУЕВ В.В. 116
ИБРАЕВ Р.А. 109
ИВАНИЦКИЙ О.М. 222
ИВАНОВ С.В. 360
ИГНАТЬЕВА Н.В. 259
ИЗМАЙЛОВА А.В. 69, 286, 409
ИЛЬИЧЁВА Е.А. 477
ИСКАКОВ С.Д. 200
ИСТОМИНА М.Н. 499
ИСУПОВА М.В. 290
ИЦКОВИЧ В.Б. 398
КАДАЦКАЯ О.В. 294
КАЗМИРУК В.Д. 413
КАЗМИРУК Т.Н. 413
КАЛЮЖНЫЙ И.Л. 309
КАРЕПОВА Е.Д. 525
КАРИМОВА О.А. 372
КАРПЕЧКО Ю.В. 155
КАШУТИНА Е.А. 273, 305
КИМ В.И. 320
КИМ Г.В. 159, 243, 253
КИРЕЕВА М.Б. 57, 193, 345
КИРИЛЛОВ В.В. 253
КИРСТА Ю.Б. 73
КИТАЕВ Л.М. 298
КИЧИГИНА Н.В. 477
КОВАЛЕВА А.А. 203
КОВАЛЬ М.В. 402
КОГАН Р.М. 375
КОЖЕВНИКОВА Н.К. 206
КОЗЛОВ Д.Н. 417
КОЛОМЕЙЦЕВ А.А. 116
КОМПАНИЕЦ Л.А. 119
КОНДРАТЬЕВ С.А. 302
КОНДРАТЬЕВА Л.М. 162, 166
КОПЫЛОВА Л.П. 430
КОРВЕТ Н.Г. 420
КОРМАКОВ В.И. 489
КОРНЕЕНКОВА Н.Ю. 259
КОРОНКЕВИЧ Н.И. 61, 305, 530
КОРЫТНЫЙ Л.М. 477, 506
КОСМЕНКО Л.С. 249
КОТОВЩИКОВ А.В. 237, 246, 253
КОЧАРЯН А.Г. 170, 473
КОШЕЛЕВ К.Б. 112
КРАСНОЯРОВА Б.А. 485
КРУТСКИХ О.И. 203
КРЫЛЕНКО И.Н. 341
КРЮКОВ Л.Н. 20
КУДЕРИНА Т.М. 451
КУДРЯШОВА В.В 383
КУЗЕНБАЕВ К.М. 503
КУЗНЕЦОВ Д.Д. 259
КУЗЬМИЧ В.Н. 174, 222
КУЛАКОВ В.В. 380

КУРАКОВ С.А. 116
КУРБАТОВА Н.Н. 447
КУРЕПИНА Н.Ю. 512
КУРОЧКИНА Л.С. 282
ЛАВРОВ С.А. 309
ЛАПИНА Е.Е. 383
ЛЕБЕДЕВА И.П. 170
ЛЕБЕДЕВА Л.С. 88
ЛЕВИТ-ГУРЕВИЧ Л.К. 503
ЛЕПИХИН А.П. 122, 146
ЛИТВИНЕНКО А.В. 42
ЛИТВИНОВ А.С. 423
ЛОБАНОВА А.Г. 313
ЛОЗОВИК П.А. 153, 155, 178
ЛОТОВ А.В. 481
ЛОШАКОВА Н.А. 193
ЛУДИКОВА А.В. 259
ЛУПАКОВ С.Ю. 206
ЛУЦЕНКО Т.Н. 206
ЛЮБИМОВА Т.П. 122
МАГАЕВА Л.А. 512
МАЗУХИНА С.И. 360
МАКСИМОВА Е.С. 518
МАЛОЗЕМОВА О.В. 432
МАМЧЕНКО Т.Б. 430
МАРГАРЯН В.Г. 316
МАСЛОВ А.А. 518
МАХИНОВ А.Н. 320
МЕДВЕДЕВА И.Н. 182
МЕЛЬНИК К.С. 305
МЕНШУТКИН В.В. 457
МИЛЮКОВА И.П. 530
МИРОШНИЧЕНКО С.А. 146
МИТРОФАНОВА Е.Ю. 253, 426
МИХАЙЛОВ В.Н. 323
МИХАЙЛОВА Л.В. 182
МИХАЙЛОВА М.В. 323
МОЛЧАНОВА Т.Г. 313
МОРШИНА Т.Н. 430
НЕСТЕРОВА Л.А. 432
НИКАНОРОВ А.М. 186, 249
НИКИФОРОВСКАЯ В.С. 102
НИКОНОВ А.И. 327
ОВЧАРОВА Е.П. 294
ОВЧАРУК В.А 77
ОВЧИННИКОВА Т.Э. 98
ОНИЩЕНКО Э.Г. 489
ОСИПОВА Н.В. 80
ОСИПЧУК Е.Н. 521
ОСТРОВСКАЯ Е.В. 143
ПАДАЛКО Ю.А. 330
ПАЛЬШИН Н.И. 126
ПАПИНА Т.С. 189
ПОДОЛЬСКИЙ М.С. 469
ПОЛУБОК А.Г. 47
ПОНЬКО В.А. 489
ПОСТНИКОВА П.В. 435
ПОТАПОВА И.Ю. 155
ПОТЕМКИНА Т.Г. 437
ПУЗАНОВ А.В. 73, 253
РАХУБА А.В. 440
РЕЗНИКОВ В.Ф. 489, 512
РЕУТОВА Н.В. 150
РЕУТОВА Т.В. 150
РЕЦ Е.П. 57, 193, 345
РЕШЕТНЯК В.Н. 186
РЕШЕТНЯК О.С. 186, 197, 249
РОБЕРТУС Ю.В. 83
РОМАНОВА С.М. 200
РОШЕТ Н.А. 309
РУДЕНКО Е.Э. 352
РУМЯНЦЕВ В.А. 20
РУТКОВСКИЙ П.П. 256, 509
РЫБКА К.Ю. 218
РЫБКИНА И.Д. 489, 512
РЫЖАКОВ А.В. 153
РЯБЧУК Д.В. 420
САБЫЛИНА А.В. 153
САВКИН В.М. 515
САВЧЕНКО Н.В. 443
САЗОНОВ А.А. 341
САЛТАНКИН В.П. 327
САЛТЫКОВ А.В. 253
САНЕЦ Е.В. 294
САПЕЛКО Т.В. 259
САПОЖНИКОВА Ю.П. 398
САФРОНОВА Т.И. 57
СЕМЕНОВ В.А. 333
СЕМЕНОВА И.В. 203
СЕМЕНОВА О.М. 88
СЕРЫХ Т.Г. 189
СИВОХИП Ж.Т. 336
СИНЮКОВИЧ В.Н. 447
СКРИПЧИНСКИЙ А.К. 218
СОРОКИН В.В. 267
СПИРИДОНОВ М.А. 420
СТОЯЩЕВА Н.В. 512
СТУРМАН В.И. 386
СУБЕТТО Д.А. 37, 417
СУРГУЧЕВА Н.А. 267
СУСЛОВА С.Б. 451
СУТОРИХИН И.А. 116
СУТЧЕНКОВА О.С. 246
СУХАНОВА Л.В. 398
СУХАЧЕВА Л.Л. 420
СУЧКОВА К.В. 390
ТЕЛЕГИНА А.А. 57
ТЕЛЕГИНА Е.А. 57, 345
ТОДОРОВА Е.И. 77
ТОКАРЕВ И.В. 193
ТУЗОВА Т.В. 263
ТУЛОХОНОВ А.К. 9
УЛИЧЕВ В.И. 454
УРАЛБЕКОВ Б.М. 263
УСКОВ Т.Н. 189
УШАКОВ К.В. 109
ФАТХИ М.О. 298
ФЕДОРОВА Г.А. 398
ФИЛАТОВ Н.Н. 42, 457
ФИЛИМОНОВА Е.А. 518
ФИЛИППОВА И.А. 80, 278
ФИЛИППОВА С.Н. 267
ФИРСЕНКОВА В.М. 417
ФРОЛОВ Д.М. 54, 339
ФРОЛОВА Н.Л. 57, 193, 298, 341, 345
ЧЕМАГИН А.А. 182
ЧЕРНЫХ Г.Г. 98
ЧЕРНЫХ Д.В. 270
ЧЕТВЕРИКОВА А.В. 372
ЧИГАНОВА М.А 139
ЧИЖОВА Ю.Н. 193
ЧИЧКОВА Е.Ф. 454
ШАКИРЗАНОВА Ж.Р. 92
ШАЛАШИНА Т.Л. 313
ШАЛЫГИН А.Л. 349
ШАМОВ В.В. 206
ШАНЬКО Ю.В. 525
ШАПОВАЛОВА Е.С. 327
ШАПОРЕНКО С.И. 209, 465
ШАШКОВ С.Н. 473
ШВАРЦЕВ С.Л. 28
ШЕЛУТКО В.А. 65
ШЕСТЕРКИН В.П. 212, 215
ШЕСТЕРКИНА Н.М. 215
ШИЛЬКРОТ Г.С. 451
ШИПУНОВА Е.А. 109
ШМАКОВА М.В. 69, 130, 302, 440
ШМЫРЕВ В.М. 473
ШТЕНГЕЛОВ Р.С. 518
ЩЕГОЛЬКОВА Н.М. 218
ЭЙРИХ А.Н. 189, 240
ЯКУБАЙЛИК Т.В. 119
ЯНИН Е.П. 222
ЯНКОВСКАЯ У.И. 116
ЯНЫГИНА Л.В. 273, 461
ЯСИНСКИЙ С.В. 305, 465
ЯХНЕНКО В.М. 398

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ
PLENARY SESSION

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 5
Георгиевский В.Ю.
RIVERS WATER RESOURCES OF THE RUSSIAN FEDERATION
Georgievsky V.Yu.

КОНФЛИКТЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ:
ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТЫ 9
Тулохонов А.К.
CONFLICTS OF WATER CONSUMPTION:
GLOBAL AND REGIONAL ASPECTS
Tulokhonov A.K.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ:
ОЦЕНКИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ 13
Болгов М.В.
EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS: ESTIMATION AND DECISION MAKING
UNDER CONDITION OF THE UNCERTAINTY OF ITS FACTORS OF FORMATION
Bolgov M.V.

НОВАЯ ПАРАДИГМА ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА
КРУПНЕЙШИХ ВОДОЕМОВ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА 20
Румянцев В.А., Крюков Л.Н.
NEW PARADIGM OF THE STATE MONITORING OF THE LARGEST
RESERVOIRS OF RUSSIA ON THE EXAMPLE OF LAKE LADOGA
Rumyantsev V.A., Kryukov L.N.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ 24
Веницианов Е.В.
MODERN PROBLEMS OF THE WATER RESOURCES PROTECTION
Venitsianov Ye.V.

ПОДЗЕМНЫЕ РАСТВОРЫ – ОСНОВНАЯ СРЕДА ОБРАЗОВАНИЯ СЛОЖНОСТЕЙ 28
Шварцев С.Л.
UNDERGROUND SOLUTIONS – MAINLY AMONG EDUCATION DIFFICULTY
Shvartsev S.L.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ
ПРИРОДНЫХ ВОД ЗЕМЛИ 33
Зверев В. П.
COMPARATIVE QUANTITATIVE EVALUATION
OF PARAMETERS OF NATURAL WATERS OF THE EARTH
Zverev V.P.

ОЗЁРА И ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ПРОШЛОГО:
ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ 37
Субетто Д.А.
LAKES AND NATURAL-CLIMATIC CONDITION IN THE PAST:
PALAEOLYMNOLOGICAL RECONSTRUCTION
Subetto D.A.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СЕВЕРНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА РОССИИ
В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И ЭКОНОМИКИ 42
Филатов Н.Н., Литвиненко А.В., Богданова М.С.
WATER RESOURCESNORTHERN ECONOMIC REGIONRUSSIAIN
A CHANGINGCLIMATE ANDECONOMY
Filatov N.N., Litvinenko A.V., Bogdanova M.S.

СЕКЦИЯ 1

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОЛОГИИ, ГИДРОФИЗИКИ, ГИДРОХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

ПОДСЕКЦИЯ 1.

ГИДРОЛОГИЯ

SECTION 1

ACTUAL PROBLEMS OF HYDROLOGY, HYDROPHYSICS, HYDROCHEMISTRY, ECOLOGY AND WAYS OF THEIR SOLUTION

SUBSECTION 1.1

HYDROLOGY

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ ПАВОДОЧНЫЙ СТОК В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ЗОНЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ПОРОД 47
Аванесова Г.С., Бояринцев Е.Л., Полубок А.Г.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS
Avanesova G.S., Boyarintsev Y. L., Polubok A. G.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ РЕЧНОГО СТОКА С НЕИЗУЧЕННЫХ ВОДОСБОРОВ 50
Айзель Г.В., Гусев Е.М.

MODERN MACHINE LEARNING TECHNIQUES IMPLEMENTATION FOR RUNOFF CALCULATION IN UNGAUGED BASINS
Ayzel G.V., Gusev Y.M.

ВАРИАЦИИ ВОДОЗАПАСА СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ИНТЕНСИВНОСТИ ЕГО ТАЯНИЯ КАК ФАКТОР ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ 54
Голубев В.Н., Фролов Д.М.

VARIATIONS OF SNOWCOVER WATER EQUIVALENT AND ITS THAWING INTENSITY AS A FACTOR OF A SPRING FLOODS
Golubev V.N., Frolov D.M.

ОЦЕНКА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ 57
Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Бугров А.А., Григорьев В.Ю., Киреева М.Б., Рец Е.П., Сафронова Т.И., Телегина А.А., Телегина Е.А.

ESTIMATION OF RENEWABLE WATER RESOURSES IN EUROPEAN RUSSIA AND SPACE-TIME ANALYSIS OF THEIR DISTRIBUTION
Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Bugrov A.A., Grigoriev V.Yu., Kireeva M.B., Rets E.P., Safronova T.I., Telegina A.A., Telegina E.A.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РУССКОЙ РАВНИНЫ 61
Долгов С.В., Коронкевич Н.И.

VERTICAL HYDRUOLOGICAL STRUCTURE OF RUSSIAN PLAIN
Dolgov S.V., Koronkevich N.I.

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЛИНЕАРИЗАЦИИ СВЯЗЕЙ И НОРМАЛИЗАЦИИ ИСХОДНЫХ РЯДОВ ПРИ РАСЧЕТАХ ПО УРАВНЕНИЯМ РЕГРЕССИИ 65
Долинная С.Я., Шелутко В.А.

QUESTIONS ON THE USE OF LINEARIZATION AND NORMALIZATION METHODS OF ORIGINAL SERIES IN REGRESSION EQUATIONS' CALCULATING
Dolinnaya S. Ya, Shelutko V.A.

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОЗЕР, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РЕГИОНАХ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ 69
Измайлова А.В., Шмакова М.В.

TEMPORAL VARIABILITY OF LAKE'S WATER RESOURCES LOCATED IN THE REGIONS OF INSUFFICIENT MOISTURE
Izmailova A.V., Shmakova M.V

СИСТЕМНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА ГОРНЫХ РЕК 73
Кирста Ю.Б., Пузанов А.В.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS
Kirsta Yu.B., Puzanov A.V.

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА ДЛЯ РЕК ГОРНОГО КРЫМА 77
Овчарук В. А., Тодорова Е. И.

METHOD OF NORMALIZATION OF CHARACTERISTICS OF MAXIMAL RUNOFF OF FLOODS CAUSED BY RAIN DURING WARM PERIOD FOR THE RIVERS OF MOUNTAIN CRIMEA
Ovcharuk V.A., Todorova E.I.

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ОБЩИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ПОЛОВОДЬЯ ДЛЯ БАССЕЙНА РЕКИ ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ 80
Осипова Н.В., Филиппова И.А.

THE OBTAINING OF REGIONAL RELATIONS BETWEEN MAXIMUM FLOOD RUNOFF CHARACTERISTICS FOR VOLGA BASIN IN NON-STATIONARY CONDITIONS
Osipova N.V., Filippova I.A.

ПОСЛЕДСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ПАВОДКА 2014 ГОДА В ГОРНОМ АЛТАЕ 83
Робертус Ю.В., Достовалова М.С.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS
Robertus Y.V., Dostovalova M.S.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В БАССЕЙНАХ РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА 88
Семенова О.М., Виноградова Т.А., Лебедева Л.С.

SIMULATION OF MAXIMUM FLOWS IN RIVER BASINS ON THE BLACK SEA COAST OF NORTHWEST CAUCASUS
Semenova O., Vinogradova T., Lebedeva L.

МЕТОД ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РАВНИННЫХ РЕК В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ 92
Шакирзанова Ж.Р.

METHOD OF REGIONAL LONG-TERM FORECASTS OF SPRING FLOOD CHARACTERISTICS FOR THE PLAIN RIVERS UNDER CLIMATE CHANGE
Shakirzanova Zh.R.

ПОДСЕКЦИЯ 1.2
ГИДРОФИЗИКА

SUBSECTION 1.2
HYDROPHYSICS

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В БОЛОТНО-ОЗЕРНЫХ ЛАНДШАФТАХ 95
Белолипецкий В.М., Генова С.Н.

NUMERICAL MODEL OF DYNAMICS PERMAFROST IN THE BOG-LAKE LANDSCAPES
Belolipetskii V.V., Genova S.N.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАГЛУБЛЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО СЛОЯ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ 98
Васильев О.Ф., Овчинникова Т.Э., Черных Г.Г.

MATHEMATICAL MODELS OF THE PENETRATION OF A TURBULENT LAYER IN STABLY STRATIFIED FLUID
Vasiliev O.F., Ovchinnikova T.E., Chernykh G. G.

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В РЕЧНЫХ И ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ 102
Виноградова Т.А., Никифоровская В.С.

ABOUT THE NUMERICAL SIMULATION OF THE HEAT – MASS – TRANSFER PROCESSES OF FORMATION IN RIVER AND LAKE – RIVER SISTEMS
Vinogradova T.A., Nikiforovskaya V.S.

РОЛЬ РАЗНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЖИМА РЕЧНЫХ ДЕЛЬТ 106
Долгополова Е.Н.

DIFFERENT FACTORS IMPACT ON THE FORMATION OF RIVER DELTAS REGIME
Dolgopolova E.N.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ (“ТЕРМОБАРА”) В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ 109
Зверев И.С., Ушаков К.В., Шипунова Е.А., Голосов С.Д., Ибраев Р.А.
MODELLING OF “THERMAL BAR” SPREADING IN LAKE LADOGA
Zverev I.S., Ushakov K.V., Shipunova E.A., Golosov S.D., Ibrayev R.A.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛЕДОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕЛЕЦКОМ ОЗЕРЕ 112
Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б.
MODELING OF HYDROPHYSICAL PROCESSES IN LAKE TELETSKOYE
Zinoviev A.T., Koshelev K.B.

ДИНАМИКА СНЕГОТАЯНИЯ И ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ БЕССТОЧНОГО ОЗЕРА 116
Зуев В.В., Суторихин И.А., Кураков С.А., Янковская У.И., Коломейцев А.А.
DYNAMICS SNOWMELT AND CHANGES IN THE LEVEL OF CLOSED LAKES
Zuev V.V., Sutorikhin I.A., Kurakov S.A., Yankovskaya U.I., Kolomeytsev A.A.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНУТЫХ СОЛЕНЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОЗЕР (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ШИРА) 119
Компаниец Л.А., Якубайлик Т.В.
COMBINED METHOD FOR STUDYING HYDRO-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE CLOSED SALT STRATIFIED LAKES (ON THE EXAMPLE OF THE SHIRA LAKE)
Kompaniets L.A., Yakubaylik T.V.

ПЛОТНОСТНЫЕ, СТРАТИФИКАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ДИНАМИКЕ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ 122
Лепихин А.П., Любимова Т.П.
EFFECTS OF STRATIFICATION DUE TO DIFFERENT DENSITY IN DYNAMICS OF THE LARGE WATER BODIES
Lepikhin A.P., Lyubimova T.P.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА 126
Пальшин Н. И., Ефремова Т. В.
VERTICAL THERMAL STRUCTURE OF NORTHWESTERN RUSSIA LAKES DURING ICE-COVERED PERIOD
Palshin N.I., Efremova T.V.

РАСЧЕТЫ ТВЕРДОГО СТОКА РЕК В НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ ГИДРОЛОГИИ 130
Шмакова М.В.
CALCULATIONS OF SOLID RUNOFF OF RIVERS FOR SOME PROBLEMS OF APPLIED HYDROLOGY
Shmakova M.V.

ПОДСЕКЦИЯ 1.3

ГИДРОХИМИЯ

SUBSECTION 1.3

HYDROCHEMISTRY

ПОЛИХЛОРИРОВАННЫЕ БИФЕНИЛЫ В ВОДЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ БАССЕЙНОВ КАЗАХСТАНА 133
Амиргалиев Н.А.
POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN WATER OF TRANSBOUNDARY RESERVOIRS OF KAZAKHSTAN
Amirgaliev N.A.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО БИОИНДИКАТОРНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ МАЛЫХ РЕК НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА “ЕРГАКИ” 136
Андрианова А.В.
THE USAGE OF INTEGRAL BIOINDICATED INDEX IN THE QUALITY ASSESSMENT OF THE SMALL RIVERS WATER ON THE TERRITORY OF THE NATIONAL NATURAL PARK (THE SOUTH OF THE KRASNOYARSK KRAI)
Andrianova A.V.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ КСЕНОБИОТИКОВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ 139
Баренбойм Г.М. , Чиганова М.А.
USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES TO ASSESS THE HAZARD OF ORGANIC XENOBIOTICS, WHICH CONTAMINATE WATER BODIES
Barenboim G.M., Chiganova M.A.

О СВЯЗИ РЕЧНОГО СТОКА И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ 143
Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Островская Е.В.
ABOUT RELATION OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE LOWER VOLGA RIVER WITH RIVER RUNOFF
Brekhovskikh V.F., Volkova Z.V., Ostrovskaya E.V.

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ КАМЫ 146
Веницианов Е.В., Губернаторова Т.Н., Лепихин А.П., Мирошниченко С.А.

DEVELOPMENT AND SUBSTANTIATION OF REGIONAL WATER-QUALITY STANDARDS OF WATER BODIES UPPER KAMA BASIN
Venitsianov Ye.V., Gubernatorova T.N., Lepikhin A.P., Miroshnichenko S.A.

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ГОРНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА (НА ПРИМЕРЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ) 150
Дреева Ф.Р., Реутова Т.В., Реутова Н.В.

DISTINCTIVE FEATURES OF THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SURFACE WATERS IN THE HIGHLANDS OF CENTRAL CAUCASUS (BY THE EXAMPLE OF THE KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC)
Dreeva F.R., Reutova T.V., Reutova N.V.

УГЛЕВОДЫ, ЛИПИДЫ, БЕЛКИ И МОЧЕВИНА В СОСТАВЕ АВТОХТОННОГО И АЛЛОХТОННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ 153
Ефремова Т.А., Зобкова М.В., Лозовик П.А., Сабылина А.В., Рыжаков А.В.

CARBOHYDRATES, LIPIDS, PROTEINS AND UREA IN THE AUTOCHTONOUS AND ALLOCHTHONOUS COMPOSITION OF ORGANIC MATTER IN NATURAL WATERS OF KARELIA
Efremova T. A., Zobkova M. V., Lozovik P. A., Sabylina A. V., Ryzhakov A. V.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ 155
Карпечко Ю.В., Лозовик П.А., Потапова И.Ю.

TRANSFORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION BY FOREST VEGETATION
Karpechko Yu., Lozovik P., Potapova I.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОСЛЕЙ ПЕРИФИТОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ 159
Ким Г.В.

USE OF THE PERIPHYTON ALGAE TO ASSESS AND IMPROVE WATER QUALITY
Kim G.V.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ РТУТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ПРИАМУРЬЯ 162
Кондратьева Л.М.

TNE POTENTIAL RISKS OF MERCURY CONTAMINATION NATURAL WATERS IN PRIAMURYE
Kondrateva L.M.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ АМУР ВО ВРЕМЯ НАВОДНЕНИЯ 2013 ГОДА 166
Кондратьева Л.М., Голубева Е.М.

BIOGEOCHEMICAL INDICATORS CHANGE OF WATER QUALITY IN THE AMUR RIVER DURING THE FLOOD OF 2013
Kondrateva L. M., Golubeva E. M.

ОПАСНОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ВОДОСБОРАХ ДЛЯ ВОДНЫХ И ПОЧВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ 170
Кочарян А.Г., Лебедева И.П.

THE DANGER OF TECHNOGENIC LITHOCHEMICAL SPREAD AUREOLES OF HEAVY METALS ON WATERSHEDS FOR WATER AND SOIL ECOSYSTEMS
Kocharyan A.G., Lebedeva I.P.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УСТАНОВЛЕНИЮ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД 174
Кузьмич В.Н.

THE SYSTEM APPROACN TO THE DEFINITION OF REGULATED SURFACE WATER QUALITY STANDARDS
Kuzmich V.N.

ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ГУМИДНОЙ ЗОНЫ 178
Лозовик П. А.

THE PROCESSES OF FORMING OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE WATER HUMID ZONE
Lozovik P.A.

СВЯЗЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ С МОРФОМЕТРИЕЙ РЕКИ ИРТЫШ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ В СЕЗОННОМ АСПЕКТЕ 182
Михайлова Л.В., Чемагин А.А., Медведева И.Н.

CONNECTION CHEMICAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS WITH MORPHOMETRY OF THE IRTYSH RIVER IN THE LOWER REACHES IN THE SEASONAL ASPECTS
Mikhailova L.V., Chemagin A.A., Medvedeva I.N.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА 186
Никаноров А.М., Закруткин В.Е., Решетняк О.С., Гибков Е.В., Решетняк В.Н.

VARIATION OF CHEMICAL COMPOSITION AND QUALITY OF SURFACE WATER TECHNOGENIC VIOLATIONS GEOSYSTEMS OF EASTERN DONBASS
Nikanorov A.M., Zakrutkin V.E., Reshetnyak O.S., Gibkov Ye.V. Reshetnyak V.N.

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА В ВОДОЕМАХ С УСТОЙЧИВЫМ ЛЕДОВЫМ ПОКРОВОМ (НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА) 189
Папина Т.С., Эйрих А.Н., Серых Т.Г., Усков Т.Н., Дрюпина Е.Ю.

INFLUENCE OF SEASONAL CHANGES OF THE OX-RED CONDITIONS AT EMISSION AND DISTRIBUTION OF MANGANESE IN RESERVOIRS WITH LONG WINTER ICE COVER (A CASE STUDY OF THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR)
Papina T.S., Eirikh A.N., Serykh T.G., Uskov T.N., Dryupina E.Yu.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН И ВЫСОКОГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ 193
Рец Е.П., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Лошакова Н.А., Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., Васильчук Ю.К., Токарев И.В.

USING STABLE ISOTOPES TO INVESTIGATE COASTAL LAKES AND ALPINE RIVERS
Rets E., Frolova N., Kireyeva M., Loshakova N., Chizhova J., Budantseva N., Vasilchuk Yu., Tokarev I.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ 197
Решетняк О.С.

REGIONAL FEATURES OF CHEMICAL COMPOSITION OF RIVER ECOSYSTEM WATER ON THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA
Reshetnyak O.S.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЭКИБАСТУЗСКОЙ ГРЭС-1 В ПЕРИОД ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ 200
Романова С.М., Искаков С.Д., Амиргалиев Н.А.

EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS
Romanova S.M., Iskakov S.D., Amirgaliev N.A.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ 203
Семенова И.В., Булгаков В.Г., Крутских О.И., Ковалева А.А.

AUTOMATIC WATER QUALITY CONTROL STATIONS: THE FIRST RESULTS OF TASTE EXPLOITATION
Semenova I.V., Bulgakov V.G., Krutskikh O.I., Kovalyova A.A.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ЛОКАЛЬНОГО ВЛАГООБОРОТА: НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА 206
Шамов В.В., Болдескул А.Г., Кожевникова Н.К., Луценко Т.Н., Лупаков С.Ю.

HYDROCHEMICAL INDICATION OF THE LOCAL WATER CYCLE: FIELD STUDIES IN THE SOUTH OF PACIFIC RUSSIA
Shamov V.V., Boldeskul A.G., Kozhevnikova N.K., Lutsenko T.N., Lupakov S.Yu.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ ВОЛГЕ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ 209
Шапоренко С.И.

CURRENT TRENDS IN WATER QUALITI IN RIVER VOLGA BY HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS
Shaporenko S.I.

СТОК РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ РЕКИ АМУР В ПЕРИОД ИСТОРИЧЕСКОГО ПАВОДКА 2013 ГОДА 212
Шестеркин В.П.

RUNOFF OF SOLUTES IN THE AMUR RIVER WATER DURING THE HISTORICAL FLOODS IN 2013
Shesterkin V.P.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ЗИМНИЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ АМУР 215
Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.

IMPACTS OF HYDROPOWER CONSTRUCTIONS ON THE AMUR HYDROCHEMICAL REGIME IN WINTER
Shesterkin V.P., Shesterkina N.M.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ САМООЧИЩЕНИЯ РЕКИ МОСКВЫ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 15 ЛЕТ 218
Щеголькова Н.М., Веницианов Е.В., Рыбка К.Ю., Скрипчинский А.К., Звезденкова Г.А.

PROCESS CHANGE OF SELF-PURIFICATION OF THE MOSCOW RIVER DEPENDING ON THE DEVELOPMENT SYSTEM DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT
Shchegolkova N.M., Venitsianov Ye.V., Rybka K.J., Skripchinsky A.K., Zvezdenkova G.A.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ 222
Янин Е.П., Кузьмич В.Н., Иваницкий О.М.

DETERMINATION OF THE NATURAL REGIONAL HETEROGENEITY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE WATER DURING THE ESTABLISHMENT OF THE NORMALIZED INDICES OF QUALITY OF THE WATER
Yanin E.P., Kuzmich V.N., Ivanizkii O.M.

ПОДСЕКЦИЯ 1.4
ЭКОЛОГИЯ

SUBSECTION 1.4
ECOLOGY

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ИРТЫШ 225
Баженова О.П., Гульченко Я.И.

LONG-TERM CHANGES OF THE PHYTOPLANKTON DEVELOPMENT INDICES OF THE MIDDLE IRTYSH RIVER
Bazhenova O.P., Gulchenko Y.I.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ СООБЩЕСТВ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ РЕКИ БАРНАУЛКИ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ) 228
Безматерных Д.М.

THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS ON STRUCTURE OF BENTHIC INVERTEBRATES COMMUNITIES FROM BARNAULKA RIVER (ALTAI REGION)
Bezmaternykh D.M.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ 231
О.В. Гагаринова

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF HYDROLOGICAL RESEARCH WITHIN THE LAKE BAIKAL BASIN
Gagarinova O.V.

ДЕГРАДАЦИЯ СТОЙКОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ГРИБОВ 234
Губернаторова Т.Н.

ORGANIC PERSISTENT SUBSTANCES DEGRADATION UNDER THE ACTION OF FUNGAL ENZYMATIC OXIDIZING COMPLEX IN AQUATIC ECOSYSTEMS
Gubernatorova T.N.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ ПРИТОКОВ КРУПНОГО РАВНИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ 237
Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Котовщиков А.В., Яныгина Л.В.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL STATUS OF LARGE PLAIN RESERVOIR'S TRIBUTARIES ESTUARINE ON HYDROBIOLOGICAL INDICATORS
Yermolayeva N.I., Zarubina E.Yu., Kotovschikov A.V. Yanygina L.V.

ОЦЕНКА РОЛИ ЗООПЛАНКТОНА В ПРОЦЕССЕ САМООЧИЩЕНИЯ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 240
Ермолаева Н.И., Эйрих А.Н.

ASSESSMENT OF THE ROLE OF ZOOPLANKTON IN SELF-CLEANING PROCESS IN THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR
Yermolaeva N.I., Eyrikh A.N.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕАЛИЗМ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОЁМОВ И ВОДОТОКОВ 243
Золотарев В.А., Ким Г.В.

ENVIRONMENTAL REALISM OF WATER QUALITY ASSESSMENT IN AQUATIC ECOSYSTEMS
Zolotarev V.A., Kim G.V.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА ПИТЬЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ РАЗВИТИЯ И МЕТАБОЛИЗМА ФИТОПЛАНКТОНА, СОДЕРЖАНИЮ БИОГЕННЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ (НА ПРИМЕРЕ КАРА-ЧУМЫШСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, БАССЕЙН ВЕРХНЕЙ ОБИ) 246
Котовщиков А.В., Долматова Л.А.

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL STATE OF DRINKING WATER RESERVOIR USING INDICATORS OF PHYTOPLANKTON DEVELOPMENT AND METABOLISM, NUTRIENT AND ORGANIC CONTENT (KARA-CHUMYSH RESERVOIR, UPPER OB BASIN AS A CASE STUDY)
Kotovshchikov A.V., Dolmatova L.A.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТОЯНИЯ УСТЬЕВЫХ ЭКОСИСТЕМ КРУПНЫХ РЕК РОССИИ 249
Никаноров А.М., Брызгало В.А., Решетняк О.С., Косменко Л.С.

VARIABILITY OF MOUTH AREA ECOSYSTEMS STATE OF MAJOR RUSSIA RIVERS
Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A., Reshetnyak O.S., Kosmenko L.S.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОТОКОВ ПОЗИЦИОННОГО РАЙОНА КОСМОДРОМА “ВОСТОЧНЫЙ” 253
Пузанов А.В., Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Алексеев И.А., Вдовина О.Н., Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Ким Г.В., Котовщиков А.В., Митрофанова Е.Ю., Салтыков А.В.

ECOLOGICAL STATE OF STREAMS AT POSITIONAL SITE OF "VOSTOCHNY" SPACEPORT
Puzanov A.V., Kirillov V.V., Bezmaternykh D.M., Alekseev I.A., Vdovina O.N., Ermolaeva N.I., Zarubina E.Yu., Kim G.V., Kotovshchikov A.V., Mitrofanova E.Yu., Saltykov A.V.

ВОДООХРАННЫЕ ЗОНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ 256
Рутковский П.П.

THE WATER PROTECTION ZONES OF WATER OBJECTS AS FACTOR OF IMPROVEMENT OF THEIR ECOLOGICAL STATE
Rutkouski P. P.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ В ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ МАЛЫХ ОЗЕР НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСНОГО ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРА БЕРЕСТОВОГО НА КАРЕЛЬСКОМ ПЕРЕШЕЙКЕ 259
Сапелко Т. В., Игнатьева Н. В., Кузнецов Д. Д., Лудикова А. В., Корнеенкова Н. Ю., Гусева М. А.

CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS IN THE HISTORY OF THE SMALL LAKES DEVELOPMENT ON THE EXAMPLE OF PALAEOLIMNOLOGICAL COMPLEX RESEARCH ON THE LAKE BERESTOVOYE, KARELIAN ISTHMUS
Sapelko T.V., Ignatieva N.V., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Korneenkova N.Ju., Guseva M.A.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ ЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ УРАНА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОЦЕССОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ 263
Тузова Т.В., Уралбеков Б.М.

THE EXPERIENCE OF USING THE RATIO OF ODD URANIUM ISOTOPES IN NATURAL WATER FOR STUDYING PROCESSES IN WATER ECOSYSTEMS
Tuzova T.V., Uralbekov B.M.

БАКТЕРИОФАГИ В ЭКОСИСТЕМЕ ПОДЛЕДНОГО ОЗЕРА УНТЕРЗЕЕ (АНТАРКТИДА) 267
Филиппова С.Н., Сургучева Н.А., Сорокин В.В. Акимов В.Н., Гальченко В.Ф.

BACTERIOPHAGES IN ICE-COVERED LAKE UNTERSEE (ANTARCTICA) ECOSYSTEM
Filippova S.N., Surgucheva N.A., Sorokin V. V., Akimov V. N.,, Galchenko V. F.

ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ КАК ОТРАЖЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ 270
Черных Д.В.

LANDSCAPE-HYDROLOGICAL RESEARCHES IN CONDITIONS OF HYDROMETEOROLOGICALINFORMATION DEFICIENCY AS REFLECTION OF THE STRUCTURE AND FUNCTIONING OF LANDSCAPES
Chernykh D.V.

СЕКЦИЯ 2

РОЛЬ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ПОДСЕКЦИЯ 2.1

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

SECTION 2.

NATURAL AND ANTHROPOLOGICAL FACTORS IN FORMATION OF WATER RESOURCES

SUBSECTION 2.1

SURFACE WATER RESOURCES

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ФАЗЫ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЧНОГО СТОКА КРУПНЕЙШИХ РЕК РУССКОЙ РАВНИНЫ И СИБИРИ 273
Георгиади А.Г., Кашутина Е.А.

LONG-TERM PHASES OF MULTI-YEAR CHANGES OF RUNOFF FOR THE LARGE RIVERS OF RUSSIAN PLAIN AND SIBERIA
Georgiadi A.G., Kashutina E.A.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ВОЛГИ 278
Демин А.П., Болгов М.В, Филиппова И.А.

CHANGES OF WATER STRESS IN VOLGA RIVER BASIN DUE TO CLIMATE AND ANTHROPOGENIC IMPACTS
Demin A.P., Bolgov M.V., Filippova I.A.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ) 282
Журавлев С.А., Бузмаков С.В., Курочкина Л.С.

VARIATIONS OF MAXIMUM SPRING FLOOD DISCHARGE AND ITS ANALYSIS UNDER CLIMATE CHANGE: A CASE STUDY IN NORTHWESTERN RUSSIA
Zhuravlev S.A., Buzmakov S.V., Kurochkina L.S.

ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО ФОНДА ЦЕНТРА И ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ПОЛСТОЛЕТИЯ 286
Измайлова А.В.

WATER FUND CHANGES AT THE CENTER AND SOUTH OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIAN FEDERATION OVER THE PAST HALF CENTURY
Izmailova A.V.

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК РОССИИ И ИХ ТЕНДЕНЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК 290
Исупова М.В.

THE DANGEROUS HYDROLOGICAL PHENOMENA IN THE RUSSIAN RIVER MOUTHS AREAS AND THEIR TREND IN THE CHANGING CLIMATIC CHARACTERISTICS
Isupova M.V.

ТЕХНОГЕННЫЕ ПОТОКИ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ И РИСК ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК БЕЛАРУСИ 294
Кадацкая О.В., Санец Е.В., Овчарова Е.П.

MAN-MADE FLOWS IN THE URBAN ENVIRONMENT AND THE RISK OF CONTAMINATION OF RIVERS OF BELARUS
Kadatskaya O.V, Sanets E.V, Aucharova A.P.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СНЕГОЗАПАСОВ И СОВРЕМЕННЫЙ РЕЧНОЙ СТОК ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ 298
Китаев Л.М., Фролова Н.Л., Фатхи М.О., Ефремова Н.А.

VARIATION OF SNOW STORAGE AND MODERN RIVER FLOW OVER EAST EUROPEAN PLAIN
Kitaev L.M., Frolova N.L., Fathi M.O., N.A. Efremova

ДЕТЕРМИНИРОВАННО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СТОК С ВОДОСБОРА РЕКИ НЕВЫ 302
Кондратьев С.А., Шмакова М.В.

DETERMINISTIC AND STOCHASTIC EVALUATION OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON RUNOFF FROM THE NEVA RIVER CATCHMENT
Kondratyev S.A., Shmakova M.V.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ВОДОСБОРАХ 305
Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бибикова Т.С., Долгов С.В., Зайцева И.С.,
Кашутина Е.А., Мельник К.С., Ясинский С.В.

HYDROLOGICAL CONSEQUENCES OF ECONOMIC ACTIVITY ON CATCHMENT AREA
Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Bibikova T.S., Dolgov S.V., Zaitseva I.S.,
Kashutina E.A., Melnik K.S., Yasinsky S.V.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ
И ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ 309
Лавров С.А, Калюжный И.Л., Рошет Н.А.

PARAMETERS OF TURBULENCE CHARACTERISTIC IN OPEN CHANNEL
Kalyuzhny I.L., Lavrov S.A., Roshet N.A.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
В УСЛОВИЯХ ИХ ВРЕМЕННОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ 313
Лобанова А.Г., Гуревич Е.В., Георгиевский Д.В., Грек Е.А.,
Молчанова Т.Г., Шалашина Т.Л.

FEATURES OF BASIC HYDROLOGICAL PARAMETERS' ESTIMATION
UNDER THE CONDITIONS OF ITS TIME NONSTATIONARITY
Lobanova A.G., Gurevich E.V., Georgievskiy D.V., Grek E.A., Molchanova T.G., Shalashina T.L.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ И ОЦЕНКА ОБЪЕМА
ВЕСЕННИХ ПОЛОВОДИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
ПО ВОДОМЕРНОМУ ПОСТУ АРЕНИ РЕКИ АРПА 316
Маргарян В.Г.

DYNAMICS OF CHANGES AND EVALUATION OF VOLUME SPRING FLOODS
OF ARPA RIVER AT THE GOUGE STATION ARENI IN A CHANGING CLIMATE
Margaryan V.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
НА ВЫСОТУ ПАВОДКА 2013 ГОДА В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ АМУР 320
Махинов А.Н., Ким В.И.

ASSESSMENT OF HYDRAULIC STRUCTURES IN FLOOD HEIGHT 2013
IN DOWNSTREAM AMUR
Mahinov A.N., Kim V.I.

ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕЛЬТАХ
КАК ИНДИКАТОРЫ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЖИМА РЕК И МОРЕЙ 323
Михайлова М.В., Михайлов В.Н.

HYDROLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PROCESSES IN DELTAS AS INDICATORS
OF LONG-TERM CHANGES IN REGIME OF RIVERS AND SEAS
Mikhailova M.V., Mikhailov V.N.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА СРЕДНИХ И МАЛЫХ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ
(НА ПРИМЕРЕ ЯМБУРГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ) 327
Никонов А.И., Салтанкин В.П., Шаповалова Е.С.

ASPECTS OF HYDROLOGICAL REGIME GENERATION OF SMALL AND MEDIUM RIVERS
IN PERMAFROST ZONE (BY THE EXAMPLE OF YAMBURG FIELD)
Nikonov A.I., Saltalkin V.P., Shapovalova E.S.

АНАЛИЗ ПОДВЕРЖЕННОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМУ РИСКУ
В РЕЗУЛЬТАТЕ НАВОДНЕНИЙ РЕГИОНОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 330
Падалко Ю.А.

ANALYSIS OF EXPOSURE TO SOCIAL AND ECONOMIC RISKS FROM FLOODS
IN REGIONS OF STEPPE ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION
Padalko Yu.A.

ОПАСНЫЕ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА
В XX–XXI СТОЛЕТИЯХ НА РЕКАХ СЕВЕРНОЙ И ЦЕТРАЛЬНОЙ АЗИИ 333
Семенов В.А.

HAZARDOUS AND UNFAVORABLE HYDROLOGICAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE
IN THE 20^{th}–21^{st} CENTURIES ON RIVERS OF NORTHERN AND CENTRAL ASIA
Semyonov V.A.

АНАЛИЗ РЕГИОНАЛЬНЫХ УГРОЗ УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ 336
Сивохип Ж.Т.

REGIONAL ANALYSIS THREATS TO SUSTAINABLE WATER USE
IN TRANSBOUNDARY BASINS OF THE URAL RIVER
Sivokhip Z.T.

МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ СЕЗОННЫХ ОСАДКОВ
КАК ФАКТОР ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ РОССИИ 339
Фролов Д.М.

INTERANNUAL VARIATIONS OF SEASONAL PRECIPITATIONS AS A FACTOR OF INITIATION
OF LOW WATER LEVEL ON THE RIVERS OF RUSSIA
Frolov D.M.

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОПАСНЫХ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ
НА РЕКАХ РОССИИ 341
Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Крыленко И.Н., Сазонов А.А.

PRESENT-DAY FEATURES OF HAZARDOUS ICE PHENOMENA ON THE RUSSIAN RIVERS
Frolova N.L., Agafonova S.A., Krylenko I.N., Sazonov A.A.

ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА И СЕЗОННОГО СТОКА РЕК ЕТР
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ 345
Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Джамалов Р.Г., Рец Е.П., Телегина Е.А.

WATER REGIME AND SEASONAL FLOW CHANGES AND THEIR IMPACT
ON THE EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS
Frolova N L., Kireeva M. B., Dzhamalov R. G., Rets E. P., Telegina E.A.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ АМУРСКИХ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА
ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫДАЮЩИХСЯ ПАВОДКОВ В БАССЕЙНЕ АМУРА 349
Шалыгин А.Л.

FACTORS OF EXTREME FLOODS FORMATION ON THE AMUR RIVER BASED ON SPATIAL ANALYSIS
OF PROBABILITIES OF FEATURES OF EXTREME FLOODS IN THE AMUR BASIN
Shalygin A.L.

ПОДСЕКЦИЯ 2.2
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

SUBSECTION 2.2
GROUNDWATER RESOURCES

СУБРЕГИОНАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО СТЕПЕНИ
ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ 352
Белоусова А.П., Руденко Е. Э.

SUB-REGIONAL ZONING OF GROUNDWATER RESOURCES OF THEIR SUSTAINABILITY
AGAINST ANTHROPOGENIC LOAD IN RUSSIA
Belousova A.P., Rudenko E. E.

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОД БАЛТИЙСКОГО ЩИТА 356
Бородулина Г.С.

THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER
IN CRYSTALLINE ROCKS OF THE BALTIC SHIELD
Borodulina G.S.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ХИБИНСКОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД 360
Гудков А. В., Мазухина С.И., Иванов С. В.

GEOCHEMICAL GROUNDWATER ASSESSMENT OF THE KHIBINY MASSIF
Gudkov A.V., Mazukhina S.I., Ivanov S.V.

ФИЗИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВИРУСНОЙ ИНВАЗИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
ПРИ ДЕГРАДАЦИИ КРИОЛИТОЗОНЫ 363
Дзюба А. В.

PHISICAL AND BIOHEMICAL BACKGROUND VIRUS INVASION
OF UNDERGROUND WATER IN PERMAFROST DEGRADATION
Dzyuba A.V.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО КРИОЛИТОЭФФЕКТА 366
Дзюба А. В.

MECHANISM OF FORMATION OF CLIMATE EFFECT OF PERMAFROST
Dzyuba A.V.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ В БАЛЬНЕОТЕРАПИИ 369
Жарков Р.В.

PROSPECTS OF USE OF THERMAL WATERS OF THE KURIL ISLANDS IN A BALNEOTHERAPY
Zharkov R.V.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 372
Зекцер И.С., Каримова О.А.,Четверикова А.В.

PERSPECTIVES OF FRESH GROUNDWATER USE FOR WATER SUPPLY OF LARGE CITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION
Zektser I.S., Karimova O.A., Chetverikova A.V.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ 375
Горюхин М. В., Коган Р. М.

THE FEATURES OF CHEMICAL COMPOSITION OF JEWISH AUTONOMOUS REGION UNDERGROUND WATERS
Gorykhin M.V., Kogan R.M.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИАМУРЬЯ ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ НУЖД 380
Кулаков В. В.

USING SUBSTANDARD GROUNDWATER PRIAMURYE FOR DRINKING NEEDS
Kulakov V.V.

ОЦЕНКА РОЛИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА РЕКИ СОЗЬ (ТВЕРСКАЯ ОБЛАСТЬ) 383
Лапина Е. Е., Кудряшова В. В.

ESTIMATION OF DIFFERENT RECHARGE SOURCES ROLES IN FORMING OF RIVER SOZ RUN-OFF (TVER REGION)
Lapina E.E., Kudrajshova V.V.

ТИПОЛОГИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА С РАЗВИТОЙ НЕФТЕДОБЫЧЕЙ (НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ) 386
Стурман В.И.

TYPOLOGY OF UNDERGROUND WATERS CONTAMINATION IN CASE OF INDUSTRIAL REGION WITH DEVELOPED OIL PRODUCTION (UDMURT REPUBLIC AS EXAMPLE)
Sturman V.I.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ КРУПНОГО ВОДООТБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ ТЕРРИТОРИИ 390
Сучкова К.В.

MODERN STATE OF THE RESEARCHES OF LARGE WITHDRAWAL OF GROUNDWATER ON ADJACENT AREAS
Suchkova K.V.

СЕКЦИЯ 3
ПРОБЛЕМЫ ЛИМНОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ КРУПНЫХ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ

SECTION 3
LIMNOLOGY AND ECOLOGY OF LARGE LAKES AND RESERVOIRS

ФОРМИРОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЫГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ МНОГОФАКТОРНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 393
Белкина Н.А

FORMATION OF BOTTOM SEDIMENTS IN VYGOZERO RESERVOIR IN CONDITIONS OF MULTIFACTOR ANTHROPOGENIC IMPACT
Belkina N.A.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ Mn И Pb В ПОРОВЫХ ВОДАХ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СВЯЗИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ МАСС МОРЯ ЭТИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ 396
Брезгунов В.С.

DISTRIBUTION OF Mn AND Pb IN THE PORE WATERS OF THE CASPIAN SEA DUE TO THE POSSIBILITY OF SEA WATER MASSES SECONDARY POLLUTION BY THESE ELEMENTS
Brezgunov V.S.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКВАРИУМНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ 398
Глызина О.Ю., Суханова Л.В., Яхненко В.М., Сапожникова Ю.П., Федорова Г.А., Ицкович В.Б., Глызин Л.А.

AQUARIUM SYSTEMS FOR STUDYING LAKE BAIKAL
Glyzina O.Yu., Sukhanova L.V., Yakhnenko V.M., Sapozhnikova Yu.P., Fedorova G.A., Itskovich V.B., Glyzin L.A.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭСТУАРИЯХ КАМЧАТСКОГО КРАЯ 402
Горин С.Л., Коваль М.В.

STATE AND PERSPECTIVES OF STUDYING KAMCHATKA ESTUARIES
Gorin S.L., Koval M.V.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВЕРХНЕВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ: ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ 406
Григорьева И.Л.
MODERN WATER QUALITY OF THE UPPER VOLGA RESERVOIRS: FORMING FACTORS AND TRANSFORMATION
Grigorieva I.L.

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ОЗЕРНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ 409
Измайлова А.В., Драбкова В.Г.
WATER QUALITY PROBLEMS OF THE LAKES OF EUROPEAN PART OF RUSSIA
Izmailova A.V., Drabkova V.G.

ЗОНЫ ДЕПОНИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ 413
Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н.
TRACE METALS DEPOSITION ZONES IN WATER BODIES
Kazmiruk V.D., Kazmiruk T.N.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОЗЕР КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ 417
Козлов Д.Н., Субетто Д.А., Фирсенкова В.М.
GEOMORPHOLOGICAL AND PALEOLIMNOLOGICAL INVESTIGATIONS OF VOLCANIC LAKES OF THE KURILE ISLAND ARC: MAIN RESULTS AND FURTHER PERSPECTIVES
Kozlov D.N., Subetto D.A., Firsenkova V.M.

НАРВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН И СКОРОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАВУЧИХ ОСТРОВОВ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ИХ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩА 420
Корвет Н.Г., Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Сухачева Л.Л., Дронь О.В.
GEOMORPHOLOGICAL AND PALEOLIMNOLOGICAL INVESTIGATIONS OF VOLCANIC LAKES OF THE KURILE ISLAND ARC: MAIN RESULTS AND FURTHER PERSPECTIVES
Korvet N.G., Spiridonov M.A., Ryabchuk D.V., Sukhacheva L.L., Dron O.V.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА 423
Литвинов А.С., Голованов В.К., Законнова А.В.
FEATURES OF THE FORMATION OF HYDROLOGICAL REGIME AND ECOLOGICAL CONDITIONS IN THE RYBINSK RESERVOIR
Litvinov A.S., Golovanov V.K., Zakonnova A.V.

ДИАТОМОВЫЕ ПЛАНКТОНА И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГЛУБОКОГО ОЗЕРА: ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДЫ В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И ПРОГНОЗ НА БУДУЩЕЕ 426
Митрофанова Е.Ю., Сутченкова О.С.
DIATOMS IN PLANKTON AND BOTTOM SEDIMENTS OF DEEP LAKE: INDICATORS OF ENVIRONMENTAL CHANGE IN PAST, PRESENT AND FUTURE
Mitrofanova E.Yu., Sutchenkova O.S.

РТУТЬ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА БАЙКАЛ 430
Моршина Т.Н., Мамченко Т.Б., Вирченко Е.П., Копылова Л.П.
MERCURY IN SEDIMENTS OF LAKE BAIKAL
Morshina T.N., Mamchenko T.B., Virchenko E.P., Kopylova L.P.

МАЛЫЕ ОЗЕРА, КАК ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ В СТРУКТУРЕ ЛАНДШАФТОВ ТИХВИНСКО-ВЕПСОВСКОЙ ПРОВИНЦИИ 432
Нестерова Л. А., Малоземова О.В.
EXTREME FLOODS RUNOFF IN MOUNTAIN REGIONS OF SUBAMBIENT PERMAFROST SOILS
Nesterova L.A., Malozemova O.V.

МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ 435
Постникова П.В.
INTERANNUAL DYNAMICS OF OPTICAL CHARACTERISTICS OF THE KRASNOYARSK RESERVOIR AS AN INDICATOR OF ITS RECENT FUNCTIONING STABILITY
Postnikova P.V.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОЗЕРНО-РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ БАЙКАЛ-ХУБСУГУЛ 437
Потемкина Т.Г.
EFFECTS OF CHANGES IN THE ENVIRONMENT ON HYDROLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PROCESSES OF THE BAIKAL-HOVSGOL LAKE-RIVER SYSTEM
Potemkina T.G.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ РЕЧНЫМИ НАНОСАМИ 440
Рахуба А.В., Шмакова М.В.

MATHEMATICAL MODELING OF RESERVOIR SILTING DUE TO THE RIVER SOLID FLOW
Rakhuba A.V., Shmakova M.V.

ЗОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ОЗЁРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 443
Савченко Н. В.

ZONAL REGULARITIES OF CHEMICAL ELEMENTS MIGRATION IN THE LAKE COMPLEXES OF WESTERN SIBERIA
Savchenko N.V.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ОЗЕРА БАЙКАЛ
В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ 447
Синюкович В.Н., Курбатова Н.Н.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF LEVEL REGIME IN LAKE BAIKAL
UNDER NATURAL AND REGULATED CONDITIONS
Sinyukovich V.N., Kurbatova N.N.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ
И ГРУНТОВЫХ ВОД БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕЛИГЕР 451
Суслова С.Б., Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М.

THE MULTIANNUAL DYNAMIC OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE
AND GROUND WATERS IN THE BASIN OF THE LAKE SELIGER
Suslova S.B., Shilkrot G.S., Kuderina T.M.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОСБОРА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА
НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СЪЁМОК И ТЕСТОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ
С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА 454
Уличев В.И., Чичкова Е.Ф., Дудаков М.О.

METHODS OF ASSESSING THE ECOLOGICAL STATUS OF THE LAKE LADOGA
CATCHMENT BASING ON SATELLITE IMAGERY AND TEST OBSERVATIONS
USING UNMANNED AERIAL VEHICLE
Ulichev V.I., Chichkova E.F., Dudakov M.O.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТЕРМОГИДРОДИНАМИКИ И ЭКОСИСТЕМ КРУПНЫХ ОЗЁР 457
Филатов Н.Н., Меншуткин В.В.

CURRENT PROBLEMS OF MODELING AND EXPERIMENTAL RESEARCH
OF LARGE LAKES' THERMOHYDRODYNAMICS AND ECOSYSTEMS
Filatov N. N., Menshutkin V.V.

ИНВАЗИИ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ
ДОННЫХ СООБЩЕСТВ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА Р. ОБЬ 461
Яныгина Л.В.

MACROINVERTEBRATES INVASION AS A FACTOR OF BENTHIC COMMUNITIES
FORMATION IN LARGE RESERVOIRS OF THE OB RIVER BASIN
Yanygina L. V.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДООХРАННЫХ ЗОН
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА) 465
Ясинский С.В., Вишневская И.А., Шапоренко С.И., Бибикова Т.С.

PRESENT STATE OF PROBLEM OF WATER PROTECTION ZONES
FOR WATER BODIES (ON EXAMPLEOF UGLICH RESERVOIR)
Yasinskiy S.V., Vishnevskaya I.A., Shaporenko S.I., Bibikova T.S.

СЕКЦИЯ 4
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

SECTION 4
WATER USE AND WATER RESOURCES MANAGEMENT

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ
ГАРАНТИРОВАННОЙ ОТДАЧИ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА 469
Александровский А.Ю., Подольский М.С.

USE OF PRELIMINARY HYDROLOGICAL FORECAST FOR INCREASE
OF GUARANTEED OUTPUT OF WATER RESERVOIRS OF VOLGA-KAMA CASCADE
Aleksandrovskiy A. Yu., Podolskiy M. S.

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ
НА ПРИМЕРЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 473
Александровский А.Ю., Кочарян А.Г., Шашков С.Н., Шмырев В.М.

FORECASTING MODEL OF WATER QUALITY BY THE EXAMPLE
OF IVANKOVSKOE WATER RESERVOIR
Alexsandrovsky A.Yu., Kocharyan A.G., Shashkov S.N., Shmyrev V.M.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ
В НАЧАЛЕ **XXI** ВЕКА 477
Безруков Л.А., Гагаринова О.В., Ильичёва Е.А., Кичигина Н.В., Корытный Л.М.

ASSESSMENT OF THE STATE AND UTILIZATION OF SIBERIA'S WATER RESOURCES
IN THE EARLY 21st CENTURY
Bezrukov L.A., Gagarinova O.V., Ilyicheva E.A., Kichigina N.V., and Korytny L.M.

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ НИЖНЕЙ ВОЛГИ
НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА ПРОБЛЕМ
ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВКК ГЭС 481
Болгов М.В., Бубер А.Л., Лотов А.В.

LOWER VOLGA WATER RESOURCES MANAGEMENT BY USING INFORMATION TECHNOLOGY
FOR THE ANALYSIS OF PROBLEMS RELATED TO USERS' RELIABILITY
Bolgov M.V., Buber A.L., Lotov A.V.

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ПАРАДИГМА УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ ИРТЫШ 485
Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А.

INSTITUTIONAL PARADIGM OF STEADY WATER USE
IN THE TRANSBOUNDARY IRTYSH RIVER BASIN
Vinokurov Yu.I., Krasnoyarova B.A.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ:
ИТОГИ И УРОКИ ПАВОДКОВЫХ СИТУАЦИЙ 489
Винокуров Ю.И., Резников В.Ф., Рыбкина И.Д., Понько В.А.,
Губарев М.С., Онищенко Э.Г., Кормаков В.И.

ENSURING HYDROECOLOGICAL SAFETY IN THE REGIONS:
MANAGEMENT OF FLOOD SITUATIONS
Vinokurov Yu.I., Reznikov V.F., Rybkina I.D., Pon'ko V.A.,Gubarev M.S.,
Onishchenko E.G., Kormakov V.I.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ
КАМСКОГО БАССЕЙНОВОГО ВОДНОГО УПРАВЛЕНИЯ 493
Гагарина О.В. , Артемьева Е.А.

REGIONAL FEATURES OF WATER USE IN TERRITORY
KAMSKY BASIN OF WATER MANAGEMENT
Gagarin O.B., Artemyeva E.A.

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ АМУР 496
Горбатенко Л.В.

WATER MANAGEMENT IN TRANSBOUNDARY AMUR RIVER BASIN
Gorbatenko L.V.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В МИРЕ И В РОССИИ:
НАВОДНЕНИЯ И ЗАСУХИ. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
И ПАРАМЕТРОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ УЩЕРБОВ 499
Истомина М.Н., Добровольский С.Г.

EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS IN THE WORLD AND IN RUSSIA:
FLOODS AND DROUGHTS. QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE NATURAL CHARACTERISTICS
AND OF THE PARAMETERS OF SOCIAL AND ECONOMIC DAMAGES
Istomina M.N., Dobrovolski S.G.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВОДОХРАНИЛИЩ
ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЫР-ДАРЬИ 503
Кузенбаев К. М., Левит-Гуревич Л.К.

MODEL OF RATIONAL REGIME OF WATER RESOURCES USAGE
ON RESERVOIRS UPSTREAM OF THE RIVER SIR-DARYA
Kuzenbaev K., Levit-Gurevich L.

БАССЕЙНОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ 506
Корытный Л.М.

THE BASIN CONCEPT OF NATURAL RESOURCE MANAGEMENT
Korytny L.M.

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ 509
Рутковский П.П.

SYSTEMS OF PROTECTION AGAINST FLOODS IN THE RIVER BASIN PRIPYAT
Rutkouski P.P.

ОЦЕНКА ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ РЕГИОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 512
Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В., Магаева Л.А., Губарев М.С.,
Резников В.Ф., Курепина Н.Ю.

ASSESSMENT OF WATER AVAILABILITY IN REGIONS OF WESTERN SIBERIA
Rybkina I.D., Stoyashcheva N.V., Gubarev M.S., Reznikov V.F., Kurepina N.Yu.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА СИБИРСКИХ РЕК ВОДОХРАНИЛИЩАМИ –
ОСНОВА КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ 515
Савкин В.М., Двуреченская С.Я.

REGULATION OF SIBERIAN RIVERS' RUN-OFF BY THE RESERVOIRS
AS THE BASIS OF COMPLEX USE AND PROTECTION OF WATER RESOURCES
Savkin V.M., Dvurechenskaya S.Ya.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СИСТЕМЫ – ОПТИМАЛЬНЫЙ СПОСОБ
ПОВЫШЕНИЯ РАСПОЛАГАЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ 518
Филимонова Е.А., Штенгелов Р.С., Маслов А.А., Максимова Е.С., Балденков М.Г.

COMBINED WATER SYSTEMS AS THE OPTIMAL METHOD
TO INCREASE AVAILABLE WATER RESOURCES
Filimonova E.A., Shtengelov R. S., Maslov A.A., Maximova E.A., Baldenkov M.G.

СЕКЦИЯ 5
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

SECTION 5
HYDROLOGICAL FORECASTING

ОСОБЕННОСТИ МАЛОВОДНОГО ПЕРИОДА 1996–2014 ГОДОВ
В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОДНОСТИ 521
Бережных Т.В., Абасов Н.В., Осипчук Е.Н.

THE BAIKAL LOW-WATER PERIOD OF 1996-2014 AND LONG-TERM WATER LEVEL FORECASTING
Berejnykh T.V., Abasov N.V.

МОДЕЛЬ РУСЛОВОГО ДОБЕГАНИЯ, УЧИТЫВАЮЩАЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТЬ КРИВОЙ ОБЪЕМОВ
НА ПОДЪЕМЕ И СПАДЕ ПАВОДКОВОЙ ВОЛНЫ 525
Бураков Д.А., Карепова Е.Д., Шанько Ю.В.

THE MODEL OF THE CHANNEL LAG BASED ON VARIABILITY
OF A CAPACITY CURVE ON THE RISE AND THE RECESSION OF THE FLOOD WAVE
Burakov D.A., Karepova E.D., Shan'ko Yu.V.

АНСАМБЛЕВЫЕ СЦЕНАРИИ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА КРУПНЫХ
РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ РУССКОЙ РАВНИНЫ В ПЕРВОЙ ТРЕТИ XXI ВЕКА 530
Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Барабанова Е.А.

THE ENSEMBLE SCENARIOS PROJECTING RUNOFF CHANGES IN LARGE RIVER BASINS
OF RUSSIAN PLAIN IN THE 21st CENTURY
Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Barabanova E.A.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА: АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ПРОГНОЗ 534
Добровольский С.Г.

MULTI-YEAR CHANGES IN THE RIVER RUNOFF: ANALYSIS OF OBSERVATIONAL DATA AND FORECAST
Dobrovolski S.G.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ВЕСЕННЕГО СТОКА РЕК СЕВЕРА ЕТР
С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНОПТИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА 538
Ефремова Н.А., Жук В.А.

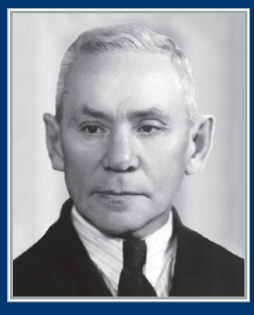
LONG-TERM FORECAST OF SPRING FLOW FOR THE RIVERS OF THE EUROPEAN NORTH
OF RUSSIA BASED ON SYNOPTIC-STATISTICAL METHOD
Efremova N.A., Zhuk V.A.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 542

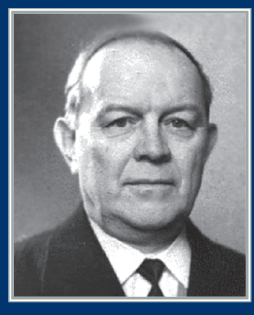
Подписано в печать 24.08.2015. Формат 60×84/8
Печать офсетная. Бум. офс. Усл. печ. л. 32,085
Тираж 200 экз. Заказ 069-15

Отпечатано в типографии
ООО "ДМ-Буквэй"
142100, г. Москва,
Рязанский проспект, д.86/1, стр.3

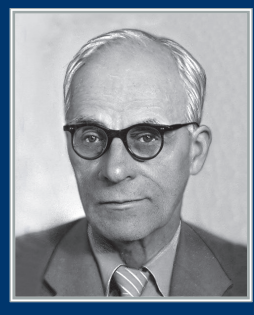
Лишь некоторые из тех, кто создал современную гидрологию, представлены на этих фотографиях. Они напомнят нам о наших учителях и старших товарищах, а молодому поколению позволят увидеть за именами из "списка литературы" лица тех, идеи которых они продолжают развивать сегодня



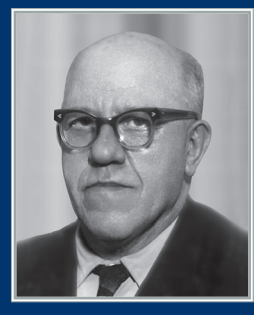
СОКОЛОВСКИЙ Д.Л.



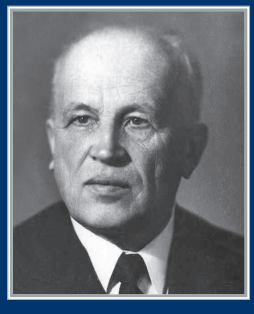
БЕФАНИ А.Н.



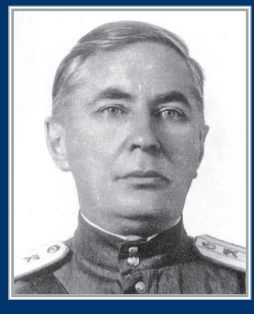
АНДРЕЯНОВ В.Г.



КУЗИН П.С.



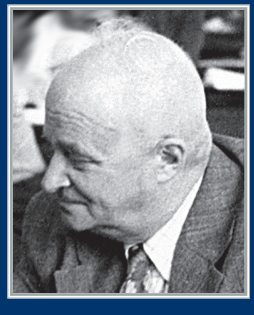
КРИЦКИЙ С.Н.



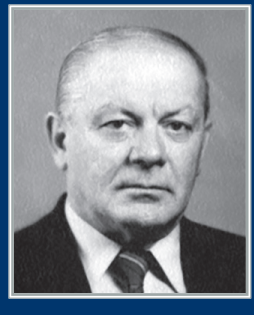
МЕНКЕЛЬ М.Ф.

БЛОХИНОВ Е.Г.

РАТКОВИЧ Д.Я.

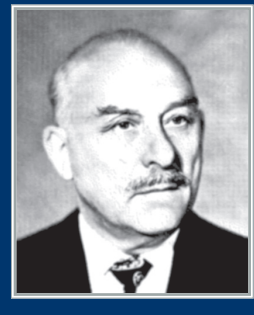


КАРТВЕЛИШВИЛИ Н.А.

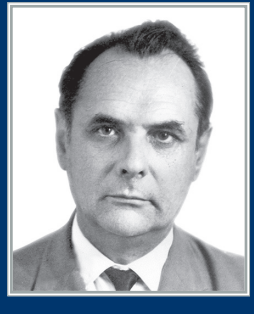


СВАНИДЗЕ Г.Г.

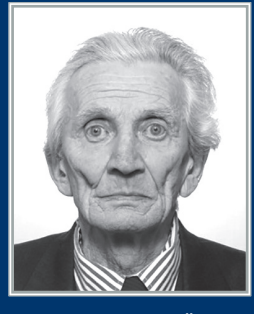
ЧЕБОТАРЕВ А.И.



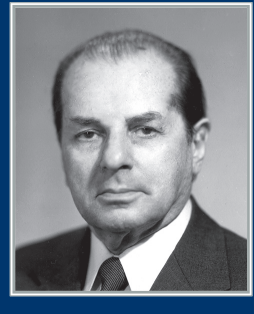
ПОПОВ Е.Г.



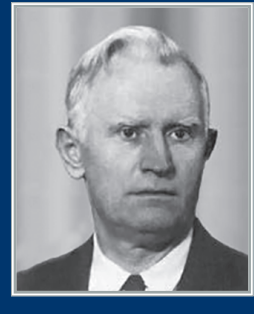
КАЛИНИН Г.П.



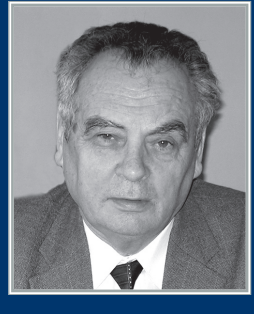
РОЖДЕСТВЕНСКИЙ А.В.



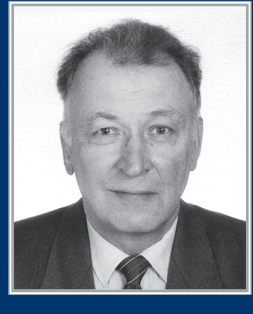
ЛЬВОВИЧ М.И.



АЛЕКСЕЕВ Г.А.



ШИКЛОМАНОВ И.А.



ВИНОГРАДОВ Ю.Б.

ВЛАДИМИРОВ А.М.