

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДЫ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



**Материалы Третьей всероссийской научной
конференции с международным участием
24 - 28 августа 2010г.**

УДК 556.01 + 556.02
ББК 26.22
Ф 94

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДЫ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ: Материалы Третьей всероссийской конференции с международным участием. Барнаул, 24-28 августа 2010 г.
– Барнаул: Изд-во АРТ, 2010.

Сборник включает материалы фундаментальных и практико-ориентированных исследований по проблеме воды и водных ресурсов, представленные на Третью всероссийскую конференцию с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов».

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области гидросферы, водопользования и геоэкологии.

Редакционная коллегия:

Васильев О.Ф., академик; Винокуров Ю.И., д.г.н.; Атавин А.А., к.т.н.; Болгов М.В., д.т.н.; Зиновьев А.Т., к.ф.-м.н.; Кириллов В.В., к.б.н.; Коробкина Е.А.; Пестова Л.В., к.с.-х.н.; Пузанов А.В., д.б.н.; Ротанова И.Н., к.г.н.

При подготовке к публикации сохранен авторский стиль изложения материалов с минимальными правками, в основном, в отношении пунктуации и орфографии. Ответственность за содержание материалов несут авторы.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 10-05-06073 - г.

ISBN 978-5-9749-0039-6

© Институт водных и экологических
проблем СО РАН
© Алтайское региональное отделение
Русского географического общества
© Коллектив авторов, 2010

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СО РАН
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ ИМ. В.Б. СОЧАВЫ СО РАН
ТОМСКИЙ ФИЛИАЛ ИНСТИТУТА НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ
И ГЕОФИЗИКИ СО РАН
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ»
АЛТАЙСКОЕ РЕГИОНАЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДЫ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ»

**Материалы Третьей всероссийской конференции
с международным участием
24-28 августа 2010 г.**

г. Барнаул – 2010

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научные мероприятия, связанные с получением нового знания в области изучения фундаментальных проблем воды и использования водных ресурсов, проводятся в Институте водных и экологических проблем СО РАН (ИВЭП СО РАН) регулярно. На базе Института в предыдущие годы был проведен ряд мероприятий по проблемам воды в рамках международных программ Ассоциации академий наук стран Азии (AASA) и Межакадемической ассоциации (IAP). В 2009 году ИВЭП СО РАН был соорганизатором проведения Научного совета РАН «Водные ресурсы суши», в заключительном документе которого была отражена необходимость проведения научного мероприятия по фундаментальным водным проблемам.

Международные конференции цикла «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» проводятся в соответствии с Планом научных мероприятий Сибирского отделения РАН и являются традиционными. Они организуются с периодичностью в 5 лет (Томск, 2000 г.; Иркутск, 2005 г.) совместно институтами СО РАН, имеющими тематику водных исследований в качестве одного из направлений научной деятельности – Институтом географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и Томским филиалом Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.

Актуальность предлагаемых к обсуждению вопросов обуславливается существующими и имеющими тенденцию роста водными проблемами. Проведение предыдущих конференций плодотворно сказалось на развитии новых направлений в изучении водных ресурсов, в том числе относящихся к фундаментальным и научно-практическим.

Необходимость решения поставленных проблем и задач в области изучения воды обусловлена не только научной актуальностью, но и большой социально-экономической значимостью. Конференция является не только дискуссионной площадкой для обсуждения научных проблем, но служит объединению и координации усилий различных исследовательских центров в изучении воды и водных ресурсов.

Научное сообщество проявляет большую заинтересованность и активность в обсуждении проблем и обмене опытом исследований по водной тематике. Создан Научный комитет конференции, в который вошли ведущие российские ученые и представители международного научного сообщества. В конференции дали согласие участвовать и прислали материалы докладов видные специалисты по различным направлениям исследований в области изучения проблем воды. Научным комитетом были одобрены следующие направления конференции:

1. Актуальные проблемы гидрологии, гидрофизики, гидрохимии, экологии и пути их решения.
2. Проблемы лимнологии и экологии крупных озер и водохранилищ.
3. Роль климатических и антропогенных факторов в формировании водного и экологического режимов речных и озерных систем.
4. Экстремальные гидрологические явления в условиях изменений климата.
5. Состав, свойства и качество природных вод.
6. Подземные воды и их использование.
7. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. Биогеохимические процессы в водосборном бассейне.
8. Бассейновый подход к управлению водными ресурсами.
9. Региональные аспекты развития водного хозяйства Сибири.

На основе них были организованы 3 секции конференции:

1. Актуальные проблемы гидрологии, гидрофизики, гидрохимии, экологии и пути их решения (Председатель академик О.Ф. Васильев).
2. Роль природных и антропогенных факторов в формировании водных ресурсов. (Председатель д.г.н. Ю.И. Винокуров).
3. Водопользование и управление водными ресурсами (Председатель д.т.н. М.В. Болгов).

Конференция носит междисциплинарный характер и охватывает разноплановые аспекты, связанные с исследованием воды и водных ресурсов. Материалы докладов, публикуемые в данном сборнике, отражают уровень современных знаний по проблемам природных вод, водных ресурсов, водопользования, мониторинга и управления в сфере водного хозяйства.

**О.Ф. Васильев
Ю.И. Винокуров**

МАСШТАБНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПОТОК-РУСЛО ПО ДЛИНЕ РЕК

Алексеевский Н.И.

МГУ, Москва, , n_alex50@mail.ru

SCALE EFFECTS OF CHANGE OF STREAM-CHANNEL SYSTEM CHARACTERISTICS IN RIVERS

Alekseevsky N.I

MSU, Moscow, n_alex50@mail.ru

Рассмотрены масштабные эффекты изменения гидрографических, осредненных гидрологических и морфодинамических характеристик системы поток-русло в различных звеньях древовидной структуры русловой сети крупных водосборов России.

Scale effects of change of hydrographic, hydrological and morphodynamics characteristics of stream-channel system in various places of tree-like structure networks of large basin of Russia are considered.

Системой поток-русло считается участок реки или ее конкретный поперечный створ, в пределах которых существует постоянное или временное взаимодействие водного потока и речных (пойменных и русловых отложений), приводящее к формированию количественного соответствия гидравлических и морфометрических характеристик водного потока и русла. В многолетнем, межгодовом и сезонном масштабах времени указанное соответствие может нарушаться на относительно короткое или длительное время. Это сопровождается изменением направленности и интенсивности русловых переформирований, сменой морфодинамических типов русла, увеличением или уменьшением объема речных отложений.

Характеристики системы поток-русло зависят от некоторой совокупности факторов. Зональные факторы определяют условия увлажнения водосборных территорий и величину составляющих речного стока, тип водного режима. В масштабах сезонной изменчивости речного стока большинство характеристик системы поток-русло – нелинейная функция изменяющихся расходов воды. Орографические факторы влияют на тип рек (горные и равнинные), морфологию долин и русел, их уклоны. При переходе от горных к равнинным рекам уменьшается их уклон, возрастает вероятность формирования рек с широкой поймой. От гидрографических факторов зависит размер (порядок N) водотоков и, следовательно, размер системы поток-русло. Тип рек, сезонное изменение фаз водного режима и размер рек влияют на гидравлические характеристики потока, вероятность формирования бурного или спокойного состояния потока, выраженность турбулентного режима течения.

Осредненные за многолетний период времени характеристики системы изменяются по длине рек в зависимости от их порядка [1]. Масштабный эффект изменения i -той характеристики системы поток-русло x_i учитывает коэффициент $K_i = x_i(N)/x_i(N-1)$. Он соответствует коэффициенту бифуркации Р.Хортона или параметру степенной функции $x_i(N) = x_i(N=1)N^{K_i}$ (фрактальной размерности). Исторически первые оценки масштабных эффектов принадлежат Р. Хортону. В настоящее время «законы Хортона» сохранили лишь академическое значение, поскольку были получены в предположении о постоянстве порядка главной реки от ее истока к устью. Развитие идей Хортона привело к формированию представлений о непрерывном изменении

порядка главной реки вследствие впадения малых, средних и крупных притоков. В зависимости от критерия выбора реки с порядком $N = 1$ получались отличающиеся оценки выраженности масштабного эффекта. Принимая в качестве реки $N_p = 1$ временные водотоки в овражно-балочной сети, Н.А. Ржаницын [4] показал, что коэффициент масштабных изменений протяженности русловой сети K_L – функция зональных факторов. Для степных, лесных и заболоченных водосборов центра европейской части России коэффициент K_L соответственно равен 1,83; 1,41 и 1,26. При этом площади водосборов нарастают в соответствии с величиной $K_F = 3$, независимо от природных условий. В предположении, что реки $N_q = 1$ – постоянные водотоки с длиной 10–15 км, Е.А. Черных [5] установила, что в разных частях бассейна Камы $K_L = 1,4 \div 1,9$. В рамках системы кодирования рек, предложенной А. Шайдеггером (река $N_{ш} = 1$ – водоток длиной менее 10 км, $N_{ш} = 1 + \log_2 S$, где S – число таких водотоков в бассейне главной реки выше расчетного створа). Увеличение порядка реки от $N_{ш}$ к $N_{ш+1}$ приводит к увеличению количества водотоков в среднем в 1,6 раза, а их протяженности – в 1,3 раза. По данным А.Г. Косицкого [2], величина K_L зависит от густоты речной сети ξ . Чем больше эта гидрографическая характеристика, тем меньше выражено масштабное изменение длины рек при увеличении $N_{ш}$. Закономерное уменьшение K_L описывает уравнение $K_L = 1,41 - 0,18 \xi$. При этом площадь водосборов рек увеличивается в соответствии с величиной $K_F = 2$, а продольные уклоны естественных водотоков – уменьшаются, поскольку $K_I = 0,7$. По данным Е.А. Черных [4], в разных районах бассейна Камы величина K_I изменяется от 0,37 до 0,65 (при изменении N_q в пределах от 2 до 15).

Н.А. Ржаницын [3] первым обнаружил закономерное увеличение средних многолетних расходов воды при возрастании размера рек N_p . Несмотря на различия условий формирования среднего многолетнего стока степных, лесных и заболоченных водосборов центра России, оказалось, что величина $K_Q = 2,83$. Увеличение максимальных расходов воды происходит медленнее, поскольку $K_{Qmx} = 2,24$. Наши исследования показывают, что увеличение порядка изученных рек с $N_{ш}$ до $N_{ш+1}$ сопровождается возрастанием нормы стока воды Q в 2 раза [1]. Это обусловлено аналогичным изменением площадей водосборов и зональным «постоянством» модуля стока воды. Для максимальных и минимальных расходов воды средняя величина коэффициентов масштабных изменений (K_{Qmx} и K_{Qmn}) соответственно равна 1,8 и 2,3. Они испытывают значительную пространственную изменчивость, которая обусловлена редуционными свойствами речных бассейнов. Наименьшие масштабные изменения максимальных расходов воды наблюдаются на реках лесной и лесостепной зон ($K_{Qmx} = 1,7$). В большей степени возрастают максимальные расходы воды рек в зоне тайги ($K_{Qmx} = 1,8 \div 1,9$). Наоборот, минимальные расходы воды рек этой природной зоны испытывают менее выраженное масштабное изменение по сравнению с реками степных регионов. Данная закономерность контролируется пространственным изменением величины редуционных коэффициентов стока. Уменьшение модуля стока при увеличении размера реки выражено тем меньше, чем больше густота речной сети.

По длине рек происходят закономерные изменения среднего многолетнего расхода взвешенных наносов R_0 . В разных природных условиях коэффициент K_R колеблется в пределах от 1,8 до 2,3 (в среднем равен 2,1). Территориальная изменчивость K_R контролируется соответствующим изменением модуля стока воды и ее мутности. По данным А.Г. Косицкого, связь между величиной K_R и модулем стока M_Q ($M_Q > 3$ л/с·км²) имеет вид $K_R = 0,068 M_Q + 1,64$. Увеличение среднего многолетнего расхода влекомых наносов G_0 вдоль речных систем выражено слабее по сравнению с изменением R . Величина коэффициента K_G колеблется в пределах $1,2 \div 1,6$ (средняя величина равна 1,4). Неравенство $K_G < K_R$ обусловлено уменьшением доли влекомых и увеличением доли взвешенных наносов в суммарном их стоке при возрастании размера реки.

Подобие рек существует не только в отношении гидрографических и гидрологических характеристик системы поток-русло. Оно в полной мере относится и к морфометрическим

характеристикам [4]. При увеличении порядка реки $N_{ш}$ коэффициент K_B изменяется от 1,3 (бассейн Колымы) до 1,6 (бассейн Печоры) [1]. При увеличении $N_{ш}$ от 6 до 14 ширина речных русел в бассейне Дона возрастает с 13,8 до 240 м ($K_B = 1,4$). Большая изменчивость средней скорости течения v_0 и глубины потока h_0 по длине рек в значительной мере обусловлена морфологией участка реки. Поэтому закономерное изменение характерно лишь для произведения $v_0 h_0$. Поскольку коэффициент масштабных изменений средних многолетних расходов воды $K_Q = 2$, а средней ширины русла $K_B = 1,4$ (или $\sqrt{2}$), то коэффициент масштабного изменения произведения $v_0 h_0$ также равен $\sqrt{2}$ (в соответствии с уравнением неразрывности). Поэтому (при $N_{ш} = \text{const}$) существует согласованное изменение скорости и глубины потока. В плесовых ложинах скорости потока относительно малы по сравнению с перекатами, а глубины, наоборот, меньше на перекатах и больше в плесах.

Высота разных типов гряд, представленных в структуре руслового рельефа на перекатах и находящихся в динамическом соответствии с гидродинамической структурой водного потока, пропорциональна N_q^2 , а их длина возрастает в 3,5÷4,6 раз (в зависимости от типа гряд) при увеличении N_q на единицу. Тип гряд влияет и на масштабные изменения скорости их смещения. Закономерности эволюции элементов иерархии гряд в период половодья обуславливают синхронное снижение скорости одних (смываемых) типов гряд ($K_{cd} = 0,28 \div 0,38$) и возрастание скорости других (активно смещающихся) типов гряд ($K_{ca} = 4,6 \div 5,4$). В межень эта эволюция характерна только для микроформ руслового рельефа. Их скорость смещения обратно пропорциональна порядку реки N_q , а коэффициент ее масштабного $K_{cd} = 0,5$. Эта закономерность соответствует известной в теории руслового процесса качественной формуле К.В. Гришанина: «в крупных реках гряды перемещаются медленнее».

В зависимости от порядков рек находятся параметры излучин. Исследования О.М. Пахомовой [3] в бассейне р. Белая показали, что шаг и длина излучин, стрела прогиба и радиуса их кривизны закономерно изменяются при увеличении размера реки $N_{ш}$. Для малых и средних рек характерно, что увеличение размера реки с $N_{ш}$ до $N_{ш} + 1$ сопровождается увеличением этих параметров соответственно на 29; 30; 25 и 24%. Одновременно изменяется (возрастает) объем русловых и пойменных отложений. Эта закономерность вполне ожидаема, поскольку мощность русловых и пойменных отложений линейно увеличивается с возрастанием средних многолетних расходов воды.

Таким образом, масштабные эффекты – особое свойство русловых систем водосборных территорий к трансформации стока и характеристик системы поток-русло. Они прослеживаются в их закономерном изменении при увеличении размера (порядка) рек. Коэффициент масштабных изменений зависит от типа характеристик системы поток-русло, вида речного стока. Чаще всего величина $K_i > 1$, а в общем случае $0 < K_i \leq 7$.

Литература

1. Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А. Г. Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории//География, общество и окружающая среда. Т. VI: Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы. М.: Издательский Дом «Городец», 2004. С.345–374.
2. Косицкий А.Г. Особенности формирования речного стока в разных природных условиях // Вестник МГУ, Сер. 5 География, 1999, №1.
3. Пахомова О. М. Горизонтальные русловые деформации и их связь с порядковой структурной речной сети//Геоморфология. 2002. № 4.
4. Ржаницын Н. А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 238 с.
5. Черных Е.А., Опыт применения гидроморфометрического подхода для изучения рек бассейна Камы //Гидрология и метеорология, вып. 7, Пермь, 1974.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ БУХТАРМИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Баженова О.П., Куликов Е.В., Куликова Е.В.,
ФГОУ ВПО ОмГАУ, г. Омск, olga52@bk.ru.

Республика Казахстан,

г. Усть-Каменогорск, Алтайский филиал КазНИИРХ, fishedu@mail.ru

CURRENT STATE OF THE ECOSYSTEM OF THE BUKHTARMA'S RESERVOIR

Bazhenova O.P., Kulikov E.V., Kulikova E.V.

Рассмотрено современное состояние экосистемы Бухтарминского водохранилища – первого и крупнейшего из каскада на верхнем Иртыше (Республика Казахстан). Охарактеризованы гидрологический и гидрохимический режимы, состояние основных биоценозов. Дана общая оценка многолетних изменений экосистемы.

In the article the current state of the ecosystem of the Bukhtarma's reservoir – the first and the largest of the cascade on the upper Irtysh (Republic Kazakhstan) has been observed. Hydrological and hydrochemical modes, a state of the basic biocenoses are characterised. The basic estimation of the ecosystems longstanding changes is given.

Создание в 1960 г. Бухтарминского водохранилища – первого и наиболее значительного в каскаде Верхне-Иртышского бассейна (Республика Казахстан), повлекло за собой значительные и необратимые изменения не только в исходных водоемах и водотоках, но и в экосистеме Иртыша в целом. Водохранилище осуществляет многолетнее регулирование стока реки Иртыш, средне-многолетний коэффициент обмена воды составляет 0,35. Параметры водоема при максимальном наполнении ставят его в один ряд с крупнейшими водохранилищами мира: в СССР оно было третьим по величине объема воды при НПП.

Гидрологический режим водохранилища в целом удовлетворяет развитию водных биоценозов. Однако, размах многолетних колебаний уровня в оз. Зайсан не превышал 2–3 м, а в водохранилище амплитуда колебаний уровня составляет 7 м, что крайне отрицательно сказывается на функционировании экосистемы. Начиная с 2008 г., водохранилище находится в условиях пониженной естественной водности.

Гидрохимический режим водохранилища в целом благоприятен для обитающих в нем организмов. По уровню перманганатной окисляемости, БПК₅, содержанию нитратов и нитритов в большинстве частей водохранилища вода является «чистой». В озерной части отмечен высокий уровень загрязнения аммонийным азотом – до гиперсапробного уровня, а также высокое содержание фосфатов – до α -мезосапробного уровня. Водоем подвержен интенсивному загрязнению тяжелыми металлами. В озерной части в последние годы отмечалось увеличение содержания меди и цинка, поступающих с водами Черного Иртыша. В горную часть водохранилища также регулярно поступают стоки предприятий цветной металлургии, содержащие тяжелые металлы. Здесь были зафиксированы превышения содержания меди до 5,6 ПДК_{рх} и цинка до 1,4 ПДК_{рх}. В горно-долинной части также отмечено повышенное содержание меди (до 5,9 ПДК_{рх}), что, вероятно, связано с вторичным загрязнением за счет миграции нерастворимых форм металла из донных отложений [3].

Фитопланктон водохранилища богат и разнообразен. По показателям структуры и обилия фитопланктона в конце 70-х – начале 80-х годов XX века в водохранилище были установлены признаки начинающегося эвтрофирования. В дальнейшем этот процесс прогрессировал, что стимулировалось как недостатками в регулировании объема водохранилища, так и природными причинами – длительной засухой в бассейне Иртыша [1].

В 2002–2004 гг. в составе фитопланктона впервые обнаружены эвгленовые и криптофитовые водоросли, их активное вхождение указывает на загрязнение водоема, особенно озерной части, органическими веществами.

Согласно [2] вода в Бухтарминском водохранилище относится к классу удовлетворительной чистоты, а по величине индекса сапробности – к β -мезосапробной зоне. По многолетней динамике состава видов-индикаторов прослеживается тенденция возрастания сапробного состояния водоема. Выявленные в фитопланктоценозе Бухтарминского водохранилища изменения характерны для состояния антропогенного экологического напряжения [3].

Исходным биофондом формирования зоопланктона в Бухтарминском водохранилище являлись представители озерной и речной фауны, обитавшие в Зайсане, Иртыше, его притоках и пойменных водоемах. В первые годы существования водохранилища видовой состав зоопланктона был весьма разнообразным (267 видов и вариаций). В последующие годы богатство зоопланктона постепенно уменьшалось и сейчас составляет около 73 таксонов. Впервые в водохранилище найдены *Moina micrura*, *Acanthodiaptomus denti-cornis*, *Acanthocyclops americanus*, а также два вида диафаносом – *D. lacustris* и *D. mongolianum*.

Количественные показатели развития зоопланктона варьируют в значительных пределах по годам, сезонам и частям водохранилища. В озерной части численность зоопланктона соответствует уровню средней продуктивности и β -мезотрофному типу водоема. Глубоководные части водохранилища относятся к β -олиготрофному типу с низким уровнем продуктивности.

В 2005 г. водохранилище в целом по запасам зоопланктона относилось к β -олиготрофному типу водоема. Кормовые запасы зоопланктона в течение 2004–2005 гг. рыбами-планктофагами использовались на уровне умеренного выедания. Зоопланктон в Бухтарминском водохранилище служит пищей для молоди всех видов рыб, в том числе леща и рипуса. В настоящее время запасы зоопланктона не только в полной мере удовлетворяют пищевые потребности рыб, но и создают значительный резерв для повышения рыбопродуктивности Бухтарминского водохранилища [3].

Макрозообентос водохранилища формировался за счет донного населения исходных водоемов и акклиматизированных беспозвоночных. Для повышения рыбопродуктивности водоема в него было интродуцировано 10 видов беспозвоночных животных, из которых натурализовались понтокаспийские мизиды, ледниковоморская мизида, байкальские соровые гаммариды, рачок Палласа. Вселение кормовых беспозвоночных не нанесло ущерба аборигенной бентофауне и повысило биопроductивность водохранилища. Вместе с запланированными вселенцами в водохранилище попали и успешно прижились три вида моллюсков – *Viviparus viviparus*, *Unio pictorum* и *Lithoglyphus naticoides* и байкальский гаммарус *Micrurus kluki*. В 2000 г. в водохранилище впервые был обнаружен речной рак, а в 2008 г. – китайский мохнаторукий краб *glocheir sinensis* [3].

Ихтиофауна водохранилища представлена 20 видами, из них 14 являются аборигенами и 6 – акклиматизантами. В состав ихтиофауны входят как хозяйственно-ценные промысловые виды рыб, так и непромысловые, из редких видов встречается таймень. Сибирский осетр, нельма и стерлядь, ранее обитавшие в исходных водоемах, сейчас в Бухтарминском водохранилище не встречаются.

В первые годы существования водохранилища в него были вселены лещ, рипус, судак, байкальский омуль, пелядь, балхашская маринка, радужная форель, белый амур, белый и пестрый

толстолобики, буффало. Водохранилище превратилось в «испытательный полигон» для акклиматизации различных видов рыб, которая велась без учета специфики водоема и экологических потребностей акклиматизанта. Большая часть вселенцев не прижилась, окончательно натурализовались только лещ, судак и рипус. В уловах рыб доминируют лещ (75–80 % общего улова) и судак (10–15%).

Вселение леща и судака имело и отрицательные последствия для рыбного хозяйства Бухтарминского водохранилища:

- в результате доминирования леща снизилась численность его конкурентов в питании (сазан, линь);
- после вселения судака снизилась численность щуки;
- высокая плотность популяций леща и судака привела к истощению кормовой базы и вспышкам заболеваемости этих видов.

Динамика ихтиофауны Бухтарминского водохранилища в период 1995–2005 гг. имела следующие особенности:

- возрастание доли младшевозрастных особей в популяции леща;
- стабилизация темпа роста леща на низком уровне;
- омоложение стада судака вследствие интенсивного вылова;
- относительное постоянство структурных и биологических показателей популяций плотвы и окуня при стабильно высоком пополнении;
- стабилизация численности рипуса и снижение темпа роста;
- резкое снижение численности сазана, щуки, судака в результате целенаправленного вылова.

Поскольку реки Верхне-Иртышского бассейна являются резерватом аборигенной ихтиофауны, в том числе редких и ценных видов рыб, акклиматизацию новых видов и рыбный промысел в них необходимо запретить.

В настоящее время, в условиях снижения в водохранилище запасов леща, увеличились шансы на повышение промвозврата от зарыбления сазаномкарпом, а также на успешную реакклиматизацию в озерную часть водохранилища осетровых рыб.

Сложившаяся ситуация и состояние популяций промысловых видов рыб в водохранилище позволяет рекомендовать следующие мероприятия:

- реакклиматизацию сибирского осетра и стерляди в озерную часть;
- зарыбление озерной и озерно-речной частей двухлетками карпа (сазана) и белого амура;
- зарыбление всей акватории водохранилища молодь судака.

Рекомендуемая схема акклиматизационных работ и зарыбления Бухтарминского водохранилища будет способствовать не только повышению его рыбопродуктивности, но и сохранению и восстановлению биоразнообразия.

В целом, направление сукцессий биоценозов Бухтарминского водохранилища имеет негативный характер. Дальнейшее направление сукцессии первичного трофического звена экосистемы – фитопланктона будет определяться, главным образом, водным режимом. Удержание высокого уровня наполнения водоема вызовет развитие высшей водной растительности по берегам и мелководьям, что приведет к связыванию значительной части биогенных элементов и усилению в водохранилище детритных пищевых цепей. В таком случае фитопланктонное сообщество придет к более устойчивому состоянию и «вспышки» его развития вряд ли будут возможными, особенно в глубоководных нижних частях водохранилища. Резкие колебания уровня воды могут привести к формированию преимущественно пастбищных пищевых цепей, в этом случае «цветение» воды станет обычным явлением.

Состояние последующих звеньев пищевой цепи – зоопланктона и зообентоса – пока удовлетворяет потребности рыб, но видовое богатство зоопланктона постепенно снижается, а в соста-

ве зообентоса возрастает роль крупных моллюсков, не потребляемых рыбами. Настораживает вхождение в состав макрозообентоса водохранилища незапланированных вселенцев, в том числе таких экзотических, как мохнаторукий краб.

В уловах рыбы преобладают акклиматизированные виды, но их популяции подвержены различным негативным процессам, поэтому поддержание рыбопродуктивности водохранилища на высоком уровне требует определенных рыбоводных и акклиматизационных работ.

Литература

1. Баженова О.П. Фитопланктон Верхнего и Среднего Иртыша в условиях зарегулированного стока. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. 248 с.
2. Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши / О.П. Окснюк и др. // Гидробиол. журнал. 1993. Т.29. № 4. С. 62–76.
3. Сукцессии биоценозов Бухтарминского водохранилища / О.П. Баженова и др. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. 244 с.

TURBULENCE AT HIGH REYNOLDS NUMBERS AND THE HYDRO-THERMO-DYNAMICS OF NATURAL AND MAN-MADE SURFACE WATERS.

Baumert. H. Z.

IAMARIS e.V., Hamburg, baumert@iamaris.org

Abstract. A novel theory of shear-generated turbulence at asymptotically high Reynolds numbers is presented, based on an ensemble of dipole vortex tubes taken as quasi-particles. They perform dipole chaos. Collisions lead either to particle annihilation (turbulent dissipation) or to particle scattering (turbulent diffusion). The new approach has been applied to various natural and man-made water bodies and compared extensively with observations. This is demonstrated by a number of examples.

1 THEORY OF HIGH-REYNOLDS NUMBER TURBULENCE

We developed a new picture of high-Re turbulence which is based on the ensemble statistics of elementary solutions of the Euler equation, i.e. on elementary dipole-vortex solutions rather than on Friedman-Keller expansions of the Navier-Stokes equations. Figure 1 sketches such an ensemble. Collisions between locally two-dimensional vortex dipoles may lead either to particle annihilation (turbulent dissipation) or to particle scattering (turbulent diffusion). In a one-dimensional approximation and for a reference system moving with the mean flow we get the following [1, 3]:

$$(1) \quad \frac{\partial K}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(n \frac{\partial K}{\partial x_i} \right) = n (S^2 - 2N^2 - \Omega^2),$$

$$(2) \quad \frac{\partial \Omega}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(n \frac{\partial \Omega}{\partial x_i} \right) = k^2 (S^2 - 2\Omega^2),$$

$$(3) \quad n = K / p \Omega, \quad e = K \Omega / p.$$

Here K is turbulent kinetic energy, $\varepsilon \varepsilon$ the dissipation rate and Ω is the r.m.s. vorticity. This theory contains not a single empirical parameter. As long as externally generated internal waves (tides, wind, inertia etc.) can be neglected, the above theory predicts the following properties:

$$(4) \text{ Karman constant: } k = 1 / \sqrt{2p} \approx 0.399$$

(5) Kolmogorov wavenumber spectral constant:

$$E(k) = \alpha \varepsilon^{2/3} k^{-5/3} \quad E(k) = \alpha \varepsilon^{2/3} k^{-5/3}, \quad \alpha = \frac{1}{3} (4\pi)^{2/3} \approx 1.802$$

(6) Kolmogorov frequency spectral constant:

$$E(\omega) = \beta \varepsilon \omega^{-2} \quad E(\omega) = \beta \varepsilon \omega^{-2}, \quad \beta = 2, \beta = 2.$$

(7) Monin-Obukhov similarity layer:

$$\Phi_M = \Phi_H = 1 + 4 z / L_{MO} \quad \Phi_M = \Phi_H = 1 + 4 z / L_{MO},$$

(8) Turbulent Prandtl number function:

$$\sigma = \frac{1/2}{1 - (\tau/T)^2} = \frac{1/2}{1 - 2Rg} \quad \sigma = \frac{1/2}{1 - (\tau/T)^2} = \frac{1/2}{1 - 2Rg} ,$$

wherein L_η are the Monin-Obukhov length scale, Rg the gradient Richardson number, k the wave number, ω the angular frequency and z is the distance from a wall (or bottom).

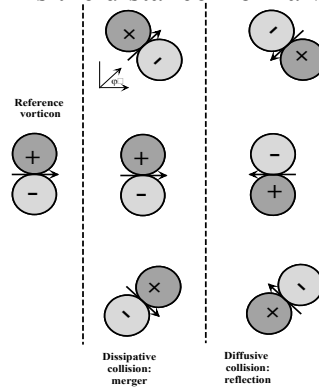


Figure 1: Vortex dipoles as the fundamental quasi-particles of our new image of high- Re turbulence, in locally two-dimensional presentation with propagation directions and collision angles.

2 APPLICATIONS TO NATURAL AND MAN-MADE SURFACE WATERS

The above model and versions modified to account for various practical aspects have been applied to large and smaller lakes, freshwater reservoirs, gravel pits, shallow seas and estuaries, for example to Lake Epple in Baden-Württemberg, Loch Lomond in Scotland, Lake Constance (Austria, Germany, Switzerland), to the reservoirs Saidenbach, Bautzen, Klingenberg and Lehmühle in Saxonia, to the North Sea, Lake Kinneret in Israel, the heavily impounded River Saar (Germany), the Hudson River (USA) and Elbe River estuaries (Germany).

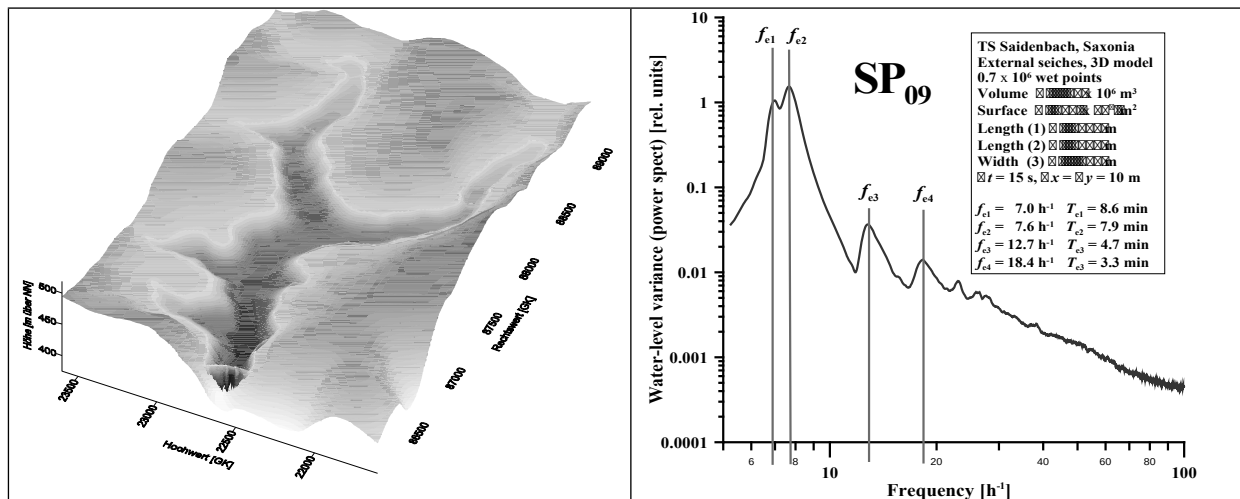


Figure 2. Left: Bathymetry of Saidenbach reservoir, Saxonia (Erzgebirge). Right: Power spectrum of water-level fluctuations due to (simulated) wind-generated internal-seiche oscillations.

Our applied work was mainly driven by an interest in the long-term behavior (simulated real-time periods from 30 years up to centuries) of the water bodies under consideration in reaction to land-use and climatic changes. These long simulation times exclude three-dimensional studies due to the compu-

tational efforts. On the other hand, one-dimensional simulations of heat (as an indicator of water quality parameters like oxygen concentration) and other scalars on the vertical suffer from a neglect of the major role played by seiches in closed basins like lakes and reservoirs. Here an intelligent methodical mixture of full 3D short-term hydrodynamic and of 1D long-term hydro-thermodynamic computations were the method of choice. Figure 2 exhibits such a case where we used a high-resolution 3D code to simulate internal oscillations in a complex basin to estimate the fundamental seiche periods (longitudinal and transversal modes). The latter were then integrated into the 1D code in form of effective basin lengths where the basin is taken as an elliptic water body with major axes L_x and L_y .

Another important applied question is the behavior of freshwater reservoirs during a longer draining period of 5 to 10 years, for example, with the aim of a reconstruction of the dam and later slow refill of the reservoir. Many German reservoirs have been built about 100 years ago such that the reconstruction of their dams becomes a practical issue.

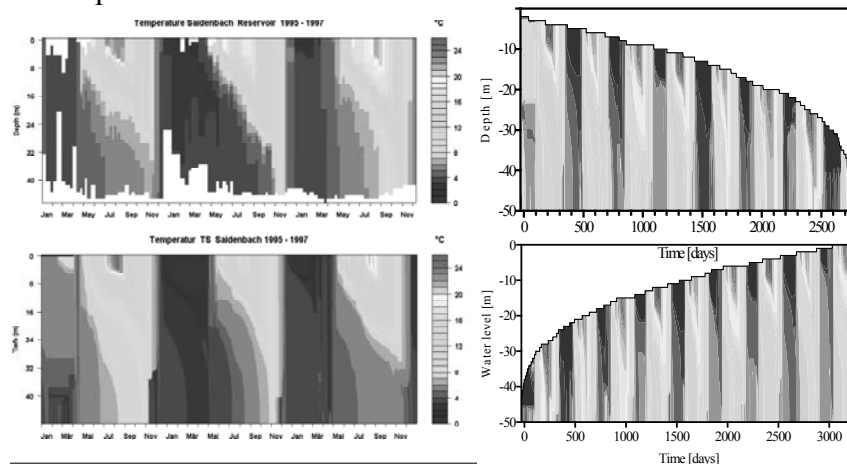


Figure 3. Upper left: Observed temperature distribution of Saidenbach reservoir, Saxonia, over a test period of 3 years. Lower left: Simulated temperature distribution for the same period. Upper right: Simulated 9-years draining period. Lower right: Simulated 9-years refill.

Acknowledgements

The author thanks his colleagues Jürgen Benndorf, Kurt Duwe, Eckhard Kleine, Lothar Paul, Hartmut Peters, Thomas Petzoldt, Hannes Post and Jürgen Sündermann for fruitful cooperation and support. He is thankful for the initiation of the above studies about 25 years ago by Oleg Fedorovich Vasiliev, by the Kvons, and by Sergey Dumnov.

References

- [1] Baumert, H. Z., Simpson, J. and J. Sündermann (2005): Marine Turbulence – Theories, Observations and Models, *Cambridge University Press*, 630 pp.
- [2] Baumert, H. Z., Duwe, K., Goldmann, D., Nöhren, I. and L. Paul (2005): Modelling hydrophysical processes in freshwater reservoirs (in German). *WasserWirtschaft*, No. 5, p. 45 – 49
- [3] Baumert, H. Z. (2009): Primitive turbulence: kinetics, Prandtl's mixing length, and von Karman's constant. <http://arxiv.org/abs/0907.0223>
- [4] Peters, H and H. Z. Baumert (2007): Validating a Turbulence closure against Estuarine microstructure measurements. *Ocean Modelling* (Elsevier) 19, 3/4, 183 – 203, doi:10.1016/j.ocemod.2007.07.002
- [5] Vasiliev, O. F. (1978) – Three-dimensional numerical models for hydrothermal analysis of water bodies. In: Zaric, Z. P. (ed.) – Thermal effluent disposal from power generation. Hemisphere Publ. Corp., New York, 115 – 132
- [6] Vasiliev, O. F., V. I. Kvon and D. V. Kvon (1999) – Mathematical modeling of thermal bar in Lake Teletskoye. *Proc. 28th IAHR Congress*, Theme D, Graz (Austria) 1999, 6 pp.

О САМООЧИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОД РЕКИ СЕЛЕНГИ

Башенхаева Н. В.

Лимнологический институт СО РАН, г.Иркутск, nvb@lin.irk.ru

О САМООЧИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОД РЕКИ СЕЛЕНГИ

Bashenkhaeva N. V.

Limnological Institut SB RAS, Irkutsk, nvb@lin.irk.ru

На основе данных полевых наблюдений рассчитаны запас легкоокисляемого органического вещества в водах р. Селенги и время полного их самоочищения на разных участках реки. Выявлена сезонная динамика этих параметров на станциях, находящихся в зоне интенсивного антропогенного влияния (от г. Улан-Удэ до п. Мурзино).

Based on the data of field observations a reserve of easily oxidized organic matter in the Selenga River waters and time of their complete self-purification were calculated for the different parts of the river. Seasonal dynamics of these parameters was revealed at the stations located in the zone of intensive anthropogenic impact (from the city of Ulan-Ude to Murzino village).

Самоочищение природных вод это естественный природный процесс, направленный на восстановление первоначальных свойств и состава воды. Он обусловлен многими факторами, к числу которых относятся как физические (солнечная радиация, гидрологический режим), так и биологические (деятельность микроорганизмов и водной растительности). Для рек скорость самоочищения, в первую очередь, определяют гидрологические факторы - скорость течения, температура и объем воды. При этом процессы деструкции органического вещества (ОВ) различной природы осуществляются за счет деятельности всего сообщества гидробионтов (микроорганизмы, зообентос, простейшие). В холодноводных и быстротекущих реках решающую роль в процессах деструкции ОВ различной природы играет бактериопланктон [1,2].

Натурные наблюдения с целью изучения самоочищающей способности реки Селенги, крупнейшего притока Байкала, были поставлены в 1986-1987, 1990 гг. Исследовали интенсивность деструкции органического вещества (БПК_т), биохимическое потребление кислорода за 30 суток (БПК₃₀), концентрацию общего органического вещества (ХПК, мгО/л). Изучали сезонную динамику этих показателей на 150 км участке реки от г. Улан-Удэ до п. Мурзино, а также их изменения на всем протяжении реки от г. Наушки до с. Мурзино. По результатам эксперимента были рассчитаны запасы легкоусвояемого органического вещества (ЛОВ) и скорость его оборота на разных участках реки. Время полного самоочищения определяли как время (Т), необходимое для полной деструкции запаса (S) легкоусвояемого органического вещества в воде. Запас определяли по величине БПК₃₀ с учетом расхода части потребленного ОВ бактериями на их собственный биосинтез: $S = \text{БПК}_{30} / (1 - K) = \text{БПК}_{30} * 1,33 \text{ мгО/л}$, где K - коэффициент эффективности использования потребленного бактериопланктоном ОВ на рост, который равен 0,25 [1]. Время полного самоочищения в сутках вычисляли как отношение запаса ЛОВ к величине суточной деструкции (БПК_т): $T = S / \text{БПК}_t$.

У п. Наушки в летний период была определена самая низкая интенсивность суточной деструкции и величина запаса ЛОВ, время полного самоочищения равнялось 18 сут. и было самым высоким в этот период исследования (табл.). Несмотря на большую скорость течения, в воде реки сформировался активный комплекс микроорганизмов, что заметно по возрастанию интенсивности суточной деструкции ниже по течению. На станции выше впадения р. Джиды она уве-

Содержание общего и лабильного органического вещества, интенсивность суточной деструкции и время полного самоочищения воды р. Селенги

Станция	БПК ₁ , мгО/л	БПК ₃₀ , мгО/л	Запас ЛОВ, мгО/л	Время самоочищения, (Т), сутки	Общее ОВ (ХПК), мгО/л
г.Наушки	0,19	2,49	3,32	18	9,7
Выше устья р.Джида	0,67	2,8	3,73	6	20,4
Устье р.Джида	0,27	3,27	4,36	16	15,7
Выше устья р. Темник	0,35	2,94	3,92	11	18,8
Протока Баян-Гол	0,29	2,74	3,65	13	14,1
Выше устья р. Чикой	0,45	4,65	6,20	14	17,3
Устье р. Чикой	0,64	2,76	3,68	6	16,8
Выше г. Улан-Удэ	0,48	3,15	4,2	9	12,5
Ниже г. Улан-Удэ	0,69	3,68	4,9	7	16,2
Выше СЦКК	0,64	3,86	5,15	8	11,8
Ниже СЦКК	0,56	3,36	4,48	8	11,6
г.Кабанск	0,43	3,13	4,17	10	11,8
п.Мурзино	0,61	3,38	4,51	7	11,4

СЦКК- Селенгинский целлюлозо-картонный комбинат

личилась более чем в 3 раза (0,67 мгО/л), увеличился и запас ЛОВ. Время полного самоочищения сократилось до 6 сут. В воде р. Джиды, притока Селенги, интенсивность деструкционных процессов почти в 3 раза ниже, чем в селенгинской, а время самоочищения составляет 16 сут. Поэтому ниже впадения р. Джиды, в воде р. Селенги заметно изменение всех параметров: концентрация ОВ и интенсивность деструкции уменьшились, а время полного самоочищения увеличилось. На станции выше устья р. Чикой интенсивность самоочищения возрастает, но время полного самоочищения еще высокое (14 сут.).

В устье р. Чикой, сток которой в среднем составляет 35% стока Селенги, при невысокой концентрации ЛОВ интенсивность деструкции высока (характерная для эвтрофного водоема), в связи с чем, время полного самоочищения составило 6 сут. В воде р. Селенги на станции ниже впадения р. Чикой, в результате разбавления водами последней, время полного самоочищения, снижается до 9 сут (табл.). И далее, до п. Мурзино интенсивность деструкционных процессов остается высокой, а время оборота ЛОВ колеблется от 7 до 10 сут. Интенсивность деструкционных процессов на участке реки от г. Улан-Удэ до п. Мурзино повысилась в результате снижения скорости течения воды и наличия благоприятных условий для развития гидробионтов. В 1986-1987 гг. высокая биомасса фитопланктона в Селенге отмечалась уже в мае – 1200 мг/м³, в июле она достигала 3200 мг/м³, а в августе - 4500 мг/м³. Максимальная численность фитопланктона в эти годы составляла 28 млн.кл./л, его наибольшая численность отмечена на нижнем участке реки, на створах Кабанск и Мурзино, где создаются наиболее благоприятные условия для самоочищения [3]. Концентрация ЛОВ в воде Селенги изменялась в пределах 3,32-6,02 мгО/л, составляя 18-33% в общем содержании ОВ (табл.).

Сезонные наблюдения проводились на станциях, находящихся в зоне интенсивного антропогенного влияния (от г. Улан-Удэ до п. Мурзино) (рис.). В открытый период время самоочищения на этом участке реки незначительно колеблется, составляя в среднем 7-9 сут. Несмотря на высокую интенсивность суточной деструкции (0,43, 0,61 мгО/л), вода реки Селенги не успевает полностью переработать имеющиеся в ней ОВ из-за небольшого расстояния (150 км) от г. Улан-Удэ до п. Мурзино, и в Байкал поступают воды, с антропогенными сбросами частично трансформированными.

Зимой скорость течения воды значительно падает и при достаточно высоких запасах ЛОВ (до 12 мгО/л) (рис.), интенсивность суточной деструкции составляет 0,021-0,069 мгО/л. При этом время полного самоочищения от 144 до 335 суток. В зимнее время для прохождения участка от г. Улан-Удэ до п. Мурзино водным массам требуется от 4 до 9 суток, а в период открытой воды этот отрезок реки водные массы преодолевают за 14-36 часов [4].

Существенное значение имеет и качественный состав ЛОВ. В зависимости от него меняется возможность включения ОВ в биотический круговорот, которая характеризуется константой скорости потребления кислорода (k). Величина k в селенгинской воде изменяется от 0,02 до 0,06 [5], что укладывается в пределы констант, характерных для природных вод. Значения k для сточных вод, поступающих в реку, значительно выше: 0,08-0,16 [5]. По длине реки величина k селенгинской воды увеличивается от пос. Наушки к устью, что обусловлено влиянием сточных вод, а также увеличением в составе ЛОВ органических веществ планктонного происхождения. При этом запасы ЛОВ в период открытой воды на изучаемом участке реки достаточно близки.

Следует отметить особенности, наблюдавшиеся в июне 1990 года (рис.). Пробы были отобраны в летний паводок при низкой прозрачности воды, и, несмотря на высокий запас ЛОВ, интенсивность суточной деструкции была низкой, а время самоочищения у п. Мурзино увеличилось до 52 сут.

В 2001 г. средняя величина БПК₃₀ составляла 3,40 мгО/л и была близка к среднемуголетним значениям [5]. Таким образом, содержание ЛОВ в воде р. Селенги в многолетнем аспекте изменилось незначительно. Время полного самоочищения воды реки в летний период составляло от 6 до 18 сут, а в зимний период до 335 сут. Это означает, что вода в практически неизменном виде

проходит от г. Наушки до п. Мурзино и далее до Байкала, обогащая озеро частично трансформированным ЛОВ.

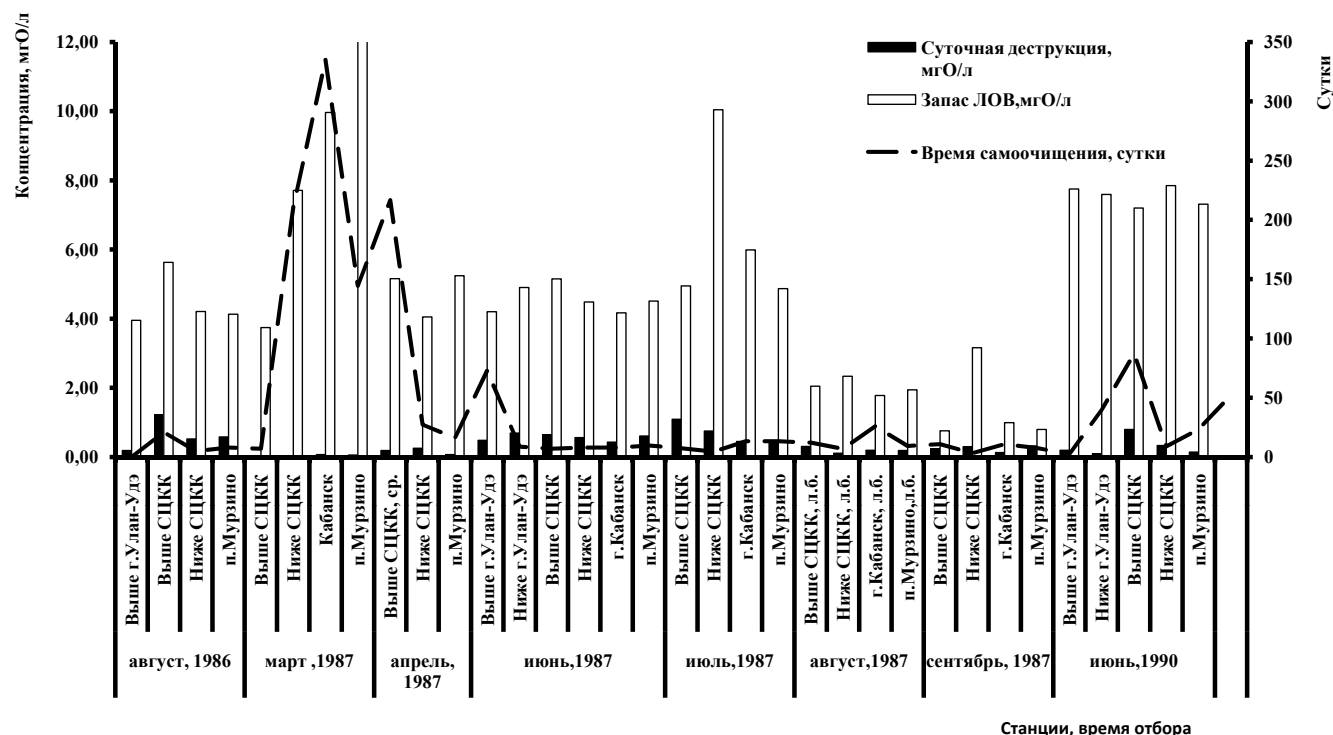


Рис. Сезонная динамика содержания лабильного органического вещества, интенсивность суточной деструкции и время полного самоочищения в воде р.Селенги

Литература

1. Сорокин Ю.И. Микропланктон реки Енисея и его роль как фактора самоочищения//Журнал общей биологии-1987, №3, т.XLVIII, стр. 350-366.
2. Олейник Г.Н. Бактериальная деструкция органического вещества в водоемах и водотоках // Вод.ресурсы. 1991. № 2. С. 89–97.
3. Поповская Г. И., Кузьмина А.Е. Многолетние изменения фитопланктона реки Селенги//Проблемы экологии Прибайкалья. Тезисы докладов к III Всесоюзной научной конференции. Иркутск, 1988, с.123.
4. Синюкович В. Н. Гидрологические факторы самоочищения р. Селенги в нижнем течении// Водное хозяйство России, 2008, №4, с.24-36. водоемах и водотоках // Вод.ресурсы. 1991. № 2. С. 89–97.)
5. Башенхаева Н. В., Синюкович В.Н., Сороковикова Л.М., Ходжер Т.В. Органическое вещество в воде реки Селенги// География и природные ресурсы-2006, №1, с.47-54.

СОСТАВ И СТРУКТУРА ЗООБЕНТОСА КАК ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ЧАНЫ

Безматерных Д. М., Чернышкова К.В., Жукова О.Н.
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,
bezmater@iwep.asu.ru

COMPOSITION AND STRUCTURE OF ZOOBENTHOS AS INDICATORS OF LAKE CHANY ECOLOGICAL STATE

Bezmaternykh D.M., Chernyshkova K.V., Zhukova O.N.
Institute for Water & Environmental Problems SB RAS, Barnaul,
bezmater@iwep.asu.ru

Приводятся данные о составе и структуре зообентоса оз. Чаны в 2004 г. Выполнен зоогеографический и экологический анализ фауны. Оценено видовое разнообразие, рассчитан индекс сапробности. Полученные данные свидетельствуют о слабом антропогенном эвтрофировании и биотическом загрязнении озера.

Data on composition and structure of zoobenthos in Lake Chany in 2004 are given. The zoogeographical and ecological analysis of the lake fauna is carried out. The species diversity is estimated, and the saprobity index is calculated. The data obtained are indicative of low eutrophication and mild biotic lake contamination.

Чаны – крупнейший водоем Западной Сибири. Это бессточное солоноватое озеро, морфологически естественно подразделяющееся на 5 плесов: оз. Малые Чаны, оз. Яркуль, Чиняихинский, Тагано-Казанцевский и Ярковский. Озеро расположено в Обь-Иртышском междуречье, в южной лесостепной части Барабинской равнины. Для бассейна оз. Чаны характерен умеренный континентальный климат. Оно имеет малую относительную глубину (от 1,4-1,9 в юго-восточной части озера, до 4,8-8,5 м в оз. Яркуль) и пологие берега. В 2004 г. минерализация воды различных плесов озера колебалась от 0,63-0,72 г/л (оз. Малые Чаны) до 4,64-5,20 г/л (Ярковский плес). Озеро имеет большое народно-хозяйственное значение. На него оказывается нагрузка сельского и рыбного хозяйства и связанных с ним отраслей [6]. В связи с этим происходят различные изменения в структуре и продуктивности сообществ.

Материалом исследования послужили 56 количественных проб зообентоса озера Чаны, отобранных в июле – августе 2004 г. Отбор проб производили стандартными гидробиологическими методами [8], сборы проводили штанговым дночерпателем ГР-91 с площадью захвата 0,007 м².

В 2004 г. в зообентосе озера Чаны в исследуемых пробах обнаружено 37 видов гидробионтов, относящихся к 6 классам (рис.). Наибольшее число видов приходится на класс насекомых, к отряду двукрылых – 25 видов. Из них наибольшим видовым богатством отличаются хирономиды – 19 видов, далее по видовому обилию следуют моллюски – 9 видов и личинки мокрецов – 6 видов. В остальных таксонах обнаружено по 1 виду. Для сравнения, в 2001 г. было обнаружено 70 видов из 7 классов беспозвоночных. Наши исследования выявили меньшее видовое разнообразие зообентоса, что, возможно, объясняется меньшей выборкой (в 2001 г. было отобрано 73 пробы, включая качественные пробы) [3]. Однако распределение видового богатства по крупным таксонам и доминанты те же.

Несмотря на то, что количественные показатели развития зообентоса изменяются в разные

годы, доминанты в структуре донных сообществ остаются постоянными – отмечается массовое развитие хирономид, меняется лишь состав субдоминантов: моллюски, мокрецы или другие насекомые [3].

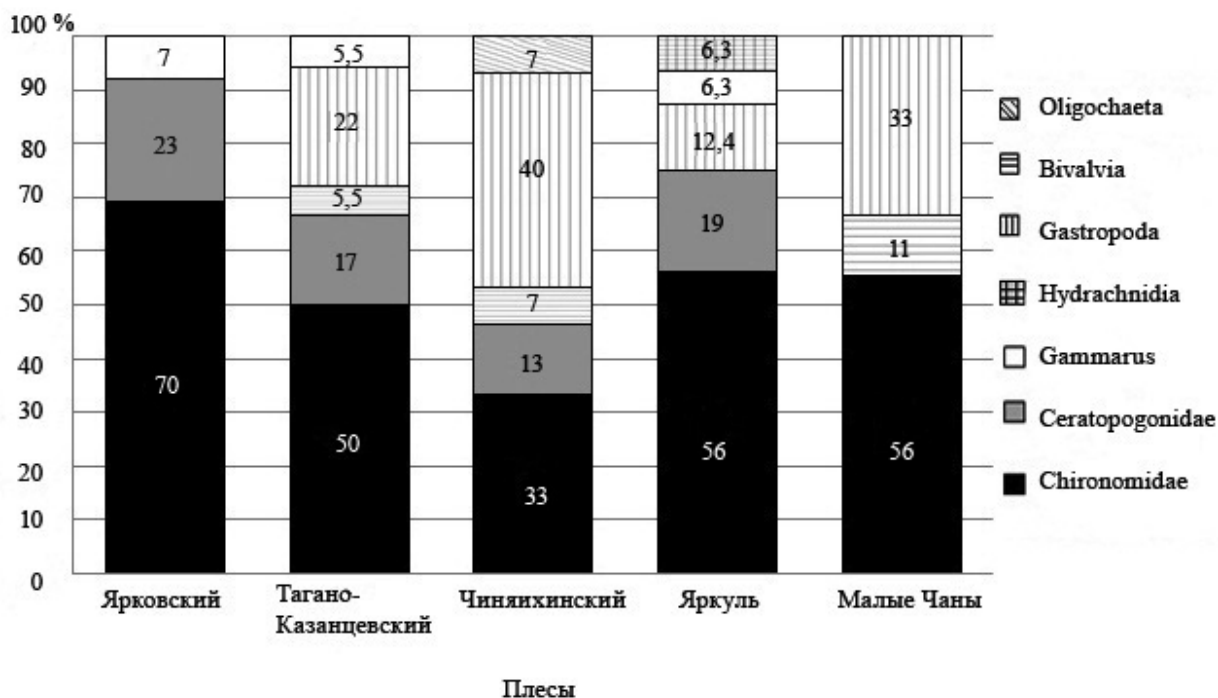


Рис. Видовое разнообразие зообентоса оз. Чаны по различным плесам, %

По видовому разнообразию на первом месте стоит Тагано-Казанцевский плес – 18 видов из 37, что составляет 49% от общего числа видов. Наименее разнообразным по видам является зообентос оз. Малые Чаны: всего 9 видов из 37, что составляет 24 % (рис.).

Для выявления воздействия важнейших экологических факторов был проведен расчет мер включения фаун донных беспозвоночных плесов оз. Чаны, который показал умеренную степень сходства. Наибольшее сходство видового состава беспозвоночных выявлено для Ялковского и Тагано-Казанцевского плесов, а также Тагано-Казанцевского и Чиняихинского плесов. Это вероятно обусловлено близким географическим расположением и взаимным влиянием экосистем данных плесов, а также сходством их гидрохимических характеристик.

При данном уровне значимости (50-69%) связь отсутствует между оз. Малые Чаны с Ялковским плесом и Чиняихинским плесом. Данную ситуацию можно объяснить определенной удаленностью и обособленностью озера Малые Чаны, а также его значительно отличающимися гидрохимическими характеристиками. Кроме того, на озеро Малые Чаны оказывается большая рыбохозяйственная нагрузка, в частности, связанная с расселением серебряного караса амурской морфы, которое произошло в 90-е годы и последующей вспышкой его численности в конце XX в. С 1998-1999 г. отмечалось резкое изменение кормовой базы в водоеме. По данным Л.С. Визер и Д.И. Наумкина [4] до 1983 года численность и биомасса зообентоса в оз. Малые Чаны была значительно выше, чем в Тагано-Казанцевском и Ялковском плесах, а после резко снизилась. Хотя показатели численности, биомассы и видового разнообразия для оз. Малые Чаны еще достаточно низки по сравнению с другими плесами, но в целом по озеру кормовая база уже восстановилась и достигла показателей 70-80-х г. (в 70-е годы численность зообентоса в среднем по озеру летом достигала 1310 экз./м² и биомасса 6,62 г/м², в 2004 – 1756,8 экз./м² и 8,98 г/м², соответственно).

Зоогеографический анализ зообентоса озера Чаны показал следующие результаты: по 30%

от общего числа видов приходится на голарктические и транспалеарктические виды, к западно-палеарктическим относится 3%. Для 37% географическое распространение не определено, т.к. их не удалось определить до вида или отсутствует информация по их распространению. Тем не менее, в соответствии с системами зоогеографического районирования территория оз. Чаны может быть отнесена к Европейско-Сибирской подобласти Палеарктики.

При рассмотрении биотопической приуроченности зообентонтов оз. Чаны было выявлено, что в целом по озеру преобладают виды-пелофилы (49%), при этом в озере на илистые грунты приходится – 41%. Доля псаммофилов равна 35%, что соотносится с площадью песчаных грунтов – 32%.

Трофическая структура зообентоса учитывает способ питания и преобладающий состав потребляемой пищи, она может быть чувствительным индикатором антропогенного воздействия (особенно эвтрофикации) [2]. Наибольшее количество видов зообентоса оз. Чаны составляют зоофаги – 32%. Так же достаточно большое число видов животных характеризуются как всеядные и фитодегрититофаги, их доля по 27%. На долю зоодегрититофагов приходится 8%, а фитофагов и фильтраторов по 3% от общего числа видов. Низкая доля фильтраторов и значительная доля дегрититофагов свидетельствует о достаточно высокой степени эвтрофикации водоема [1].

Эти данные согласуются с оценкой трофического статуса оз. Чаны по уровню развития зообентоса. Трофический статус озера определялся по величине биомассы зообентоса. Так как озеро достаточно разнородное и имеет обособленные плесы, оценивалась трофность отдельных участков озера (табл.), для этого мы пользовались классификацией С.П. Китаева [5].

Таблица.

Показатели развития зообентоса различных участков озера Чаны

Участок озера	Средневзвешенная биомасса, г/м ²	Уровень биомассы	Класс продуктивности
Оз. Малые Чаны	4,0	α-мезотрофный	умеренный
Тагано-Казанцевский плес	3,7	α-мезотрофный	умеренный
Чиняихинский плес	3,7	α-мезотрофный	умеренный
Ярковский плес	22,3	β-эвтрофный	высокий
Оз. Яркуль	17,6	α-эвтрофный	повышенный

Из таблицы видно, что сходные результаты получились для озера Малые Чаны, Тагано-Казанцевского и Чиняихинского плесов, эти объекты относятся к типам α-мезотрофных водоемов, умеренного класса продуктивности.

В настоящий момент известно нескольких десятков методов биоиндикации с помощью зообентоса. Один из наиболее распространенных, а также входящий в систему гидробиологического мониторинга России – это индекс сапробности Р. Пантле и Х. Букка (в модификации В. Сладечека).

На разных участках озера значение индекса сапробности колебалось в пределах от 1,80 до 3,80 баллов (третий, четвертый и пятый классы качества). Самое низкое значение индекса было отмечено для Чиняихинского плеса – 1,80, его воды принадлежали к β-мезосапробной зоне (третий класс качества, умеренно загрязненные). Воды Тагано-Казанцевского (2,60) и Ярковского (3,00) плесов и оз. Яркуль (2,84) относились к α-мезосапробным (четвертый класс качества, загрязнен-

ные). Если учитывать тот факт, что в озерах средней полосы естественная сапробность обычно близка к β -мезосапробному уровню [7], а антропогенная деятельность, оказываемая непосредственно на озеро, незначительна, то можно сделать вывод, что сапробность оз. Чаны мало отличается от фонового уровня (кроме оз. Малые Чаны, со значением 3,8 – полисапробная зона, пятый класс качества, тяжелая степень загрязнения).

Лучший путь количественной оценки структуры сообществ – определение индексов биологического разнообразия. Один из наиболее информативных и простых в применении – индекс видового разнообразия Маргалефа. Интерпретацию полученных расчетов индексов для биоиндикации проводят, исходя из предположения, что с увеличением уровня загрязнения водоема видовое разнообразие, как правило, падает [2].

Максимальные значения индекс Р. Маргалефа принимает на Тагано-Казанцевском (3,04) и Чиняихинском (2,86) плесах, немного ниже значение на оз. Яркуль (2,67), а самое низкое видовое разнообразие наблюдается на Ярковском плесе (1,95) и оз. Малые Чаны (2,05), что, вероятнее всего, определяется высокой степенью рыбохозяйственной нагрузки, а не высоким уровнем загрязнения.

Полученные данные свидетельствуют о двух основных направлениях антропогенного воздействия на экосистему озера: 1) слабое эвтрофирующее воздействие, связанное с некоторой степенью антропогенного преобразования водосборного бассейна; 2) значительное воздействие на структуру сообщества, связанное с биотическим загрязнением (расселением серебряного карася) и рыболовством.

Литература

1. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб.: Наука, 2000. – 147 с.
2. Безматерных Д.М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири (аналит. обзор) / Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук; Ин-т вод. и экол. проблем. – Новосибирск, 2007. – 87 с.
3. Безматерных Д.М. Состав, структура и количественная характеристика зообентоса озера Чаны в 2001 году // Сибирский экологический журн. – 2005. – № 2. – С. 249-254.
4. Визер Л.С., Наумкина Д.И. Динамика кормовой базы озера Чаны // Сибирская зоологическая конференция: Тез. докл. всерос. конф., посвящ. 60-летию ИСиЭЖ СО РАН. – Новосибирск, 2004. – с. 236.
5. Китаев С.П. О соотношении некоторых трофических уровней и «шкалах трофности» озер разных природных зон // V съезд Всесоюзного гидробиологического общества. – Куйбышев, 1986. – Ч. 2 – С. 254-255.
6. Общая природная характеристика и экологические проблемы Чановской и Кулундинской озерных систем и их бассейнов / О.Ф. Васильев, В.А. Казанцев, П.А. Попов, В.В. Кириллов // Сибирский экологический журн. – 2005. – С. 167-173.
7. Практическая гидробиология. – М.: Изд-во ПИМ, 2006. – 367 с.
8. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОДОВОЙ ДИНАМИКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОДЫ В ОЗЕРЕ ШИРА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Белолипецкий В.М., Генова С.Н., Rogozin Д.Ю.¹, Дегерменджиги А.Г.¹

ИБМ СО РАН, г. Красноярск, СФУ, beli-lip@icm.krasn.ru,

¹ г. Красноярск, Институт биофизики СО РАН

NUMERICAL MODELING OF ANNUAL DYNAMICS OF TEMPERATURE AND SALINITY VERTICAL DISTRIBUTIONS TAKING INTO ACCOUNT THE CHANGING LEVELS OF WATER SURFACE IN LAKE SHIRA

Belolipetskii V.M., Genova S.N., Rogizin D.Yu.¹, Degermendzhy A.G.¹

ICM SB RAS, SFU, Krasnoyarsk, beli-lip@icm.krasn.ru,

¹ Krasnoyarsk, Insti-tute of Biophysics SB RAS

Предлагается модификация одномерной в вертикальном направлении модели температурного и солевого режимов озера, учитывающая зависимость объема от глубины водоема. Приводятся примеры расчетов для озера Шира и сравнение с данными натурных измерений.

A modification of a one-dimensional model (in the vertical direction) of the temperature and salinity regimes of the lake, taking into account a dependence of the reservoir depth is proposed. Examples of calculations for Lake Shira and comparison with field measurements are given.

1. Одномерная в вертикальном направлении модель

Вертикальные распределения температуры и солёности воды в глубоководной зоне в различные сезоны можно определить по одномерной модели, предложенной в работе [1]. Однако в реальном водоеме необходимо учитывать мелководные участки. Одномерная модель [1] для периода отсутствия ледяного покрова основывается на решении одномерных в вертикальном направлении уравнений диффузии относительно температуры и солёности воды. Коэффициент вертикального турбулентного обмена определяется по формуле Прандтля – Обухова с учетом приближения Экмана. Тепловой поток на водной поверхности вычисляется по известным эмпирическим формулам.

В зимний период по вертикали выделяются слой льда, слой конвективного перемешивания и придонный слой. Для определения динамики толщины ледяного покрова применяется упрощенная модель, основанная на квазистационарном температурном режиме в затвердевшей области. В солёных озерах при образовании льда в результате кристаллизации воды высвобождается соль. Формируется неустойчивая плотностная стратификация, приводящая к интенсивной вертикальной циркуляции и образованию слоя конвективного перемешивания. В этом слое происходит выравнивание температуры и солёности. Уравнение состояния солёной воды принимается в приближении Буссинеска (плотность линейно зависит от температуры и солёности воды). Предполагается, что конвективное перемешивание распространяется до такого горизонта, на котором плотность воды становится равной плотности подстилающего слоя воды. На основе этой гипотезы строится численная процедура для определения глубины распространения конвекции и

значений температуры, солёности, плотности воды в конвективном слое.

Весной температура льда повышается до температуры фазового перехода и происходит таяние ледяного покрова как снизу, так и сверху. После таяния льда образуется слой опресненной воды, который под воздействием ветра перемешивается с нижними слоями воды.

2. Модификация одномерной модели

2.1. Период отсутствия ледяного покрова. Вертикальные распределения температуры и солёности в озере определяются из уравнения диффузии, осредненного по горизонтальному сечению [2]:

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t} = \frac{1}{\Sigma} \frac{\partial}{\partial z} \left(\Sigma \cdot K \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial z} \right) + f$$

здесь t – время, z – вертикальная координата, направленная вниз, $\Sigma = \Sigma(H - z)$ – площадь горизонтального сечения озера, H – глубина озера, K – коэффициент вертикального турбулентного обмена, $C(t, z)$ – температура (солёность) воды, $\mathcal{E} = \frac{1}{\Sigma} \int_{\Sigma} C d\Sigma$, $f(t, z)$ – внутренние источники. Граничные условия

$$K \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial z} \Big|_{z=0} = -F_C, \quad K \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial z} \Big|_{z=H} = -F_{CH}, \quad (2)$$

начальное условие

$$\mathcal{E}(0, z) = \mathcal{E}_0(z). \quad (3)$$

2.2. Зимний период. Толщина слоя конвективного перемешивания определяется с учетом объема замерзшей воды. Так как в зимний период плотностная стратификация под ледяным покровом, в основном, зависит от солёности воды, то изменение солёности воды в слое конвективного перемешивания на временном шаге $\Delta t = t^{n+1} - t^n$ определяется по формуле

$$\Delta S_{\kappa}^{n+1} = \frac{(S_k^n - S_w)(\Omega_{\xi}^n - \Omega_{\xi}^{n+1})}{\Omega_{\xi}^{n+1} - 0.5 \cdot \Omega_h^n - 0.5 \cdot \Omega_h^{n+1}}, \quad (4)$$

S_k^n – солёность в слое конвективного перемешивания при $t = t^n$, ξ_i^n, ξ_i^{n+1} – толщины льда при $t = t^n$ и $t = t^{n+1}$ соответственно, $\xi_w = \rho_i \xi_i / \rho_w$, $S_w = \rho_w S_i / \rho_i$, S_i – солёность льда, ρ_w – плотность воды, ρ_i – плотность льда, $\Omega(H)$ – объем воды при глубине, равной H , $\Omega_{\xi}^{n+1} = \Omega(H - \xi_w^{n+1})$, $\Omega_h^n = \Omega(H - h^n)$, $\Omega_{\xi}^n = \Omega(H - \xi_w^n)$, $\Omega_h^{n+1} = \Omega(H - h^{n+1})$, $z = h^n$ и $z = h^{n+1}$ – заглубления слоя конвективного перемешивания при $t = t^n$ и $t = t^{n+1}$ соответственно. Зависимость объема от глубины принимается в виде

$$\Omega(H) = a_0 + a_1 H + a_2 H^2 + a_3 H^3. \quad (5)$$

Упрощенное уравнение состояния соленой воды

$$\rho(S) = \rho_0(\varepsilon_1 + \varepsilon_3 S/S_0), \quad (6)$$

Здесь $\rho_0 = 1.0254 \text{ г/см}^3$, $\varepsilon_1 = 0.9753$, $\varepsilon_3 = -0.00007$, $S_0 = 35 \text{ ‰}$.

Заглубление слоя конвективного перемешивания определяется из условия

$$\rho \Big|_{z=h^{n+1}} = S_k^n + \Delta S, \quad (7)$$

$\rho(S(z))$ - вертикальный профиль плотности перед ледообразованием.

Из уравнений (4)–(7) определяются. Температура воды вычисляется по формулам работы [1].

2.3. Летний период в случае увеличения глубины озера. Предполагается, что увеличение глубины происходит за счет притока пресной воды. В этом случае средняя соленость в озере уменьшается. Увеличение глубины учитывается добавлением сверху слоя пресной воды толщиной. Динамика вертикального распределения солености определяется из решения задачи (1) – (3). Температура воды рассчитывается по не модифицированному алгоритму работы [1].

2.4. Летний период в случае уменьшения глубины. Предполагается, что уменьшение глубины связано с превышением испарения над притоком, и после испарения вся соль остается в озере. В этом случае средняя соленость в озере возрастает, (при условии постоянства запасов соли в водоеме).

Пусть за летний период глубина озера уменьшится на ΔH . В этом случае при испарении выделится соли

$$\bar{S}(\Omega_H - \Omega_{\Delta H}), \quad (8)$$

где $\bar{S}$ - соленость поверхностного слоя, $\Omega_{\Delta H} = \Omega(H - \Delta H)$. Тогда соленость в слое $\Delta H \leq z \leq 2\Delta H$ изменится на величину

$$\Delta S = \frac{\bar{S}(\Omega_H - \Omega_{\Delta H})}{\Omega_{\Delta H} - \Omega_{2\Delta H}}, \quad (9)$$

$$\text{здесь } \Omega_{2\Delta H} = \Omega(H - 2\Delta H)$$

3. Примеры расчетов.

Выполнена серия расчетов динамики вертикальных распределений температуры и солености воды в озере Шира для разных лет. Результаты расчетов хорошо согласуются с данными натурных измерений. Согласно литературным данным [3] в 1890 – 1930 г. глубина озера Шира уменьшилась с 23.5 м до 17 м. Расчеты показали, что при уменьшении глубины озера в 1925 – 1930 гг. слой конвективного перемешивания в зимние периоды достигал дна.

Описанную математическую модель можно применять для оценки динамики вертикальных распределений температуры и солености воды, учитывающей изменение глубины и мелководные участки озера.

Литература

1. Белолипецкий В.М., Генова С.Н. Численное моделирование годовой динамики вертикальной структуры соленого озера // Вычислительные технологии. 2008. С. 34-43.
2. Васильев О.Ф., Бочаров О.Б., Зиновьев А.Т. Математическое моделирование гидротермических процессов в глубоководных водоемах // Гидротехническое строительство. 1991. № 7.
3. Кривошеев А.С., Хасанов А.П. Лечебные озера Красноярского края. Красноярск: Красноярское книжное издательство. 1990. 142 с.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПРИТОКОВ В АНГАРСКИЙ КАСКАД ГЭС В ЗАДАЧАХ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

*Бережных Т.В, Абасов Н.В, Марченко О.Ю., Ветрова В.В.
Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН,
Иркутск, berejn@isem.sei.irk.ru*

SPACE-TIME DECOMPOSITION OF RIVER INFLOWS TO ANGARA HPP CASCADE IN LONG-TERM FORECASTING PROBLEM

*T.V. Berezhnykh, N.V. Abasov, O.U. Marhenko, V.V. Vetrova
Melentyev Energy Systems Institute, SB RAS, Irkutsk, berejn@isem.sei.irk.ru*

Результаты исследований пространственно-временных колебаний стока основных рек, формирующих приток в водохранилища Ангарского каскада ГЭС, позволили выявить согласованность этих колебаний, оценить влияние климатических изменений на сток рек. Применение методов анализа (вейвлет-преобразований) и геоклиматических данных дают новые возможности для поиска предикторов в долгосрочном прогнозировании притоков.

The results of studies have shown the coherence of space-time variations of major river inflows to reservoirs of the Angara HPP cascade. The climate changes impacts on river flows were estimated. The applying of wavelet-transform methods for geoclimatic data provides new approaches to search for predictors in long-term forecasting problem.

Введение

Анализ территориально-временной изменчивости притока воды в водохранилища Ангарского каскада ГЭС и оз. Байкал показал, что за последние 30 лет, в конце XX и начале XXI века, в условиях глобального изменения климата, проявились следующие изменения в его многолетних колебаниях: изменения в оценках коэффициентов вариации, их повышение в боковом притоке в Братское вдхр. и понижение в притоке в оз. Байкал; существенные асинхронность колебаний притока в оз. Байкал и бокового притока в Братское вдхр., которая не проявлялась ранее [2].

Ангарский каскад ГЭС, включающий Иркутскую, Братскую и Усть-Илимскую, вырабатывает до 80% электроэнергии в общем энергобалансе Иркутской области.

Доли притоков в гидроэнергетический потенциал каскада составляют: 66.2% - полезного в оз. Байкал; 30.0% – бокового в Братское вдхр.; 3.8% - бокового в Усть-Илимское вдхр.

Разработанная в (Институте систем энергетики) СО РАН информационно-прогностическая система ГИПСАР [1] включает различные методы анализа и прогнозирования.

Если на начальном этапе она опиралась на единое ядро, то в настоящее время в нее включено несколько компонентов по обработке геоклиматических данных и новым методам анализа (вейвлеты и др.).

Опыт прогнозирования составляющих гидроэнергетического потенциала (ГП) для ОАО «Иркутскэнерго» (2003, 2005-2006, 2009-2011 гг.) показал, что жесткие требования к прогностическим показателям ($2/3\sigma$) со стороны заказчика потребовали значительных усилий для повышения надежности методов ДП. В итоге прогнозы притока в оз. Байкал за прошедший период с требуемой точностью полностью оправдались, а в Братское вдхр. – только по тенденциям.

Исходной информацией для моделирования ГП каскада ГЭС служит статистическая информация по притокам воды в водохранилища, для которой проводится пространственная и временная декомпозиция (рис.1), позволяющая исследовать, в том числе, сток рек, непосредственно влияющих на формирование прогнозируемых притоков.

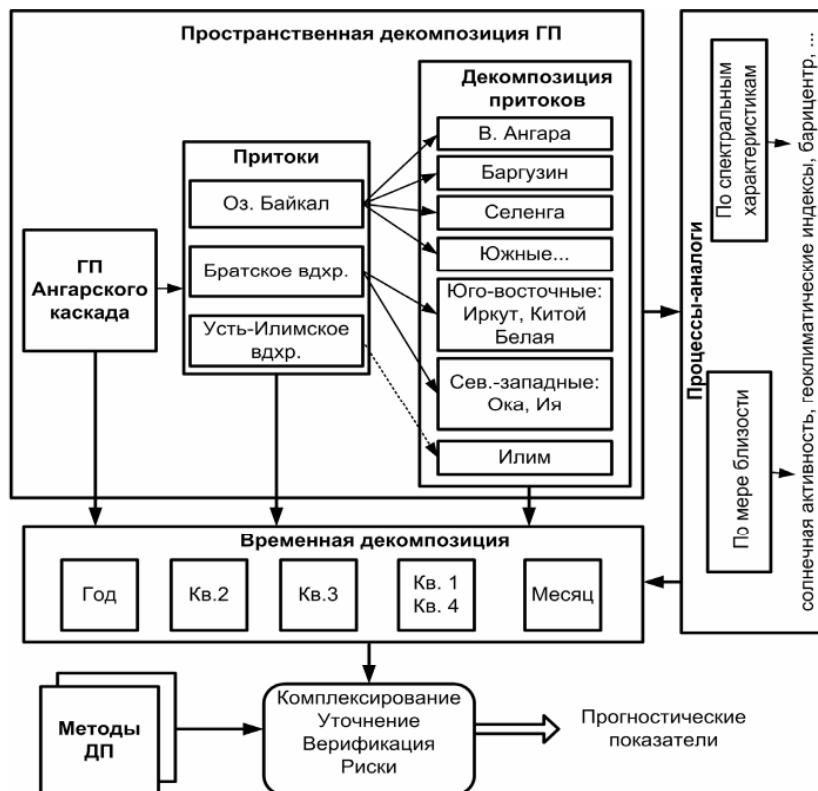


Рисунок 1. Схема пространственно-временной декомпозиции модели ГП Ангарского каскада ГЭС.

2. Пространственно-временная декомпозиция стока рек бассейна оз. Байкал

Приток в оз. Байкал формируется в результате впадения в озеро ее основных рек, вклад которых в процентном отношении таков: р. Селенга – 48,5%, Верхняя Ангара – 14,3%, Баргузин – 7,5%, сток рек южного побережья – 11,2%, западного побережья – 8% и остальных рек – 10,5%.

Площадь бассейна р. Селенги составляет около 80% общей водосборной площади бассейна озера, из них 18% приходится на монгольскую территорию. Средний годовой расход воды р. Селенги у устья составляет 950 м³/сек. Основным источник питания – дожди, вклад снежного покрова незначителен, невелика роль подземных вод.

Река Верхняя Ангара впадает в северную оконечность оз. Байкал, ее водосборная площадь составляет 4,1 % от общей водосборной площади озера. Средний годовой расход – 280 м³/сек. Основным источник питания – талые и дождевые воды. Зимний сток незначителен.

В стоке Верхней Ангары в последнее десятилетие отмечается значительный подъем водности, возможно, также связанный с глобальным изменением климата, т.е. увеличением атмосферных осадков, в основном, в зимний период, вследствие усиления западного переноса воздушных масс.

Для визуализации структуры временного ряда и определения его спектральных характеристик используется непрерывное вейвлет-преобразование в виде разработанного программного компонента вейвлет-анализа. [3]. Сравнительные вейвлетограммы притока в оз. Байкал и бокового притока в Братское вдхр. показаны на рис.2.а, с преобладающими низкочастотными составляющими в притоке оз. Байкал.

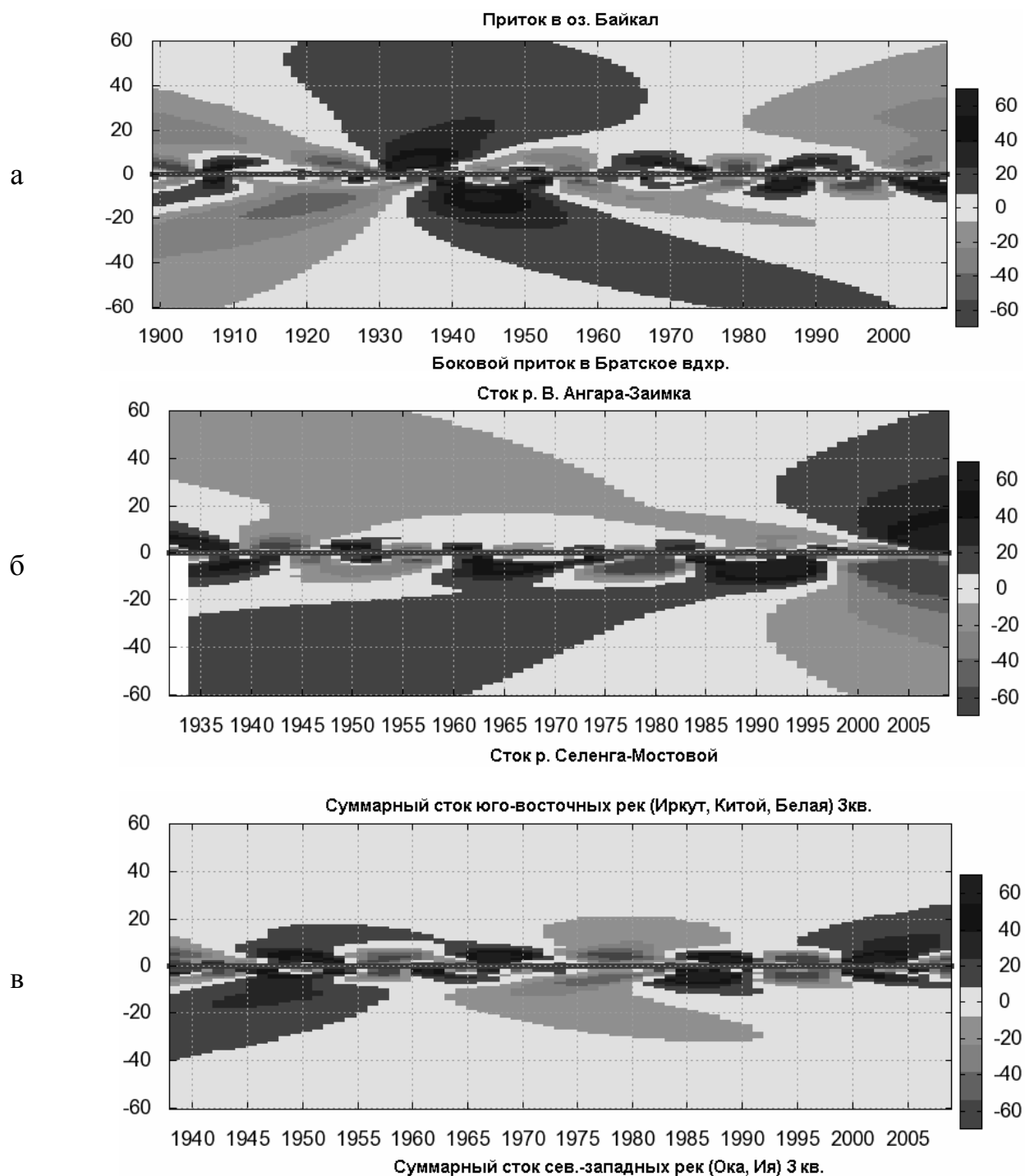


Рисунок 2. Сравнительные вейвлетограммы притока в вдхр. Ангарского каскада ГЭС (а) и стока основных рек этих притоков (б, в)

Вейвлетограммы стока р. Селенги-Мостовой и р. Верхней Ангары-Заимка (рис.2.б) показывают условия асинхронности, что сказалось на притоке в оз. Байкал с приемлемыми рисками маловодья в период 1996-2009 гг. по сравнению с чрезвычайными рисками 1976-1982 гг.

Непрерывное вейвлет-преобразование позволяет формировать также спектральные характеристики временных рядов с выделением наиболее значимых цикличностей. Для стока р. Селенги, также как и для притока в оз. Байкал, наиболее значимыми являются 26-27-летние, а также

11-летние циклы. Первые характерны для глобальной атмосферной циркуляции, вторые - для солнечной активности. Для притока в Братское вдхр., также как и для стока ее основных рек, наиболее значимыми являются 18-19-летние, а также высокочастотные 2-3-летние циклы. Первые характерны для лунного цикла, вторые – связаны с межгодовой изменчивостью, вызванной аналогичной изменчивостью зимних осадков [4].

3. Пространственно-временная декомпозиция стока рек бассейна Братского водохранилища

Боковой приток в Братское вдхр. формируется в результате впадения в водохранилище его основных левобережных рек, которые в процентном отношении составляют: р. Иркут (14%), Китой - 11%, Белая - 17%, Ия - 14%, Ока - 27%, остальные реки – 17%.

Корреляционный анализ стока основных рек показал, что наибольшая связь отмечается между стоком рек во втором квартале: для юго-восточной территории (Иркут, Китой, Белая) – (0,67-0,80); и северо-западной территории (Ока, Ия) – 0,78; между стоком рек рассматриваемых территорий коэффициент корреляции существенно меньше – 0,38-0,66.

Аналогичные коэффициенты корреляции между стоком рек годовых величин и третьего квартала года существенно меньше указанных выше, но для них сохраняются те же территориальные условия.

Суммарные величины стока рек выделенных территорий в процентном соотношении к общему притоку в Братское вдхр. за многолетний период в большинстве случаев асинхронны (годовые и квартальные). В годы, когда сток рек одной территории повышается, то на другой он понижается. В некоторые годы (2002, 2007 гг.) отмечался чрезвычайно низкий сток рек одновременно на обеих территориях, тогда приток в Братское вдхр. имел значения, близкие к экстремальным за столетний период. В представленных вейвлетограммах (рис.2.) преобладают низкочастотные колебания рек, что может служить причиной высокой изменчивости притока в Братское водохранилище.

Заключение

Анализ территориально-временной декомпозиции стока рек, формирующих приток в водохранилища. Ангарского каскада ГЭС и оз. Байкал показал, что это важнейший компонент, который дает реальное представление о происходящих изменениях стока рек, он позволяет выявить причины, вызывающие эти изменения, а также повысить надежность и точность долгосрочных прогнозов притоков.

Работа частично поддержана грантом РФФИ №10-07-00264.

Литература

1. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Резников А.П. Долгосрочный прогноз природообусловленных факторов энергетики в информационно-прогностической системе ГИПСАР // Известия РАН, Энергетика, 2000, № 6, С. 22-30.
2. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Ветрова В.В. Исследование влияния Арктики на гидроэнергетический потенциал Ангарского каскада ГЭС. //«Гидрологические последствия изменений климата», Тр. Британско-российской конф. – Новосибирск: Сибстрин. 2007.- С. 63-72.
3. Абасов Н.В., Ветрова В.В. О применении вейвлет преобразований для анализа геоклиматических данных // Труды XIII Байкальской Всероссийской конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Т. 2. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2008. С. 60-66.
4. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Ветрова В.В. Об исследовании динамики увлаженности территории Прибайкалья. «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии», Сборник статей международной науч.-практич. Конферен., посвященной 75-летию образования ИрГСХА. – Иркутск: НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. 2009. – С. 17-21.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ МАСС БАЙКАЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА T, S – АНАЛИЗА

Блинов В.В., Гнатовский Р.Ю.

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, bwad@lin.irk.ru

SEASONAL VARIABILITY OF WATER MASSES CHARACTERISTICS FOR LAKE BAIKAL WITH USE METHOD T, S – ANALYSIS

Blinov V.V., Gnatovskiy R.Yu.

Limnological institute SB RAS, Irkutsk, bwad@lin.irk.ru

Проведен анализ сезонных изменений характеристик водных масс Байкала на основе метода T, S – анализа. Выявлено, что в течение года в пелагической части котловины выделяется до 6 водных масс. Показано, что значительная сезонная изменчивость характеристик водных масс имеет место в деятельном слое.

The analysis of seasonal variability of water masses characteristics for Southern Baikal on basis of T, S - the analysis method has been carried out. It is revealed, that during the year in the pelagic part of the basin about 6 water masses are allocated. It is shown, that significant seasonal variability of water masses characteristics takes place in an active layer.

При изучении водных масс морей и океанов широко применяется T,S – анализ [1]. Он позволяет определять количество водных масс, а также исследовать T,S – характеристики (температура и соленость), глубины залегания ядер и границ водных масс. Метод T,S – анализа был адаптирован к условиям Байкала [2]. Вместо солености, применяемой для морских и океанических вод, в условиях пресных вод используется минерализация или ионная составляющая минерализации (далее сумма ионов – Sc), рассчитанная по электропроводности воды и выраженная в мг/кг.

В течение года водные массы деятельного слоя трансформируются за счет изменения потоков тепла и солей на поверхности озера, а также глубины проникновения свободной температурной конвекции. Водные массы глубинной зоны существуют постоянно. Формирование и изменение их характеристик обусловлено механизмами обновления глубинных вод [3].

Летом температура водной поверхности достигает максимальных значений, а сумма ионов к концу лета – началу осени понижается до минимальных годовых величин. Зимой, наоборот, температура имеет минимальные, а сумма ионов – максимальные значения. Вследствие этого годовой цикл изменений T и Sc можно разделить на два периода – обратной и прямой температурной стратификации. Каждый период включает фазы охлаждения и прогрева.

Анализ сезонной трансформации водных масс проведен по данным режимной станции в Южном Байкале, расположенной на середине разреза пос. Листвянка – пос. Танхой, с ноября 2000 по октябрь 2001 года. Данные о температуре и электропроводности были получены высокоточным гидрофизическим CTD-зондом SBE-25 (фирма Sea Bird Electronics, США) сотрудниками лаборатории гидрологии и гидрофизики Лимнологического института СО РАН. На рисунке (рис.) представлены T, Sc – кривые (слева), где точками изображены сами кривые, сплошными линиями обозначены касательные к ним, пунктирными – медианы и основание треугольника смещения, звездочками – водные массы, цифрами – глубины в метрах. Справа на рисунке изображены соответствующие T, Sc – кривым вертикальное распределение температур и суммы ионов, где ТМП – температура максимальной плотности, стрелками показаны мощности водных масс, горизонтальная сплошная линия – граница водных масс, пунктирная – глубина залегания ядра.

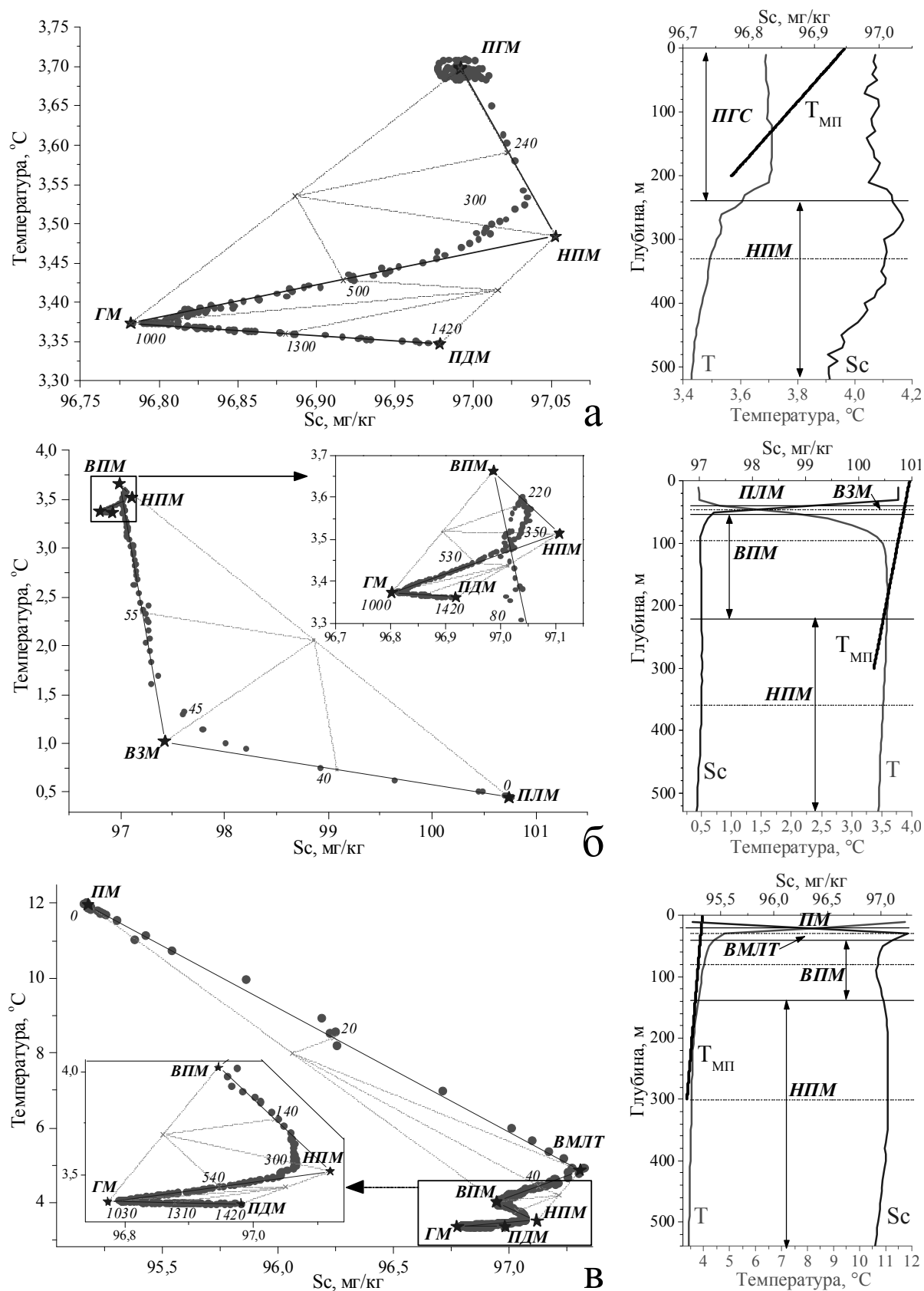


Рисунок. Т, Sc - кривые (слева) и вертикальное распределение температуры и суммы ионов (справа), ноябрь (а), март (б) и сентябрь (в) 2000-2001гг.

Трансформация водных масс при обратной температурной стратификации. Становлению обратной температурной стратификации в озере предшествует осенняя гомотермия. Во время гомотермии T, Sc – кривая характеризуется наличием двух экстремумов, следовательно, выделяются четыре водные массы. В гомогенном слое мощностью около 250 м от поверхности залегает поверхностная гомогенная водная масса (ПГМ) и на T, Sc – плоскости она отображается небольшим полем точек, середина которого условно является T, Sc – характеристикой ПГМ (рис. а). По мощности ПГМ объединяет две водные массы – поверхностную (ПМ) и верхнюю промежуточную (ВПМ) – существовавшие в предшествующий период прямой температурной стратификации, и T, Sc – характеристики ПГМ близки характеристикам ВПМ.

При дальнейшем охлаждении ПГМ трансформируется в две водные массы: поверхностную и верхнюю промежуточную. На протяжении периода обратной температурной стратификации поверхностную водную массу можно относить к зимней модификации и назвать ее верхней зимней водной массой (ВЗМ). После формирования ВЗМ ее температура понижается, а сумма ионов увеличивается, что обусловлено преобладанием испарения над осадками в этот период. Глубже ВЗМ залегает верхняя промежуточная водная масса (ВПМ). Ее T, Sc – характеристики близки к таковым ПГМ в начале периода обратной стратификации. В подледный период в поверхностном слое озера повышается сумма ионов за счет «осолонения» при образовании и нарастании ледового покрова, и над ВЗМ образуется подледная водная масса (ПЛМ). В этот период на T, Sc – кривой можно выделить шесть водных масс (рис. б). Во время существования ПЛМ при наибольшей толщине льда сумма ионов достигает максимальных для поверхностного слоя годовых значений. Как показано на рисунке (б), нижняя граница этого слоя залегает на глубине, где наблюдаются максимальные вертикальные градиенты суммы ионов. Период с обратной температурной стратификацией заканчивается в июне весенней гомотермией. В это время под влиянием конвективного перемешивания поверхностная и верхняя промежуточная водные массы трансформируются в поверхностную гомогенную водную массу. Также как и при осенней гомотермии, поверхностная гомогенная водная масса выделяется небольшим полем точек с близкими по значению T, Sc – характеристиками.

Трансформация водных масс при прямой температурной стратификации. После весенней гомотермии ПГМ трансформируется в две водные массы – поверхностную (ПМ) и верхнюю промежуточную (ВПМ). При прогреве с июня по август их температура увеличивается. Сумма ионов этих водных масс уменьшается, что обусловлено преобладанием осадков над испарением. Ниже ВПМ залегает нижняя промежуточная водная масса мощностью около 500 м. Ее T, Sc – характеристики в течение периода прямой температурной стратификации изменились незначительно.

В конце фазы прогрева температура ПМ достигает максимальных годовых значений, а сумма ионов приближается к минимальным значениям. При прямой температурной стратификации между ПМ и ВПМ на T, Sc – кривой выделяется еще один экстремум, который соответствует дополнительной водной массе. Она называется водной массой летнего термоклина (ВМЛТ), где верхняя ее граница совпадает с термоклином (рис. в). Эта водная масса образуется в конце июля – начале августа и существует до осенней гомотермии. В сентябре она залегает на глубинах от 20 до 40 м с ядром на горизонте 30 м. ВМЛТ характеризуется повышенной суммой ионов. Можно предположить, что повышение суммы ионов (промежуточный максимум) и возникновение этой водной массы связано с реминерализацией органического вещества на нижней границе термоклина. Похожий процесс наблюдается, например, в Саргассовом море [4].

С сентября начинается фаза охлаждения, что приводит к уменьшению температуры ПМ, ВМЛТ и ВПМ. Сумма ионов этих водных масс начинает увеличиваться, что обусловлено преобладанием испарения над осадками вплоть до становления ледового покрова.

Таким образом, в течение всего года в пелагиали Южного Байкала выделяются от 4 до 6 во-

дных масс. Три нижние водные массы (НПМ, ГМ и ПДМ) существуют постоянно, их T, Sc – характеристики меняются слабо. Изменения температуры за год у НПМ составили 0,06°, у ГМ и ПДМ – всего 0,01°. Сумма ионов в течение года у НПМ изменялась на 0,08 мг/кг, у ГМ – на 0,04, у ПДМ – на 0,1 мг/кг.

Водные массы в деятельном слое два раза в году – при гомотермии – трансформируются в поверхностную гомогенную водную массу с близкими T, Sc – характеристиками: по температуре 3,7°, по сумме ионов около 97 мг/кг. Значительные изменения температуры и суммы ионов воды происходят в верхней части деятельного слоя от поверхности до нижней границы 70-200 м. Температура поверхностной водной массы в результате сезонной трансформации меняется от 0,45° (ПЛМ) до 12-15°С (ПМ), суммы ионов – 94-95 мг/кг (ПМ) до 101 (ПЛМ).

Работы поддержаны грантами РФФИ № 04-05-64397 и 09-05-00763.

Литература

1. Блинов В.В., Гранин Н.Г., Гнатовский Р.Ю., Жданов А.А., Римкус С. Определение водных масс в озере Байкал методом T,S – анализа // География и природные ресурсы. – 2006. – № 2. – С. 63-69.
2. Мамаев О.И. Термохалинный анализ вод Мирового океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 296 с.
3. Шимараев М.Н., Гранин Н.Г. К вопросу о стратификации и механизме конвекции в Байкале // ДАН СССР. – 1991. – Т. 321, № 2. – С. 381-385.
4. Ono S., Ennye A., Najjar R.G., Bate N.R. Shallow remineralization in the Sargasso Sea estimated from seasonal variations in oxygen, dissolved inorganic carbon and nitrate // Deep-Sea Research II. – 2001. – 48. – PP. 1567-1582.

О ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВОДНОЙ СТРАТЕГИИ РФ ДО 2020Г.

Болгов М.В.

Институт водных проблем РАН, Москва.

Исходя из основных задач стоящих перед Министерством природных ресурсов и экологии, темы фнаучно-исследовательских работ, направленных на реализацию Водной стратегии РФ, можно сформулировать в виде следующих групп (направлений):

- 1) Организационно - экономические и научно-правовые исследования
- 2) Эколого-нормативные исследования и оценки
- 3) Мониторинговые исследования и прогнозы
- 4) Водохозяйственные проблемы и информационно-аналитические задачи
- 5) Отдельные прикладные предметные исследования.

1. Организационно - экономические и научно-правовые исследования

Стратегические проблемы в водохозяйственной деятельности и воспроизводство водных ресурсов

Организационно-экономическое обеспечение водного хозяйства (водная рента, платежи за водопользование, платежи за нанесение экологического ущерба водным объектам, налогообложение;

Научное обеспечение совершенствования водного законодательства и нормативно-правового обеспечения водного хозяйства;

2. Эколого-нормативные исследования и оценки

Обоснование системы стандартов в водном хозяйстве (разработка справочников наилучших технологий, научное обоснование целевых показателей);

Научное обеспечение оценки предельно-допустимых воздействий и предельно-допустимых нагрузок на водные объекты как основы нормирования;

Развитие методов оценки и прогнозирования динамики водных и околотоводных экосистем с целью нормирования допустимых изменений водного режима;

3. Мониторинговые исследования и прогнозы

Научное обоснование системы мониторинга водных объектов с использованием современных технологий;

Научное обоснование новых методов инженерной гидрологии (развитие методологии гидрологических прогнозов, развитие методов оценки расчетных гидрологических характеристик);

Развитие методологии оценки состояния водных объектов, гидрохимических и гидроэкологических прогнозов;

4. Водохозяйственные проблемы и информационно-аналитические задачи

Развитие методологии регулирования в водопользовании на основе новых технологий, обеспечивающей безопасную эксплуатацию сооружений и устойчивое функционирование систем;

Развитие теории риска применительно к задаче вредного воздействия вод (наводнения, подтопления оползни);

Научное обоснование информационно-аналитических систем поддержки принятия решений для задач планирования и прогнозирования государственного управления водным фондом (системы прогнозных и имитационных моделей, информационные системы, интерфейсы);

5. Отдельные прикладные предметные исследования

Развитие научных представлений в области гидрологии суши, гидрофизики, речной гидравлики, ледотермики, динамики русловых потоков, используемых при управлении и анализе функционирования водохозяйственных комплексов.

ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕЧНЫХ СИСТЕМ БАССЕЙНА ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Болгов М.В.¹, Сенцова Н.И.²

¹ Институт водных проблем РАН, Москва, bolgovmv@mail.ru

² Институт водных проблем РАН, Москва, sentsova@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕЧНЫХ СИСТЕМ БАССЕЙНА ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Bolgov M.V.¹, Sentsova N.I.²

¹ Water problems institute, Moscow, bolgovmv@mail.ru

² Water problems institute, Moscow, sentsova@yandex.ru

Изменения климата на территории РФ в первую очередь сказываются на сезонных колебаниях речного стока. Возникает необходимость развития расчетных методов для современных условий. На основе анализа многолетних данных наблюдений выделены временные периоды с разной водностью и получены расчетные гидрологические характеристики с использованием байесовского метода.

Climate changes first of all affect seasonal fluctuations of a river runoff. There is a necessity of development of calculation methods for up-to-date conditions. On the basis of the analysis of the long-term given observations the time periods with different water content are allocated and calculation hydrological characteristics with use Bayes method are received.

Речной сток формируется в условиях сложного взаимодействия самых различных по происхождению факторов, как естественных (климатических и физико-географических), так и антропогенных. Многообразие гидрологического режима рек предполагает проведение комплексных исследований по изучению формирования речного стока, обобщению и количественному описанию гидрологической информации.

На реках в бассейне Волги современные изменения климата заметно сказываются, в первую очередь, на сезонных колебаниях стока рек. Происходит перераспределение стока внутри года при сохранении, в целом, характера его многолетних колебаний. Минимальный речной сток является наиболее чувствительной характеристикой водных объектов к изменению внешних воздействий. Наблюдающиеся в последние десятилетия климатические изменения сказываются на формировании речного стока в межень, в особенности, в зимний период. Явно выраженная тенденция к повышению температуры воздуха и выпадению атмосферных осадков в холодное время года, а также наличие оттепелей, способствует увеличению зимнего стока рек, что отражается и на минимальных расходах.

Для решения водохозяйственных задач необходимо выделение временных периодов с разной водностью. Выявление групп лет с повышенными (по сравнению со средним уровнем) и пониженными значениями речного стока производится на основе построения разностных интегральных кривых. В частности, на рис.1 представлены совмещенные графики динамики среднесуточных значений минимального стока и их разностные интегральные кривые для реки Оки у г. Горбатов в зимнюю (а) и летне-осеннюю (б) межень. Ординаты интегральных кривых вычислялись как нарастающая сумма $\Sigma(K_i - 1)/C_v$, где $K_i = Q_i/Q_0$ - модульный коэффициент показателя анализируемой характеристики в i -м году (Q_i); Q_0 - среднее значение минимального расхода воды за многолетний период; C_v - коэффициент вариации, i - номер года от начала рассматриваемого ряда.

Анализ временных рядов характеристик речного стока позволил выделить периоды, харак-

теризующиеся относительно стационарными условиями формирования минимального речного стока. Выявлено, что в бассейне Верхней Волги, начиная с 1978 г., наблюдается повышенная водность в межень – норма минимального стока в этот период увеличилась более чем в 1,5 раза. Такие существенные изменения формирования речного стока требуют развития методов его обработки и получения расчетных региональных гидрологических характеристик для современных условий.

В связи с выявленными явно нестационарными условиями формирования минимального стока следует применять новые методы обработки временных рядов расходов воды в меженный период. Учет нестационарности формирования речного стока является в настоящее время серьезной проблемой для гидрологического анализа и получения расчетных гидрологических характеристик.

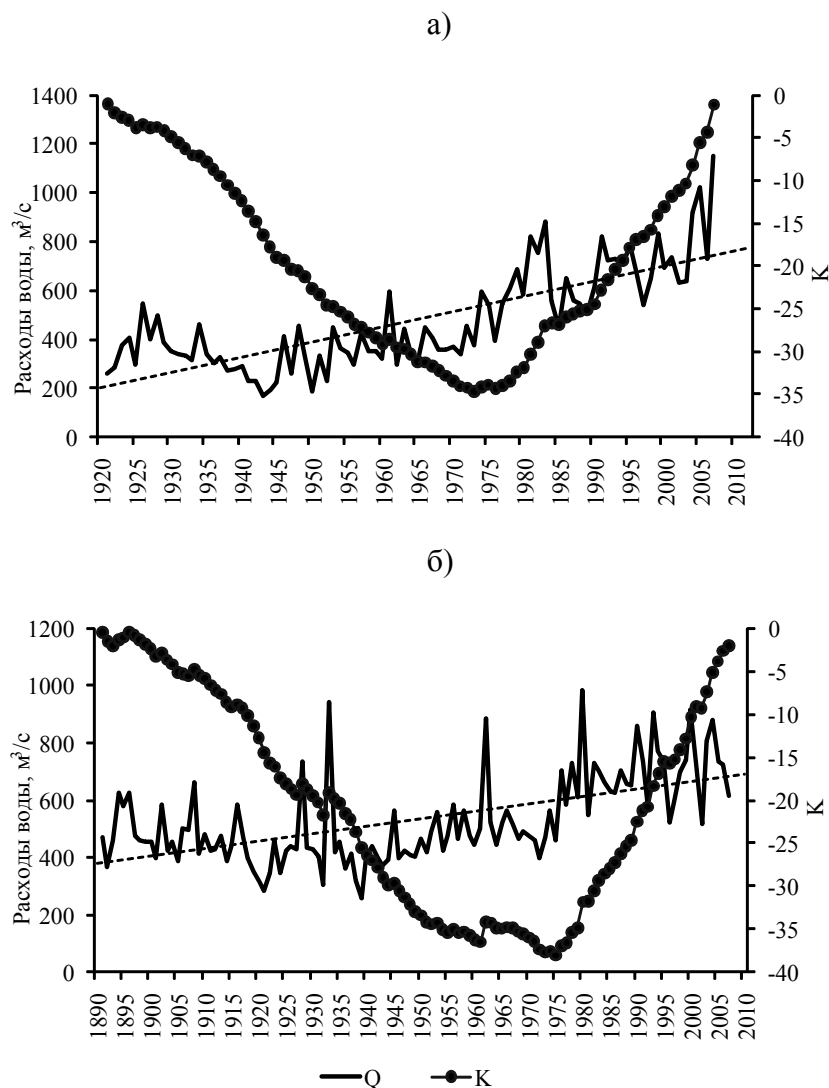


Рис. 1. Совмещенные графики динамики среднесуточных значений минимального речного стока и их разностные интегральные кривые р. Ока – г. Горбатов в зимнюю (а) и летне-осеннюю (б) межень.

Это связано как с непосредственным воздействием хозяйственной деятельности на гидрологический режим рек, так и с изменением климата. Требуется разработка современных методов количественного описания режима речного стока в нестационарных условиях.

Речной сток в меженные периоды играет большую роль для планирования и осуществления водохозяйственной деятельности. Его значения лимитируют возможности использования водных ресурсов, в связи с чем оценки характеристик минимального речного стока должны непрерывно уточняться. В условиях нестационарности формирования минимального речного стока информацию, содержащуюся в наборе данных по однородным районам, целесообразно привлечь для уточнения результатов статистической обработки, и сделать это предлагается путем применения байесовских методов оценивания и прогнозирования. Основные положения байесовской теории оценивания изложены в ряде монографий [1, 2, 3].

Необходимость применения байесовских методов вызвана как минимум двумя причинами. Во-первых, характеристики стока желательно уточнить за счет информации территориального характера, т.е. привлечь сведения об объектах-аналогах в пределах однородных районов. Вторая причина – это необходимость получения расчетных оценок в нестационарном случае, когда наблюдается существенно разное поведение процесса речного стока на разных временных интервалах (периодах), и прогноз характеризуется большой неопределенностью. Важный момент байесовского анализа – формирование априорного распределения, и предлагаемый подход состоит в построении априорной плотности по данным пространственного распределения изучаемого параметра. В качестве параметра, для которого ищется байесовская оценка, принимается соотношение средних значений минимального стока для выявленных двух отрезков временного ряда: с начала проведения наблюдения за речным стоком до 1978 г. и после 1978 г. по настоящее время. Построение прогнозной (расчетной) плотности распределения расходов воды основывается на формуле полной вероятности. Понятно, что прогнозная плотность не является полным заданием случайного процесса, поскольку представляет собой лишь одномерный закон распределения и может быть использована только для назначения расчетных значений квантилей с учетом возможного нестационарного поведения процесса.

На основе применения байесовского метода для рек в бассейне Волги рассчитаны квантили распределения минимальных значений расходов воды. Также получена прогнозная кривая обеспеченности минимальных расходов воды, основанная на придании различных весов оценкам среднего за условно однородные периоды, и вычислении прогнозной плотности с помощью формулы полной вероятности.

На рис.2 для сравнения и оценки полученных результатов приведены эмпирические кривые обеспеченности минимальных среднесуточных расходов воды для зимней (а) и летне-осенней (б) межени реки Оки у г. Горбатова для двух периодов: с начала проведения наблюдений до 1978 г. (1) и с 1978 г. по настоящее время (2), а также теоретическая кривая обеспеченности, построенная на основе применения метода Байеса (3). Из рисунка видно, что полученное решение (прогнозная кривая обеспеченности - 3) лежит между двумя эмпирическими законами распределения.

Таким образом, применение метода Байеса позволило уточнить расчетные характеристики минимального речного стока в бассейне Волги, что весьма важно для оценки формирования гидрологического режима рек в условиях современных климатических изменений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №08-05-00807-а.

Литература

1. Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова Н.И. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. М.: Наука, 2005. 318 с.
2. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 276 с.
3. Справочник по прикладной статистике / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана. Том 2. Перевод с англ. под ред. С.А. Айвазяна и Ю.Н. Тюрина. М.: Финансы и статистика, 1990. 526 с.

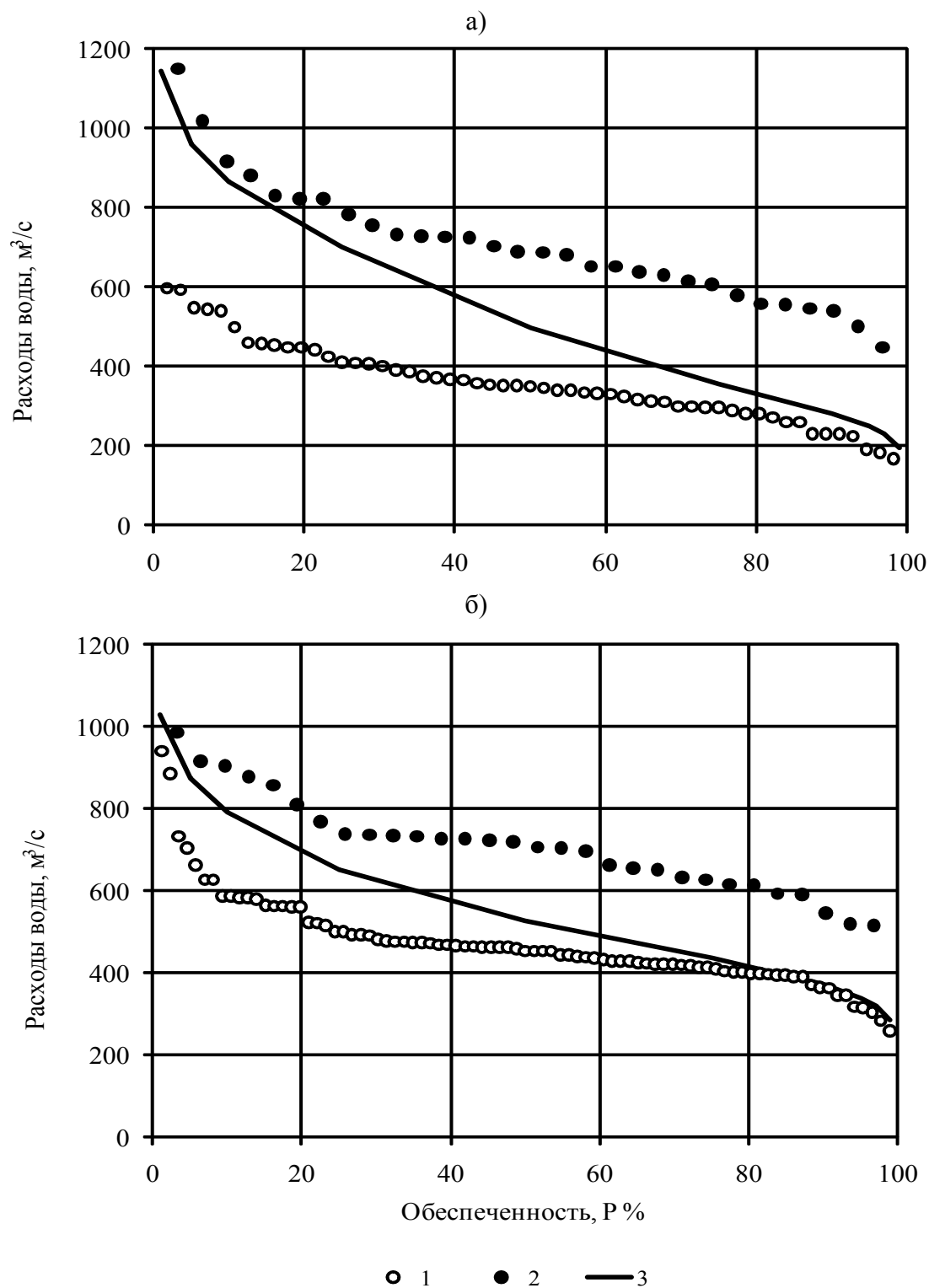


Рис. 2. Кривые обеспеченности минимальных расходов
р. Ока – г. Горбатов в зимнюю (а) и летне-осеннюю (б) межень:

- 1 – минимальные расходы за период до 1978 г.,
- 2 – минимальные расходы за период после 1978 г.,
- 3 – байесовские оценки минимальных расходов воды

РАДИОНУКЛИДЫ В ВОДЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ

Болсуновский А.Я.¹, Сухоруков Ф.В.², Жижжаев А.М.³

¹Институт биофизики СО РАН, Красноярск, radecol@ibp.ru,

²Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск,

³Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск

RADIONUCLIDES IN YENISEI RIVER

Bolsunovsky A.Ya.¹, Sukhorukov F.V.², Zhizhaev A.M.³

¹Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, radecol@ibp.ru,

²Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk,

³Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk

В работе приведены результаты многолетних исследований содержания радионуклидов в воде реки Енисей. В результате сбросов Горно-химического комбината Росатома в реку, в воде зарегистрирован широкий перечень техногенных радионуклидов, в том числе трансурановые элементы, а также повышенное содержание урана.

The paper presuits the results of the long-term study of radionuclide concentration in Yenisei River. As a result of discharges from the Mining-and-Chemical Plaut of Rosatom the Yenisei water contains a wide range of artificial radionuclides, including transuranium elements and High content of.

Река Енисей – основная водная артерия Красноярского края, по водности занимает первое место в России и является одной из крупнейших рек мира. На берегу реки вблизи г. Железногорска расположен Горно-химический комбинат (ГХК) Росатома, многолетняя деятельность которого привела к радиоактивному загрязнению поймы реки [1-4]. Прямые измерения содержания радионуклидов в отобранных пробах воды (без концентрирования) не всегда позволяют выявить техногенные радионуклиды. Для достоверного определения радионуклидов в воде необходимо применять методы концентрирования. Особенно это актуально для трансурановых элементов, оценка содержания которых требует сложной радиохимической подготовки проб и соответствующего оборудования.

Цель работы – определение содержания радионуклидов в воде реки Енисей в зоне влияния ГХК с использованием различных методов (рис.)

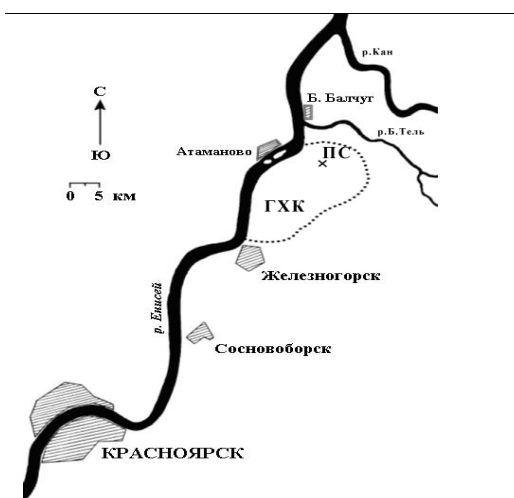


Рисунок. Карта-схема района ближней зоны влияния ГХК (Железногорск).

----- граница санитарно-защитной зоны ГХК.

ПС - полигон захоронения жидких радиоактивных отходов «Северный».

В качестве объектов исследования использованы пробы воды, отобранные в р. Енисей в летне-осенний период 2006-2009 гг. как в ближней зоне влияния ГХК на расстоянии до 15 км от места сброса (с. Атаманово и Б. Балчуг), так и на значительном расстоянии по течению реки. Объем отбираемых проб воды составлял до 150 л. Для измерения радионуклидов применен широкий спектр инструментальных методов: жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия - спектрометра "Tri-Carb 2800" (США), гамма-спектрометрия - спектрометр "Canberra" (США), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой с использованием спектрометр "Agilent" (США), альфа-спектрометрия. Измерение изотопов плутония $^{239,240}\text{Pu}$ проводили после радиохимического выделения из предварительно полученных концентратов образцов воды.

В настоящее время в реку поступают сбросы реакторного и радиохимического заводов ГХК. Вследствие этого в воде регистрируются радионуклиды как активационного происхождения, так и осколочные радионуклиды цепной реакции. Из публикации специалистов ГХК [2] следует, что в Енисей попадают следующие активационные радионуклиды: ^{24}Na , ^{32}P , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{64}Cu , ^{65}Zn , ^{95}Zr и др. Этот факт подтверждается проведенными нами измерениями содержания радионуклидов в водных растениях и других гидробионтах [3, 4]. Однако в ближней зоне влияния ГХК в пробах измеряемой воды объемом 1 литр в Институте биофизики были достоверно определены только два короткоживущих активационных радионуклида (^{24}Na , ^{239}Np), а также иногда долгоживущий ^{137}Cs . Результаты по содержанию других радионуклидов в воде были на пределе обнаружения. Для достоверного определения других активационных радионуклидов в воде был применен метод химического концентрирования с использованием соединений $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и MnO_2 [1]. Для концентрирования использовали пробы воды реки объемом 20-30 л, отобранные возле с. Атаманово в месте отбора водных растений. В качестве трассера использовали раствор изотопа ^{241}Am или ^{242}Pu . Как следует из таблицы 1, в концентрированной пробе число достоверно определяемых гамма-излучающих радионуклидов значительно увеличилось, и при этом выход по ^{241}Am составил 95%.

Таблица 1

**Радионуклидный состав проб воды реки Енисей в районе
с. Атаманово (до и после концентрирования)**

Радионуклид	Исходная проба, Бк/л	Концентрат пробы 30 л	
		Бк / 30 л	Бк/л
^{24}Na	7.5±0.3	-	-
^{46}Sc	-	0.11±0.02	0.004
^{51}Cr	-	2.6±0.2	0.087
^{60}Co	-	0.14±0.02	0.005
^{65}Zn	-	0.10±0.03	0.004
^{76}As	0.14±0.06	3.1±0.3	0.10
^{106}Ru	-	0.3±0.1	0.01
^{131}I	-	0.04±0.01	0.001
^{137}Cs	0.12±0.06	0.07±0.02	0.002
^{140}La	-	0.16±0.03	0.005
^{144}Ce	-	0.25±0.07	0.008
^{152}Eu	-	0.06±0.02	0.002
^{239}Np	0.34±0.04	8.1±0.2	0.27

Эффект концентрирования достоверно отмечен для таких радионуклидов, как ^{239}Np и ^{76}As , поскольку их содержание в концентрированной пробе действительно увеличилось в 30 раз, по сравнению с измерением в неконцентрированной пробе объемом 1 литр. Для ^{137}Cs использование данного метода концентрирования не приводит к положительному результату.

Кроме гамма-излучающих радионуклидов в воде содержатся также бета- и альфа-излучающие радионуклиды. Среди бета-излучающих радионуклидов наибольшее значение для экосистемы реки Енисей имеет ^{32}P , который активно накапливается гидробионтами, и максимальное содержание которого в воде составляет 19000 Бк/м³ (табл. 2). Наряду с ^{32}P в районе сброса и далее по течению реки регистрируются повышенные содержания трития, ^{90}Sr и изотопов плутония. На расстоянии до 330 км от ГХК содержание изотопов плутония в реке Енисей превышает фоновые значения, которые составляют для района реки выше ГХК 2-3 мБк/м³ (табл. 2). Следует отметить, что данные по содержанию изотопов плутония в воде, измеренные разными методами и приборами в институтах Новосибирска и Екатеринбурга [1] (в рамках совместных проектов), более чем на порядок превышают опубликованные данные специалистов ГХК [2]. Кроме техногенных радионуклидов, на основании данных двух институтов, в воде реки Енисей отмечено превышение содержания ^{238}U до 2.7 мг/м³. Это значение многократно превышает содержание ^{238}U в воде выше по течению от ГХК (0.35-0.55 мг/м³) и свидетельствует, что кроме техногенных радионуклидов, в сбросах ГХК в Енисей есть и ^{238}U (табл.2).

Известно, что на ГХК большая часть радиоактивных отходов закачана в подземные водоносные горизонты полигона «Северный», который расположен на водоразделе рек Енисей и Большая Тель (см. рис.). Кроме долгоживущих радионуклидов, включая трансурановые элементы, в подземные горизонты производится закачка трития. Известно, что тритий является наиболее миграционным радионуклидом в водных системах, поскольку не задерживается никакими сорбционными системами. Проведенные нами исследования выявили, что в пробах воды р. Большая Тель содержание трития в отдельные периоды более чем в 10 раз превышало фоновые значения реки Енисей и достигало 55-90 Бк/л.

Таблица 2

Радионуклиды в воде р. Енисей на разном расстоянии от места сброса ГХК

Место отбора воды	^3H , Бк/м ³	^{32}P , Бк/м ³	^{90}Sr , Бк/м ³	$^{239,240}\text{Pu}$, мБк/м ³			^{238}U , мг/м ³	
	ИБФ	ИБФ	ИГМ	[2]	[1]	ИГМ	ИХХТ	ИГМ
Выше района сброса ГХК	4000	-	6	3		2	0.35-0.55	0.47
Район сброса ГХК	120000	19000		15	2340		1.1-2.7	1.1-1.6
5 км, Атаманово	24000	3300	6-18	12	260	60-159	0.8-1.7	
15 км Балчуг	6000		4-12			42-55	1.0-1.7	
250 км, Стрелка	5000		8-17	9		26-39		
330 км г.Енисейск			5-21			99-150		

Примечание: Данные получены сотрудниками Института биофизики СО РАН (ИБФ), Института геологии и минералогии СО РАН (ИГМ), Института химии и химической технологии СО РАН (ИХХТ).

В пробах р. Большая Тель наряду с тритием был зарегистрирован техногенный радионуклид ^{14}C . Эти данные позволяют утверждать, что существует гидрологическая связь поверхностных вод с радиоактивно загрязненными подземными горизонтами полигона «Северный» [5]. Дополнительным фактом существования гидрологической связи реки Большая Тель с подземными горизонтами полигона «Северный» служат также данные по повышенному содержанию ^{238}U в воде реки. Было обнаружено, что по мере удаления от устья реки содержание урана в пробах воды имеет тенденцию к увеличению. Особенно это увеличение существенно для точки отбора удаленной на расстоянии 1000 м от устья реки, где содержание урана в сентябре 2007 года составляло 16 мг/м³. Это значение многократно превышает все полученные нами значения содержания урана в пробах воды вблизи сбросов ГХК. Совокупность полученных данных свидетельствуют о наличии гидрологической связи реки Большая Тель с подземными горизонтами хранилища жидких радиоактивных отходов полигона «Северный» ГХК.

Литература

1. Бондарева Л.Г., Болсуновский А.Я., Трапезников А.В., Дегерменджи А.Г. Использование новой методики концентрирования трансурановых элементов в пробах воды реки Енисей // ДАН. 2008. Т. 423, № 4. - с. 479-482.
2. Кузнецов Ю.В., Ревенко Ю.А., Легин В.К. и др. К оценке вклада реки Енисей в общую радиоактивную загрязненность Карского моря // Радиохимия, 1994, Т. 36, Вып.6. - С.546-559.
3. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Болсуновский А.Я. и др. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей / Новосибирск, Изд-во СО РАН. Филиал «Гео». 2004. - 287 с.
4. Bolsunovsky A. Artificial radionuclides in aquatic plants of the Yenisei River in the area affected by effluents of a Russian plutonium complex // Aquatic Ecology. 2004. V. 38 (1). PP. 57-62.
5. Bolsunovsky A., Bondareva L. Tritium in surface waters of the Yenisei River basin // J. Environmental Radioactivity. 2003. V. 66 (3), PP. 285-294.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО МГНОВЕННОГО ЕДИНИЧНОГО ГИДРОГРАФА ОСНОВАННОЙ НА УРАВНЕНИИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ РЕК ЮГА ПРИМОРЬЯ

Бугаец А.Н., ТИГ ДВО РАН, Владивосток, andrebugaets@yandex.ru

APPLICATIONS OF KINEMATIC-WAVE BASED GEOMORPHOLOGIC IUH MODEL FOR RAIN FLOODS PREDICTION IN SOUTH PRIMORYE IN RUSSIA.

Bugaets A.N., Pacific Institute of Geography, Vladivostok, FEB RAS, andrebugaets@yandex.ru

Выполнена адаптация модели KW-GIUH [1] для расчета дождевых паводков с неоднородных (в смысле ландшафтного строения) бассейнов юга Приморья. При расчете стока использован принцип разбиения бассейна мозаикой элементарных водосборов, расчетные мгновенные гидрографы которых суммируются с учетом принципа суперпозиции.

KW-GIUH model [1] was modified to make applicable for storm hydrograph simulations from midsize heterogeneous watersheds in the southeastern Primorye in Russia. Modified KW-GIUH based on concept of representative elementary area, allowed generates individual IUH for each flow path, and obtains result hydrograph as they sum with superposition principle.

Модель геоморфологического мгновенного единичного гидрографа, основанная на уравнении кинематической волны (KW-GIUH) [1], является одной из наиболее современных версий квазираспределённой модели единичного гидрографа, обязанной своим появлением развитию автоматизированных технологий анализа структуры речных систем на базе цифровых моделей рельефа (ЦМР).

Концептуальной основой KW-GIUH является представление дождя, выпадающего над водосбором с равномерной интенсивностью, состоящим из большого числа независимых капель. Каждая капля, падая на водосбор случайным образом, попадает в русловую сеть и достигает замыкающего створа по некоторому пути, выраженному в порядках системы Штраллера. Единичный мгновенный гидрограф обобщает совокупность таких путей и может быть рассчитан по геоморфологическим характеристикам водосбора.

Набор из нескольких типов путей добегания предполагает осреднение параметров водосбора и водотоков в соответствии с используемой системой порядков, которое допустимо только при высокой степени однородности бассейна, в смысле единообразия строения склонов и русел, а также равномерности покрытия слоем осадков от одного дождя. В остальных случаях подобное осреднение часто приводит к смещённости параметров функции бассейнового отклика и некоторому искусственному сглаживанию результирующего гидрографа [2].

В условиях юга Приморья неравномерность подачи воды на бассейн во времени и по площади водосбора является одним из основных факторов формирования гидрографа паводка. Разнообразие рельефа, почвенного и растительного покрова, влагонасыщенности бассейна имеют профилирующее значение в неравномерности распределения потерь дождевых вод по бассейну.

Для адаптации модели к условиям изучаемого района представляется необходимым разработку версии, значительно детальнее учитывающей пространственную неоднородность, как параме-

тров водосбора, так и осадков. В структуре модели KW-GIUN такая возможность заложена, она заключается в переходе от типов путей добегания воды к их индивидуальному учету. В этом случае, осредненные по порядкам параметры должны заменяться на конкретные значения, определенные для индивидуальных водотоков и склонов. Мгновенный единичный гидрограф при этом строится для каждого частного водосбора, расчетный сток с которых суммируется.

Метод учета пространственной неоднородности параметров подстилающей поверхности основан на концепции разбиения бассейна на универсальные единицы - «элементарные водосборы» - частный водосбор с одним водотоком у подножия обращенных к нему склонов. Размеры такого водосбора сравнительно невелики, а природные условия в нем, как правило, однородные. Элементарные водосборы рассматриваются как внутренние однородные элементы, описываемые набором осредненных геоморфологических и гидравлических параметров. [3]

Данная методика, очевидно, вполне подходит для описания пространственного распределения осадков. В этом случае поле осадков над водосбором аппроксимируется мозаикой элементов совпадающих с границами водораздельных линий элементарных водосборов. Интенсивность осадков внутри каждого элемента определяются средним значением, и остается постоянной в течение расчетного шага времени.

Для определения эффективных осадков вместо используемой в модели KW-GIUN инфильтрационной теории Хортон применяется широко опробованная в пределах юга Дальневосточного региона процедура в виде части алгоритма модели паводочного цикла (ПЦ) малого речного бассейна [4]. Определение стокообразующей части осадков методом ПЦ-модели требует наличия измеренных расходов воды. Вследствие этого предложена схема расчета, основанная на разделении дождемерных пунктов между бассейнами-индикаторами, представляющими процессы стокоформирования в разных частях водосбора по принципу однородности ландшафтных условий.

В качестве объектов исследования были выбраны 6 водосборов (табл.) в бассейне р. Комаровка. Источником информации об осадках и измеренных расходах воды послужили данные плювиографов и гидрологических постов бывшей Приморской воднобалансовой станции (ПВБС), из которых выбирались отдельные паводковые события на основе анализа ливневых осадков и прохождения тайфунов. В результате, для демонстрации способности модели имитировать сток были выбраны два паводка 1968 и 1974 г., как наиболее полно освещенные наблюдениями за осадками и стоком по всему бассейну р. Комаровки.

Паводок 16-21 августа 1968 г. связан с выходом на центральную часть Японского моря тайфуна «Полли» (Polly). В результате над территорией Приморья прошли сильные дожди, суммы осадков составили до 200 мм и более. Паводок 2-5 октября 1974 г. был обусловлен необычно активной циклонической деятельностью. Суточные осадки на отдельных станциях превышали 100 мм.

Таблица

Основные сведения о водосборах.

Река	Пункт	Площадь водосбора, км ²	Расстояние от истока, км	Ср. уклон реки, ‰	Ср. высота водосбора, м	Ср. уклон водосбора, ‰
Комаровка	Центральный	157	25	7.4	300	260
Комаровка	Садовый	395	37	5.7	260	206
Комаровка	Сах. Завод	616	61	3.4	210	105
Глуховка	Мостовой	31.1	5.9	7.2	100	62.7
Раковка	Раковский	198	35	8.3	272	137
Раковка	Опытный	755	69	3.5	130	60.8

При расчетах в модели применялся часовой шаг по времени. Предварительная оценка параметров ПЦ-модели для водосборов-индикаторов произведена в работе [4]. Интерполяция полей осадков производилась методом IDW. Источником для создания структурной основы модели по-

служила ЦРМ 10х10 м, созданная по оцифрованным горизонталям и высотным отметкам топографических карт м-ба 1:50000 (рис 1).

Подбор оптимальных параметров модели осуществлялся на основе визуального соответствия формы кривых подъема и спада измеренного и расчетного гидрографов, положения максимума и сравнения величин максимальных расходов и объемов паводков. Данный метод калибровки представляется оптимальным, поскольку тестированию подвергаются преимущественно структурная основа, компоновка и алгоритмы модели.

В качестве оценки ширины русла в замыкающем створе использовалась максимальная ширина разлива воды по пойме при экстремальных паводках. Значения шероховатости русел назначались в соответствии с общепринятыми в гидравлике рекомендациями. Шероховатость склонов назначалась постоянной и определялась путем калибровки. В эксперименте с адаптированной версией модели дополнительно использовалось пространственное распределение данного параметра в виде прямой зависимости от уклона водосбора.

Наиболее четко различия в работе компоненты стоковой модели, имитирующей процессы движения воды в русловой подсистеме бассейна, обусловленные использованием новой структурной основы, проявились на малых горных водосборах, имеющих неправильную форму и строение гидрографической сети (рис. 2, б), а так же средних (из рассмотренных) водосборов (рис. 2, в). Для малых однородных горных водосборов (рис. 2, а) главной причиной близости результатов является использование общей для обеих версий модели процедуры расчета эффективных осадков. Для больших и сложных по строению бассейнов (рис. 2, г), требуется внести изменения в уравнения движения воды по русловой сети и, очевидно, отказаться от схемы добегания отдельных объемов воды при моделировании прохождения паводка по расширенным участкам долин в нижнем течении крупных рек.



Рисунок 1. Расположение исследуемых водосборов по территории ПВБС.

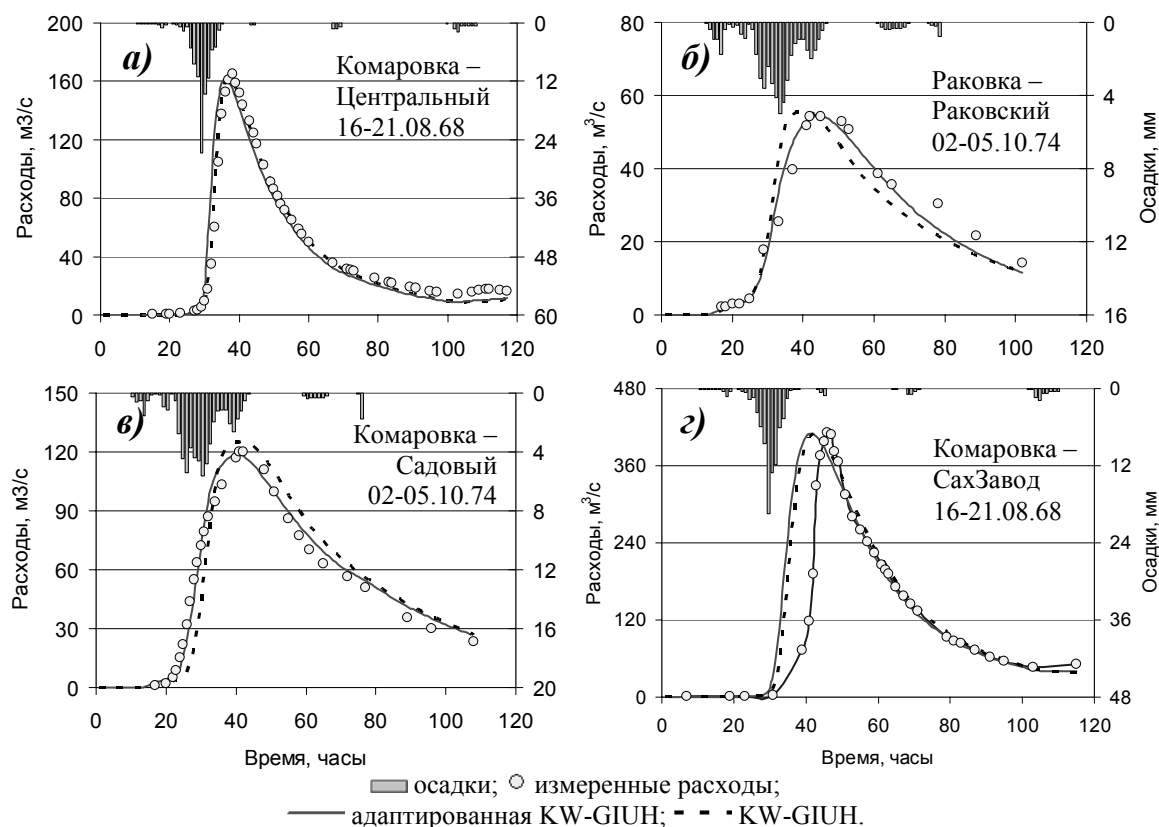


Рисунок 2. Наблюдаемый и расчетные гидрографы паводка 16-21.08.1968 г. и 2-5.10.1974 г. 0 часов соответствует 02:00 16.08.68 и 08:00 02.10.74 соответственно.

Литература

1. Lee K.T., Yen B.A. Geomorphology and kinematic-wave based hydrograph deviation // J. Hydr. Engrg. ASCE. 1997. № 123(1). PP. 73-80.
2. Ли К.Т., Чен Н.К., Гарцман Б.И., Бугаец А.Н. Современная версия модели единичного гидрографа и ее применение в Тайване и России // География и природные ресурсы. 2009. № 1, С. 144-151.
3. Гарцман Б.И., Бугаец А.Н., Тегай Н.Д., Краснопеев С.М. Анализ структуры речных систем и перспективы моделирования гидрологических процессов // География и природные ресурсы, 2008. № 2, С. 20-29.
4. Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. - 223 с.

ДИНАМИКА ЛОКАЛЬНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ОБЛАСТЕЙ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Васильев О.Ф.¹ Воронаева О.Ф.² Черных Г. Г.³

¹ИВЭП СО РАН, Новосибирск, vasiliev@ad-sbras.nsc.ru

²ИВЭП СО РАН, Новосибирск, vorop@ict.nsc.ru

³ИБТ СО РАН, Новосибирск, chernykh@ict.nsc.ru

DYNAMICS OF LOCAL TURBULENT REGIONS IN STABLY STRATIFIED FLUID

Vasiliev O.F.¹ Voropaeva O.F.² Chernykh G. G.³

¹IWEP SB RAS, Novosibirsk, vasiliev@ad-sbras.nsc.ru

²IWEP SB RAS, Novosibirsk, vorop@ict.nsc.ru

³IWEP SB RAS, Novosibirsk, chernykh@ict.nsc.ru

Рассматривается двумерная задача о развитии локализованной области турбулентных возмущений (зоны турбулентного смешения) в устойчиво стратифицированной среде. Представлены численные модели и результаты расчетов течения под воздействием фоновых гидродинамических полей, в том числе волнового пакета, индуцируемого локальным возмущением поля плотности в пикноклине, а также сдвигового потока однородной и линейно стратифицированной жидкости.

The two-dimensional problem of the development of turbulent mixing zone in a stably stratified medium is considered. The numerical models and calculations of flow under the influence of the background hydrodynamic fields, including wave packet induced by local density perturbation in pycnocline, as well as a shear flow of homogeneous and linearly stratified fluid are presented.

Динамика локальных возмущений поля плотности и турбулентных образований (зон турбулентного смешения, пятен турбулентности) оказывает существенное влияние на формирование тонкой микроструктуры гидрофизических полей в устойчиво стратифицированной жидкости. Численное моделирование подобных течений начато в СО РАН в 70-е годы [1]. В настоящее время экспериментальное, теоретическое и численное исследование эволюции одиночных локальных турбулентных и ламинарных образований проводится весьма активно (в [2] можно найти краткий обзор работ).

Математические модели течения основаны на привлечении осредненных по Рейнольдсу уравнений гидродинамики в приближении Обербека-Буссинеска. Для замыкания этой системы уравнений используется иерархия полуэмпирических моделей турбулентности – от классической двухпараметрической $(e - \epsilon)$ -модели до усовершенствованных математических моделей второго и третьего порядка, включающих дифференциальные уравнения переноса одноточечных корреляций турбулентных пульсаций скорости и плотности соответствующего порядка. Конечно-разностный алгоритм основан на введении переменных “функция тока – завихренность” и методе расщепления по пространственным переменным [3]. Детальное изложение используемых математических моделей и численного алгоритма представлено в [3,4].

Разработаны численные модели и исследовано течение, генерируемое при эволюции одиночной зоны турбулентного смешения (пятна турбулентности) в пикноклине, ширина высокоградиентной прослойки которого мала в сравнении с начальным радиусом пятна. Данное течение

характеризуется следующими этапами взаимодействия турбулентности и внутренних волн. На начальном этапе локальные турбулентные возмущения выводят частицы стратифицированной жидкости из их положения равновесия. Это приводит к генерации внутренних волн солитонного типа, амплитуда и скорость распространения которых связаны соотношением, характерным для солитонов Бенджамина-Оно. В дальнейшем перемещение солитонов в горизонтальном направлении сопровождается активной генерацией энергии турбулентности на периферии зоны смещения и формированием локальных максимумов энергии турбулентности в местах дислокации солитонов. Разработанные численные модели впервые позволили исследовать динамику течения в пикноклине на временах, сопоставимых со временем вырождения турбулентности в области смещения (порядка 20-30 периодов Вайсяля-Брента). При этом окончание взаимодействия турбулентности и внутренних волн, генерируемых областью турбулентного смещения, наблюдается, когда суммарная энергия турбулентности вырождается практически на три порядка, и волны находятся вне зоны турбулентного смещения. В случае линейно стратифицированной среды взаимодействие внутренних волн и турбулентности прекращается после полутора-двух периодов Вайсяля-Брента. (рис. 1,2)

В качестве примера расчета динамики локальных турбулентных образований в линейно стратифицированной среде рассмотрена задача о вырождении следа за самодвижущимся телом вращения, для которой имеются детальные экспериментальные измерения (экспериментальные данные Lin, Rao и результаты сопоставлений можно найти в [3,4]). Расчеты подтверждают тот факт, что для описания анизотропного вырождения нормальных компонент тензора рейнольдсовых напряжений необходимо привлекать дифференциальные уравнения переноса этих величин. Наиболее полное согласование с экспериментальными данными удастся получить лишь на основе модели третьего порядка, а именно – в случае дополнительного привлечения дифференциальных уравнений переноса тройных корреляций поля скорости, а также усовершенствованных алгебраических представлений совместных тройных корреляций пульсаций скорости и плотности [4].

Рассмотрена модельная задача о взаимодействии двух локальных (нетурбулизованных) областей перемешанной жидкости в пикноклине. При этом исходная система уравнений трансформируется в систему уравнений Эйлера в приближении Обербека-Буссинеска. Как и в случае турбулентных возмущений, при эволюции одиночного ламинарного пятна перемешанной жидкости в пикноклине могут возникать уединенные внутренние волны, перемещающиеся вправо и влево от локального возмущения. При наличии двух локальных возмущений в пикноклине численная модель описывает сближение и слияние двух волн солитонного типа, движущихся навстречу друг другу, а также их последующее разъединение и продолжение движения в исходном направлении. Столкновение волн, имеющих разные амплитуды, может привести, в частности, к заметному торможению волны меньшей амплитуды на этапе взаимодействия, что в дальнейшем проявляется в запаздывании (сдвиге фазы) этой волны в сравнении со случаем свободного движения (при отсутствии взаимодействия). При этом с достаточно высокой степенью точности можно говорить о сохранении амплитуды и скорости всех наблюдаемых уединенных внутренних волн. Весьма своеобразной оказывается и конвективная картина течения. Полученные в расчетах эффекты согласуются с известными данными лабораторных и теоретических исследований.

Построена численная модель взаимодействия плоской зоны турбулентного смещения и локального возмущения поля плотности в пикноклине. Модель основана на двумерной системе осредненных уравнений гидродинамики, замкнутой с применением модифицированной $(e - e)$ -модели турбулентности [3], включающей в себя алгебраические представления нормальных компонент тензора рейнольдсовых напряжений и вектора потоков. В начальный момент времени в высокоградиентной прослойке пикноклина задаются два возмущения: турбулентное пятно и локальное возмущение поля плотности. Локальное возмущение поля плотности генерирует две

уединенные внутренние волны, одна из которых встречается с эволюционирующим турбулентным пятном и порождается им внутренними волнами. Осуществлено численное моделирование течения в широком диапазоне параметров фонового локального возмущения поля плотности. Обнаружены ситуации, когда в результате прохождения через турбулентное пятно солитона значительной (в сравнении с характерными размерами области турбулентных возмущений) амплитуды и длины волны может наблюдаться не только существенная деформация области турбулентных возмущений, но и замедление вырождения турбулентности. При этом происходит захват и перенос турбулентного пятна солитоном от локального возмущения поля плотности. Таким образом, взаимодействие пакета уединенных внутренних волн, генерируемых локальным возмущением поля плотности в пикноклине, с локальной областью турбулентных возмущений может продлить «жизнь» последней.

Выполнено численное моделирование эволюции зоны турбулентного смешения в линейно стратифицированной по плотности среде под воздействием однородного сдвигового потока. Осуществлена серия численных экспериментов для достаточно широкого диапазона чисел Ричардсона; рассмотрен также случай однородной по плотности среды. Результаты расчетов демонстрируют существенное влияние сдвигового течения на геометрию пятна, процесс вырождения турбулентности, генерацию и распространение внутренних волн.

Исследования выполнены при финансовой поддержке СО РАН (в рамках интеграционных проектов СО РАН № 23, 103) и РФФИ (гранты 09-05-01149, 10-01-00435а).

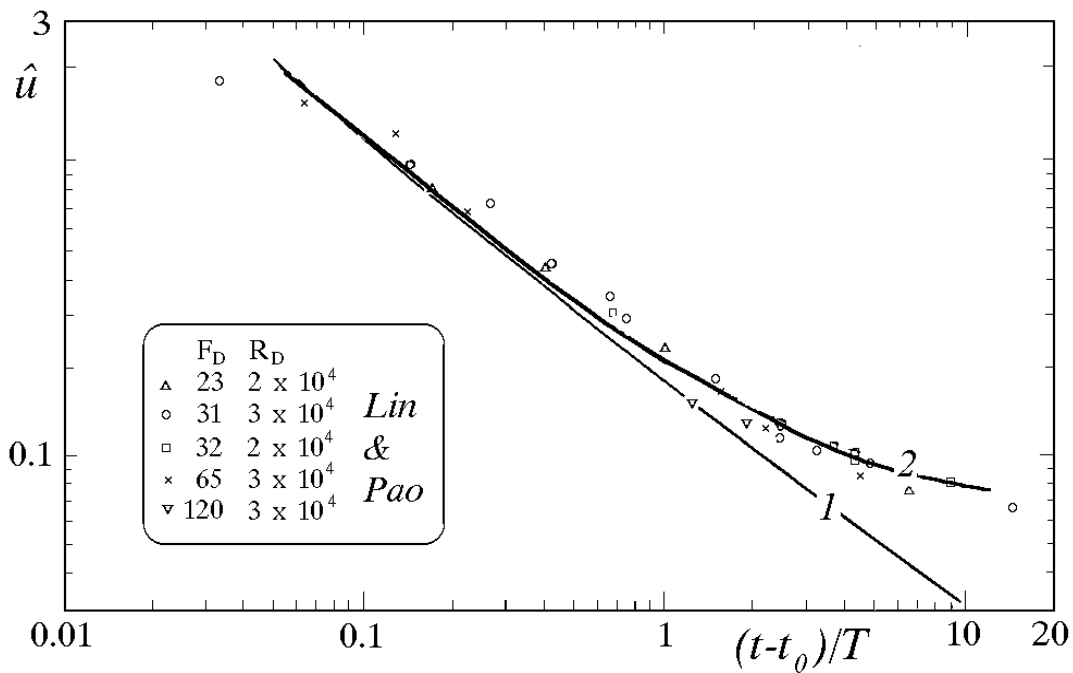


Рисунок 1. Изменение интенсивности флуктуаций продольной компоненты скорости на оси без импульсного следа в линейно стратифицированной среде:

1 – модель второго порядка [3], 2 – модель третьего порядка [4].

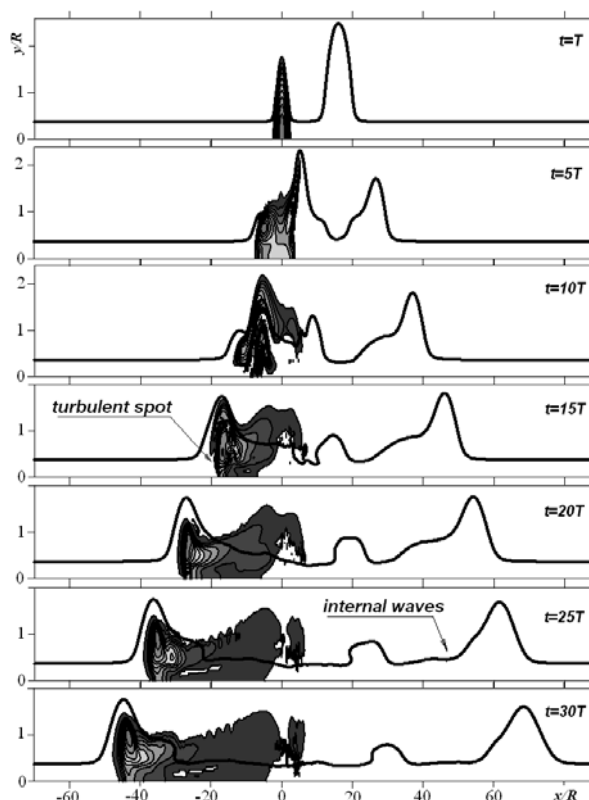


Рисунок 2. Взаимодействие зоны турбулентного смешения и локального возмущения поля плотности в пикноклине (T - период Вайсяля-Брента).

Литература

1. Васильев О.Ф., Кузнецов Б.Г., Лыткин Ю.М., Черных Г.Г. Развитие области турбулизованной жидкости в стратифицированной среде. Изв. АН СССР. МЖГ. 1974. № 3. - С. 45-52.
2. Chashechkin Yu.D., Chernykh G.G., Voropayeva O.F. The Propagation of a Passive Admixture from a Local Instantaneous Source in a Turbulent Mixing Zone. IJCFD. 2005. V.19. No. 7. PP. 517-529.
3. Chernykh G.G., Voropayeva O.F. Numerical modeling of momentumless turbulent wake dynamics in a linearly stratified medium // Computers and Fluids. 1999. V. 28. No. 3. PP. 281-306.
4. Васильев О.Ф., Воронаева О.Ф., Черных Г.Г. Численное моделирование анизотропного вырождения турбулентности в дальнем следе за самодвижущимся телом в линейно стратифицированной среде. ДАН. 2009. Т. 26. № 5. С. 621-625.

ГЕОХИМИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОРОДАХ И В ВОДАХ БЕРЕЗИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Vakh E.A., Haritonova N.A. ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, Adasea@mail.ru

HYDROLOGICAL REGIME OF THE VOLGA BASIN RIVER SYSTEMS ON THE CONDITIONS OF THE UP-TO-DATE CLIMATIC CHANGES

Vakh E.A., Haritonova N.A. Far Eastern Geological Institute, Vladivostok, Adasea@mail.ru

В статье приведены пионерные данные по геохимии и распределению редкоземельных элементов (РЗЭ) в водовмещающих породах и в водах на Березитовом месторождении (Амурская область). Полученные данные показывают, что воды месторождения имеют очень высокие концентрации РЗЭ, по сравнению с другими месторождениями Приморья. Показано, что профиль распределения РЗЭ в воде до некоторой степени повторяет профиль распределения РЗЭ в породе.

This paper presents pioneer data about geochemistry and distribution rare earth elements (REEs) into sedimentary bedrocks and in waters on Berezitov deposit (Amur region). Obtained data indicate that waters have very high content REEs in comparison with other spa of Primorye. It is shown that the profile of the REEs in water replicates the REEs profiles into sedimentary bedrocks to some extent.

Редкоземельные элементы (РЗЭ), называемые еще лантаноидами, представляют собой группу элементов, обладающих сходными химическими свойствами, несмотря на различия их концентраций в водах и земной коре. При изучении поверхностных и подземных вод различия обычно минимизируют, используя стандарты сравнения, такие, как североамериканский сланец (NASC) и др [3].

Редкоземельные элементы в природных водах являются в настоящее время объектом детального исследования. Последние выполненные работы в этой области показали, что поверхностные и подземные воды наследуют уникальные черты распределения РЗЭ пород, через которые они протекают. Соответственно, РЗЭ могут быть использованы для выяснения процессов происхождения и эволюции вод.

Для понимания процессов фракционирования и формирования скоплений редкоземельных элементов, в том числе в промышленных количествах, важно изучать их поведение в контрастных природных обстановках и особенно в условиях разного рода геологических барьеров.

Основной целью нашей работы является определение содержаний и распределения РЗЭ в водовмещающих породах и подземных водах на Березитовом золото-полиметаллическом месторождении.

В 2007 году горнорудное предприятие ООО «Березитовый рудник», учредителями которой являются ООО «Бурятзолото» и канадская золотодобывающая компания High River Gold, приступило к промышленному освоению Березитового золото-полиметаллического месторождения. В связи с этим появилась возможность дальнейшего научного изучения этого месторождения, которое в ближайшем будущем может отойти к категории «исчезнувших» геологических природных объектов.

Березитовое золото-полиметаллическое месторождение расположено на северо-западном фланге Приамурской золоторудной провинции в бассейне нижнего течения р. Хайкта, крупного

правого притока р. Большой Ольдой [1]. Оно выявлено в 1932 г. Ольдойским приисковым управлением в верховьях руч. Константиновского и первоначально получило название Константиновское месторождение, а позже было переименовано в Березитовое [1].

Месторождение локализовано в активизированных структурах юго-восточной части Северо-Азиатского кратона, в зоне сочленения его с образованиями северного обрамления Тукурингра-Джагдинского террейна Монголо-Охотского орогенного пояса [1]. Более подробно геологическая характеристика месторождения рассмотрена в ряде публикаций [1].

Образцы водовмещающих пород отбирались непосредственно на месторождении. Содержание РЗЭ было определено в АСИЦ ВИМС Москва на приборе Optima-4300 (масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой) и Elan-6100 (атомно-эмиссионный спектрометр). Ошибка измерения составляет не более 5% RSD. Пробы для анализа на РЗЭ предварительно фильтровались на месте отбора через целлюлозный фильтр (0,45 µm) и были подкислены азотной кислотой до pH 2. Концентрации РЗЭ в воде определялись в ДВГИ ДВО РАН на масс-спектрометре Agilent 7500 с (аналитик Еловский Е.В.). Ошибка измерения всех РЗЭ составляет не более 5% RSD.

Детальное минералогическое и петрографическое исследование показало, что наиболее распространенные рудные минералы месторождения представлены галенитом, сфалеритом, пиритом и пирротинитом; второстепенные - магнетитом, халькопиритом, арсенопиритом, марказитом, ильменитом и самородным золотом. К числу редко встречающихся минералов относятся: станнин, шеелит, теннантит, молибденит, гематит, халькозин, самородный висмут¹, висмутовый меггинит¹, сурьмянистый бурсаит-козалит, иорданит¹, буланжерит¹, джемсонит¹. Некоторыми исследователями отмечаются: патронит, шеелит, халькозин, аргентит, висмутин, самородная медь, алтаит, калаверит, киноварь, касситерит. Вторичные минералы представлены ярозитом, лимонитом, гидрогетитом, малахитом, ковеллином, халькантитом, англезитом, церусситом, смитсонитом. Основными полезными компонентами руд являются золото, серебро, свинец, цинк и кадмий. Максимальные содержания в рудах: золота – 365 г/т, серебра – 231 г/т, цинка – 10%, свинца – 9%. Содержание кадмия в сфалерите колеблется от 0,2 до 0,35%.

Данные по концентрации РЗЭ в породе и в воде приведены в таблице 1. Из таблицы видно, что порода Березитового месторождения обогащена РЗЭ. Общая сумма РЗЭ зависит от типа породы, концентрации варьируются от 134,5 мг/кг (габбро-амфиболитах и кварцевых диоритах кенгуракского комплекса раннего архея) до 228,65 (дайки метапорфириров гранат-мусковит-биотит-кварц-анортитового состава). Сравнивая содержание РЗЭ в породе с месторождения минеральных вод Приморья, например месторождении Горноводное сумма РЗЭ в породе варьируется от 124,8 до 134,07, а на Фадеевском месторождении - от 146,3 до 201,3, видно, что сумма содержания РЗЭ – схожа [2].

Анализ данных показывает, что все породы обогащены легкими РЗЭ и обеднены тяжелыми РЗЭ с $(La/Yb)_{SN} = 1.2-2.5$. Соотношение между легкими и тяжелыми содержаниями РЗЭ в породе изменяются в зависимости от типа породы. Отношение Y/No для всех образцов пород (примерно одинаковы), лежат в пределах от 24,4 до 28,8 и схожи со значением хондрита 28,1. Наиболее высокие концентрации РЗЭ в породах 7 группы – это дайки метапорфириров гранат-мусковит-биотит-кварц-анортитового состава.

Во всех образцах пород были посчитаны аномалии. Выявлена положительная и отрицательная Eu-аномалия $(Eu/Eu^*) = 0,5-(-0,09)$ и отрицательная Ce-аномалия $(Ce/Ce^*) = -0,04-(-0,05)$. В наших образцах также была обнаружена отрицательная Dy-аномалия $(Dy/Dy^*) = -0,06-(-0,09)$. Причина Dy-аномалия пока не ясна и будет являться объектом для дальнейших исследований.

Содержание РЗЭ в водах месторождения Нижние Лужки почти на 5-7 порядков меньше, чем

¹ Минералы, установленные А.С. Вахом.

Таблица 1. Содержание редкоземельных элементов в водах и в породах Березитового рудного поля

Элементы	Вода (мг/л)									Порода (мг/кг)						
	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr7	Pr8	Pr9	I	II	III	IV	V	VI	VII
La	0,349	346,6	353,5	345,7	289,3	308,2	0,883	5,506	1442	23,37	38,01	37,35	43,42	52,57	27,32	45,01
Ce	0,360	1016	1027	1020	711,1	676,7	1,311	6,114	5691	47,38	76,39	73,41	85,00	102,26	50,79	89,17
Pr	0,076	133,2	135,1	134,2	76,28	64,20	0,227	0,507	842,2	5,48	9,31	8,18	9,24	11,06	5,40	10,28
Nd	0,273	627,5	632,1	624,4	297,1	227,2	0,871	1,887	4247	20,65	38,76	29,83	33,59	39,70	18,83	38,70
Sm	0,043	127,5	129,2	127,6	51,66	36,49	0,150	0,203	1053,9	4,25	7,55	5,25	5,62	6,78	3,03	6,43
Eu	0,010	21,81	22,09	21,86	9,221	6,874	0,028	0,043	179,7	1,08	5,95	1,24	1,18	1,30	0,76	1,96
Gd	0,041	134,1	136,1	134,7	55,57	46,43	0,133	0,424	993,8	3,99	7,96	4,82	5,42	6,78	2,84	6,25
Tb	0,004	18,05	18,43	18,20	6,955	5,984	0,016	0,046	142,2	0,57	1,11	0,66	0,71	0,94	0,38	0,86
Dy	0,030	95,12	97,89	96,62	34,85	31,62	0,086	0,246	775,7	3,32	6,17	3,76	3,75	5,59	2,09	4,83
Ho	0,006	16,18	16,56	16,28	5,786	5,384	0,016	0,048	125,3	0,69	1,16	0,71	0,77	1,17	0,45	0,97
Er	0,019	40,78	41,62	41,08	14,07	13,22	0,045	0,119	329,6	1,93	3,23	2,00	2,01	3,23	1,37	2,50
Tm	0,002	4,693	4,813	4,735	1,535	1,399	0,006	0,011	37,16	0,30	0,41	0,32	0,33	0,49	0,22	0,37
Yb	0,020	27,38	28,07	27,63	8,599	7,540	0,042	0,045	226,6	1,86	2,88	1,88	2,03	3,18	1,67	2,24
Lu	0,003	3,802	3,907	3,846	1,187	1,029	0,006	0,007	31,13	0,31	0,44	0,32	0,31	0,49	0,27	0,35
Y	0,196	440,1	448,1	449,1	166,6	176,9	0,461	4,533	3623	18,32	30,21	19,25	18,99	29,40	11,74	24,87
LREE	1,113	2273	2299	2274	1434	1319	3,472	14,26	13456	119,6	175,9	163,1	201,4	198,2	128,6	210,3
HREE	0,129	340,2	347,3	343,1	128,6	112,6	0,351	0,948	2661	14,91	23,37	13,54	16,15	15,09	11,78	18,35
Y/Ho	30,81	27,18	27,05	27,57	28,79	32,86	29,39	92,54	28,89	27,07	25,96	27,44	24,41	25,26	27,36	25,72
(La/Yb)/sn	1,623	1,226	1,219	1,212	3,259	3,959	2,022	11,67	0,616	1,216	1,278	2,493	2,507	1,949	1,795	2,202
Eu/Eu*	0,052	-0,12	-0,12	-0,12	-0,11	-0,13	-0,04	-0,22	-0,09	0,048	0,541	0,038	0,034	-0,09	0,03	0,124
Ce/Ce*	-0,31	0,002	-0,01	0,002	0,017	0,018	-0,19	-0,15	0,012	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05	-0,03	-0,04	-0,04
Dy/Dy*	-0,06	-0,06	-0,05	-0,05	-0,07	-0,06	-0,06	-0,08	-0,04	-0,06	-0,06	-0,08	-0,09	-0,08	-0,06	-0,09

Примечание: Название проб воды: 1-4 – рудничные воды Березитового месторождения (1 – штольня № 5, 2-4 – штольня № 2); 5-6 – поверхностные воды руч. Константиновского; 7 – поверхностные воды р. Хайкта; 8 – поверхностные воды руч. Орогжан; название проб пород: I – габбро-амфиболиты и кварцевые диориты кенгуракского комплекса раннего архея; II-III – интрузивные породы позднестанового комплекса (?) раннепротерозойского возраста (II – гнейсовидные гранодиориты; III – порфировидные гранодиориты и граниты); IV-VII – рудоносные образования Березитового месторождения (IV – турмалин-гранат-кварц-мусковитовые метасоматиты с золото-полиметаллической минерализацией северной части зоны; V – турмалин-гранат-мусковит-кварцевые метасоматиты с золото-полиметаллической минерализацией центральной части зоны; VI – гранат-ортоклаз-биотит-анортит-мусковит-кварцевые метасоматиты с существенно пиритовой минерализацией краевых частей зоны; VII – дайки метапорфиров гранат-мусковит-биотит-кварц-анортитового состава.

в водовмещающей породе, но гораздо выше по сравнению с месторождениями минеральных вод Приморья. Воды месторождения, также как породы, обогащены легкими РЗЭ и деплетированы тяжелыми. Такая закономерность в содержании легких и тяжелых РЗЭ в воде вызвана взаимодействием в системе вода-порода. В водах месторождения в отличие от пород обнаруживается слабая Ce-аномалия ($Ce/Ce^* = 0,01 - (-0,3)$). Также есть и отрицательная Eu-аномалия ($Eu/Eu^* = -0,22$).

Полученные результаты позволяют судить о том, что:

-самые высокие концентрации РЗЭ наблюдаются в породах 7 группы - это дайки метапорфиров гранат-мусковит-биотит-кварц-анортитового состава;

-воды месторождения имеют намного более низкие концентрации РЗЭ, чем водовмещающие породы, но их достаточно много, по сравнению с содержанием РЗЭ на месторождениях минеральных вод Приморья. Такое высокое содержание обусловлено активным взаимодействием в системе вода-порода;

-профиль распределения РЗЭ в воде до некоторой степени повторяет профиль распределения РЗЭ в породе.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН, грант №10-3-B-08-196.

Литература

1. Вах А.С., Моисеенко В.Г., Степанов В.А., Авченко О.В. Березитовое золото-полиметаллическое месторождение // ДАН, 2009. Том 425, № 2. С. 204-207.
2. Вах Е.А., Еловский Е.В. Содержание РЗЭ в минеральных водах и водовмещающих породах Фадеевского месторождения (Приморский край) // Вестник ДВО РАН. 2010. № 1 - С. 114-119.
3. Чудаева В.А., Чудаев О.В. Поведение редкоземельных элементов в условиях смешения вод разных типов (О. Кунашир, Курильские острова) // Тихоокеанская Геология. 2010. Том 29, № 2, - С. 97-111.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БОЛОТНЫХ ВОД ОЛИГОТРОФНОГО ЛАНДШАФТА ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Веретенникова Е.Э.

Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН, Томск, lena2701@yandex.ru

BOG WATER CHEMISTRY OF OLIGOTROPHIC LANDSCAPE OF SOUTH TAIGA ZONE OF WESTERN SIBERIA

Veretennikova E. E.

Institute of monitoring of climatic
and ecological systems SB RAS, Tomsk, lena2701@yandex.ru

Анализируются результаты химического состава болотных вод на различных биогеоценозах олиготрофного ландшафта. Рассматривается динамика химического состава вод в течение теплого периода года.

Results of a bog water chemistry from variant plant communities of oligotrophic landscape are analyzed. Dynamics of a chemical compound of waters during the vegetative season is considered.

Гидрологическая роль болот в биосфере заключается в том, что они служат аккумуляторами огромной массы пресной воды уникального «болотного» состава. Роль болотных вод чрезвычайно важна в снабжении рек основными веществами, имеющими болотное происхождение. Поступление болотных вод в реки и нижележащие водоносные горизонты способствует понижению рН, жесткости и концентрации главных ионов в воде, увеличению содержания Fe, Mn и других элементов и, в особенности, органического вещества. Западно-Сибирская равнина - крупнейшая на земном шаре, характерной особенностью которой является сильная заболоченность. В Западной Сибири объем такой воды достигает 1000 км³. Таким образом, изучение вещественного состава вод в торфяно-болотных экосистемах, несомненно, актуально. В данной работе приводятся исследования вещественного состава болотных вод в различных биогеоценозах (БГЦ) олиготрофного ландшафта.

Олиготрофный ландшафт расположен в юго-восточных отрогах Васюганского болота (стационар «Васюганье», Томская область). Болотную воду отбирали из колодцев (глубина колодцев 1 м) на трех БГЦ, наиболее характерных для олиготрофного типа болот: сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз (высокий рям – п. 2 и низкий рям – п. 3), открытая осоково-сфагновая топь (п. 5).

Макрокомпонентный состав вод выполнялся общепринятыми методиками [4] в лаборатории общих анализов ИСХиТ РАСХН (г. Томск). Определение микроэлементов проводилось количественным атомно-эмиссионным анализом в лаборатории минералогии и геохимии Томского государственного университета.

Результаты химического состава болотных вод, отобранных на исследуемых БГЦ олиготрофного ландшафта представлены в таблице. В целом, болотные воды по содержанию основных компонентов и микроэлементов не отличаются от ранее полученных результатов по этой же территории [2, 3]. По сравнению с болотными водами России [1], воды исследуемой территории отличаются более высоким содержанием Ca²⁺, Mg²⁺ (2-2,5 раза), что определяется подстилающими породами, которые на данной территории являются карбонатными.

**Химический состав болотных вод олиготрофного ландшафта
за период 2002-2003 гг. исследования**

Компоненты, мг/л	Осоково-сфагновая топь (п.5)	Низкий рям (п.3)	Высокий рям (п.2)
pH	<u>3,67-5,34</u> 4,30	<u>3,50-4,43</u> 3,19	<u>4,15-5,54</u> 4,59
Ca ²⁺	<u>0,57-5,4</u> 2,58	<u>0,40-8,60</u> 3,40	<u>1,20-8,40</u> 7,12
Mg ²⁺	<u>0,15-3,7</u> 1,47	<u>0,28-4,40</u> 2,12	<u>0,94-4,20</u> 2,08
K ⁺	<u>0,72-2,50</u> 1,60	<u>1,00-3,00</u> 1,68	<u>0,77-2,13</u> 1,47
NH ₄ ⁺	<u>0,16-0,74</u> 0,33	<u>0,31-0,69</u> 0,43	<u>0,31-0,88</u> 0,57
Fe _{общ.}	<u>0,17-2,90</u> 1,56	<u>0,21-3,50</u> 1,79	<u>0,52-5,0</u> 3,15
Cl ⁻	<u>0,70-2,60</u> 1,18	<u>0,40-2,80</u> 1,14	<u>0,50-3,10</u> 1,26
SO ₄ ²⁻	<u>0,10-1,30</u> 0,46	<u>0,20-0,90</u> 0,62	<u>0,50-1,80</u> 1,10
NO ₃ ⁻	<u>0,01-1,03</u> 0,39	<u>0,13-2,54</u> 0,58	<u>0,20-23,90</u> 2,84
NO ₂ ⁻	<u>0,004-0,008</u> 0,006	<u>0,006-0,012</u> 0,009	<u>0,006-0,011</u> 0,008
ГК ⁻	<u>3,40-18,20</u> 7,58	<u>5,27-9,86</u> 7,57	<u>2,38-13,30</u> 7,85
ФК ⁻	<u>25,70-81,40</u> 49,43	<u>38,70-72,40</u> 56,65	<u>44,44-95,50</u> 66,77

C _{в.р.}	<u>36,30-115,60</u> 60,50	<u>59,10-89,80</u> 75,23	<u>54,90-145,60</u> 106,85
Pb ²⁺	<u>0,26-2,46</u> 0,64	<u>0,41-2,28</u> 0,91	<u>0,99-1,84</u> 1,46
Cu ²⁺	<u>0,32-12,20</u> 3,83	<u>0,19-6,78</u> 2,13	<u>0,48-16,72</u> 7,29
Mn ²⁺	<u>1,25-114,00</u> 58,98	<u>4,27-130,40</u> 44,63	<u>13,60-256,50</u> 61,75
Ba ²⁺	<u>0,34-29,90</u> 17,47	<u>14,28-46,90</u> 33,47	<u>11,96-76,30</u> 44,13
Sr ²⁺	<u>0,91-30,40</u> 16,81	<u>10,60-64,60</u> 33,77	<u>11,04-359,00</u> 95,89
Ni ²⁺	<u>0,09-3,47</u> 1,28	<u>0,74-1,74</u> 1,27	<u>0,68-7,19</u> 3,39
Cr ⁶⁺	<u>0,34-0,62</u> 3,16	<u>2,04-18,70</u> 7,97	<u>3,05-7,36</u> 4,20
M	<u>26,00-262,00</u> 133,30	<u>102,0-218,0</u> 146,0	<u>86,00-318,00</u> 201,10

Примечание: содержание микроэлементов приведено в мкг/л.

Вдоль фильтрационного потока от центральной части ландшафта (осоково-сфагновой топи) к его окраине (высокий рям) происходит увеличение концентрации компонентов. Установлено, что в болотных водах высокого рям статистически значимо выше средние значения pH, концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, NH_4^+ , FK^- , углерода водорастворимого ($\text{C}_{\text{в.р.}}$), Cu^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} по сравнению с водами осоково-сфагновой топи и низкого рям.

Следует отметить, что химический состав вод осоково-сфагновой топи и низкого рям в значительной степени схож. Статистически значимые различия выявлены только по содержанию FK^- , концентрации которых несколько выше в болотных водах низкого рям. Близость химического состава болотных вод на осоково-сфагновой топи и низком рям объясняется строением торфяных залежей, которые на обоих БГЦ до глубины 1 м сложены верховыми торфами. Таким образом, в центральной части ландшафта (осоково-сфагновая топь и низкий рям) болотные воды характеризуют олиготрофный тип торфообразования. В пределах высокого рям с небольшой мощностью торфяной залежи (1 м), сформированной в основном торфами переходного типа, формируются воды мезотрофного состава о чем свидетельствует их химический состав. Кроме того, торфяная залежь высокого рям на исследуемом ландшафте является геохимическим барьером для мигрирующих веществ с повышенных частей ландшафта, в том числе и с открытой топи [3].

Рассмотрим динамику элементов в болотных водах в течение вегетационного периода. Наиболее четко динамика проявляется в отношении Ca^{2+} , Mg^{2+} , FK^- , $\text{C}_{\text{в.р.}}$, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , Cu^{2+} и М. Минимальные концентрации компонентов наблюдаются в мае, когда увеличивается сток с болот и происходит перемешивание болотных вод талыми. Концентрации элементов в среднем составили (мг/л): Ca^{2+} - 1,73, Mg^{2+} - 0,60, NH_4^+ - 0,30, $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ - 1,31, FK^- - 39,44, Sr - 36 мкг/л, Mn - 31,5 мкг/л (Рис. 1).

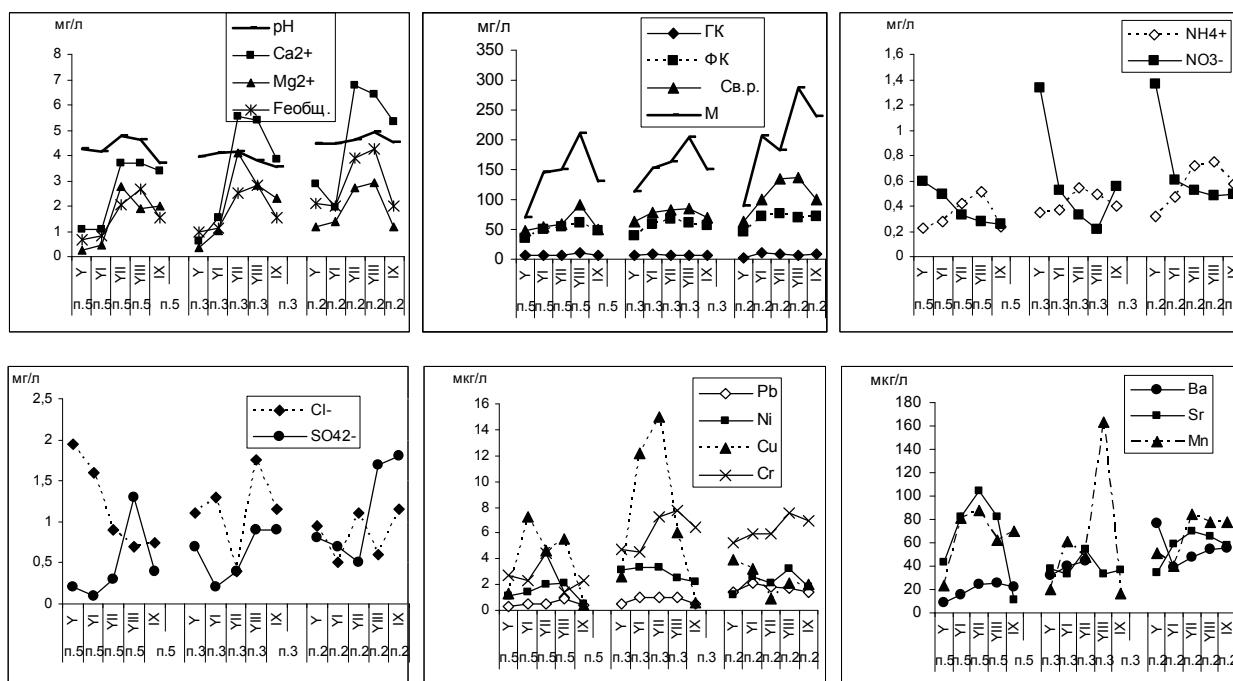


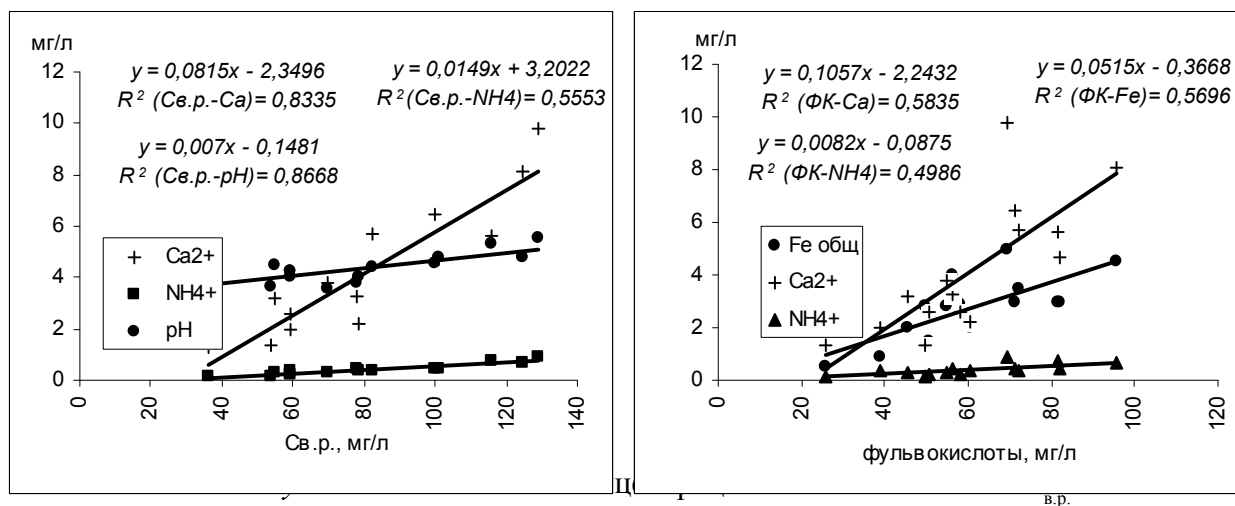
Рисунок 1. Сезонная динамика макро- и микроэлементов в болотных водах олиготрофного ландшафта

В период активной вегетации, на фоне повышения температуры воды и интенсивного испарения с поверхности болот, возрастает концентрация минеральных компонентов, вследствие чего, увеличивается М болотных вод. Концентрации FK^- в июле-августе в среднем составила 65 мг/л, Ca^{2+} - 6,5, Mg^{2+} - 1,83, $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ - 2,9, NH_4^+ - 0,58, Sr^{2+} - 76,0 мкг/л, Mn^{2+} - 112 мкг/л. Здесь необходимо

отметить, что значительную роль в формировании химического состава болотных вод, его динамику и миграцию в ландшафте оказывает органическое вещество, (ОВ) которое, как было уже показано выше, в болотных водах в основном представлено ФК^- и $\text{C}_{\text{в.р.}}$. В процессе биохимического разложения ОВ торфов происходит активное взаимодействие его с ионами металлов, в результате чего формируются прочные металл-органические комплексы. На рисунке 2 приведены корреляционные зависимости между некоторыми компонентами болотных вод, имеющими наиболее тесную связь с ОВ. Обнаружены также слабые корреляции ФК^- с некоторыми микроэлементами, такими как Sr^{2+} и Mn^{2+} .

Противоположна динамика нитратов и нитритов. В середине вегетационного периода за счет усиления потребления питательных веществ растительностью и повышения активности бактерий-нитрификаторов, концентрации NO_3^- и NO_2^- минимальны, в среднем составили 0,39 и 0,004 мг/л, соответственно. Осенью и весной, когда жизнедеятельность микроорганизмов понижена, концентрации NO_2^- и NO_3^- достигают наибольших значений (0,76 и 0,012 мг/л, соответственно).

В динамике Cu^{2+} четкой закономерности не прослеживается, максимальные концентрации обнаруживаются как в летние, так и весенние периоды. Сезонная динамика менее выражена в отношении Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{6+} и Ba^{2+} . Эти элементы характеризуются стабильными концентрациями в течение всего теплого периода года.



в болотных водах олиготрофного ландшафта.

Поскольку химический состав вод исследуемого ландшафта в основном определяется интенсивностью биологических и биохимических процессов, а также рядом гидрометеорологических факторов (испарение, инфильтрация), то прямой зависимости между уровнем болотных вод и их химическим составом не прослеживается.

Заключение. На формирование химического состава болотных вод олиготрофного ландшафта оказывают влияние биологические и биохимические процессы, активно протекающие в торфяных залежах. Прослеживается пространственное изменение болотных вод вдоль фильтрационного потока. Наибольшая концентрация практически всех компонентов отмечается в водах высокого рья, характеризующегося как геохимический барьер. Результаты сезонной динамики показали, что весной, в период активного снеготаяния, концентрация основных компонентов и некоторых микроэлементов снижается. Летом, в период активной вегетации на фоне усиления биохимических и биологических процессов в торфяных залежах, концентрация компонентов в водах возрастает.

Литература

1. *Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В.* Водные ресурсы болот России и оценка их химического состава // География и природные ресурсы. 1998. - № 2. - С. 79-84.
2. *Инишева Л.И., Езупенок Е.Э.* Болотные воды и их влияние на химический состав рек // Материалы регионального совещания по созданию регистра выбросов и переноса загрязнителей. – Барнаул, 2004. - С. 186-195.
3. *Инишева Л.И., Инишев Н.Г.* Элементы водного баланса и геохимическая характеристика олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири // Водные ресурсы. – 2001. – т. 28. № 4 - С. 410-417.
4. Унифицированные методы исследования качества вод. – М.: СЭВ, 1983. т. 2. ч. 1. – 195 с.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Воистинова Е.С., Парфёнова Г.К., Томский государственный
университет, Томск, elenavoistinova@yandex.ru

HYDROCHEMICAL PECULIARITIES OF SURFACE WATER ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION

Voistinova E.S., Parfenova G.K., Tomsk State University,
Tomsk, elenavoistinova@yandex.ru

В работе рассматривается ионно-солевой состав поверхностных вод в качестве критерия оценки техногенных изменений на примере бассейна реки Томь, имеющей значительное антропогенное воздействие.

This work considers the ion-salt surface water composition as a criterion of anthropogenic transformation estimation by the example Tom river basin.

Качество природных вод является показателем соответствующих условий окружающей среды. В течение длительного времени процессы формирования качества вод находились под влиянием природных факторов. Однако ещё в древности люди стали строить гидротехнические сооружения и использовать воду для орошения. Существуют гипотезы, что гибель древних цивилизаций была вызвана истощением водных источников. В последние годы важным, а иногда и определяющим фактором качества вод, служит деятельность человека. В промышленно развитых, густонаселённых регионах водные объекты используются интенсивно и, соответственно, испытывают антропогенную нагрузку комплексного характера: бытовые и производственные сточные воды, сток с городских территорий. Всё это вызывает изменение количественных и качественных характеристик водных объектов. Изучение антропогенных изменений гидрохимических показателей качества вод актуально с позиции принятия санитарно-гигиенических критериев качества вод, так как принятая в настоящее время концепция ПДК не отражает всего спектра воздействия на окружающую среду. Проявлением техногенной трансформации поверхностных вод является изменение ионно-солевого состава вод, который сформировался в определённых физико-географических условиях региона. В работе проведён расчёт структуры ионно-солевого состава поверхностных вод на примере бассейна реки Томь.

В поверхностные водотоки компоненты солевого состава поступают со сточными водами различных отраслей промышленности: производство соды, серной и азотной кислот, капролактама, минеральных удобрений, цветной и черной металлургии, угольной добычи, деревообрабатывающего производства и т.д. По данным обобщений А.М. Никанорова, В.В. Циркунова, опубликованных в [1], отмечается, что в реках, испытывающих сильное антропогенное влияние, наблюдается наибольшее увеличение концентрации ионов Cl^- , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и SO_4^{2-} (до 300–600%) и наименьшее – ионов HCO_3^- (до 20–40%), минерализация возрастает до 100–150%.

Исходя из определений О.А. Алёкина [2] и Е.В. Посохова [3], количественный состав химических компонентов и их соотношение – две наиболее фундаментальные характеристики любой водной экосистемы. Поэтому нами рассматриваются общая минерализация и соотношение анионов с катионами, обозначающие класс и тип воды.

На примере бассейна реки Томь, где действуют крупные комплексы теплоэнергетического,

химического, металлургического, машиностроительного, угольного и аграрного производства проведён расчёт химического состава поверхностных вод, по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России.

Гидрохимическая характеристика природных вод рассматриваемой территории приводится в публикации по ресурсам поверхностных вод [4], где обобщения по их химическому составу соответствуют периоду 1950-х гг. При несколько различающейся общей минерализации отдельных рек во все фазы водного режима их вода имеет резко выраженный гидрокарбонатный характер с преобладанием Ca^{2+} в составе катионов. Относительное содержание аниона HCO_3^- в период весеннего половодья составляет 60–80% экв, а в межень достигает 80–96% экв. Содержание иона SO_4^{2-} в течение года изменяется от 2 до 14% экв, Cl^- - от 1 до 12, Mg^{2+} - от 10 до 28% экв.

В период весеннего половодья вода маломинерализована, сумма ионов составляет 32–78 мг/л, в летне-осеннюю межень минерализация воды увеличивается до 100–184 мг/л, в зимнюю до 123–238 мг/л.

За основу принята классификация О.А. Алёкина, в которой к категории преобладающих отнесены ионы, содержание которых не менее 25% экв, а сумма анионов и катионов принята за 100%. Эта классификация сочетает принцип деления вод по соотношению преобладающих анионов и катионов. Все природные воды сначала делятся по преобладающему аниону (по эквивалентам) на три класса – гидрокарбонатные (HCO_3^-), сульфатные (SO_4^{2-}) и хлоридные (Cl^-). Каждый класс по преобладающему катиону подразделяется далее на три группы – кальциевую, магниевую и натриевую, а каждая группа, в свою очередь, – на четыре типа вод по соотношению между ионами в эквивалентах:

I. $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$;

II. $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$

III. $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ или $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$

IV. $\text{HCO}_3^- = 0$.

На основании такой гидрохимической классификации воды гидрокарбонатного класса группы кальция второго типа обозначаются индексом C_{II}^{Ca} .

Антропогенные воздействия, характеризующиеся различной мощностью и разновременностью, создают мозаичную картину формирования и преобразования химического состава природных вод. Так, химический состав воды реки Ускат меняется от сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-магниевый кальциевый до гидрокарбонатно-магниевый-кальциевый; реки Мрас-Су от сульфатно-гидрокарбонатно-магниевый-кальциевый до гидрокарбонатно-магниевый-кальциевый и т.д.

Формирование и преобразование химического состава вод в условиях техногенеза проявляется в значительных амплитудах колебаний гидрохимических показателей качества вод, как во внутригодовом режиме, так и в многолетнем. Это отражает главную особенность взаимодействия промышленных и сельскохозяйственных поступлений с природными водами: резкое изменение условий формирования и, как следствие, многообразное проявление вариантов химических типов воды из множества возможных, определяемых классификацией О.А. Алёкина.

Согласно данным приведенным в таблице (табл.) обращает на себя внимание высокое содержание сульфатов в реке Томь. Характерным примером резких изменений химического состава поверхностных вод может рассматриваться 15.V.2008 г., когда вода была сульфатной.

Количественный состав химических компонентов и их соотношение показывают, что внешнее воздействие связано с существенными качественными процессами, что имеет точное химическое значение через непосредственные свойства структуры солевого состава. Если в естественных условиях физико-географической зональности химический состав поверхностных вод был представлен одним типом - гидрокарбонатным кальциевым, то в дальнейшем химическая трансформация поверхностных вод заключается в повышении степени её дифференцированности, т.е.

Обобщённые формулы химического состава поверхностных вод бассейна реки Томь

Таблица

Дата	Обобщённая формула, % - экв	Индекс воды по О.А. Алёкину [2]
1985 г. 13.II	р. Ускал – с. Красулино $M_{922} \frac{HCO_3 58 SO_4 40 Cl 2}{Ca 40 Mg 34 Na + K 26}$	C_{II}^{Ca}
15.IV 1987 г. 15.II	$M_{180} \frac{HCO_3 73 SO_4 21 Cl 6}{Ca 68 Mg 30 Na + K 2}$ $M_{836} \frac{HCO_3 62 SO_4 24 Cl 14}{Ca 43 Na + K 29 Mg 28}$	C_{III}^{Ca} C_{II}^{Ca}
17.IV	$M_{275} \frac{HCO_3 58 SO_4 24 Cl 18}{Ca 71 Mg 27 Na + K 2}$	C_{III}^{Ca}
1996 г. 04.III	р. Мрас-Су – г. Мыски $M_{192} \frac{HCO_3 75 SO_4 22 Cl 3}{Ca 55 Mg 44 Na + K 1}$	C_{III}^{Ca}
25.IV	$M_{106} \frac{HCO_3 64 SO_4 35 Cl 1}{Ca 51 Mg 42 Na + K 7}$	C_{II}^{Ca}
1972 г. 27.I	р. Томь – г. Новокузнецк $M_{261} \frac{HCO_3 70 SO_4 24 Cl 6}{Ca 67 Mg 22 Na + K 11}$	C_{II}^{Ca}
26.IV 1983 г. 26.II	$M_{77.1} \frac{HCO_3 61 SO_4 36 Cl 3}{Ca 44 Na + K 42 Mg 14}$ $M_{203} \frac{HCO_3 79 SO_4 13 Cl 8}{Ca 64 Mg 22 Na + K 14}$	$C_{II}^{Ca, Na}$ C_{II}^{Ca}
22.IV 1996 г. 25.IV	$M_{46.1} \frac{HCO_3 69 SO_4 27 Cl 4}{Ca 71 Mg 23 Na + K 6}$ $M_{83.8} \frac{HCO_3 60 SO_4 36 Cl 4}{Mg 54 Ca 45 Na + K 1}$	C_{II}^{Ca} $C_{III}^{Mg, Ca}$
12.VIII	$M_{286} \frac{HCO_3 69 SO_4 25 Cl 6}{Ca 58 Mg 41 Na + K 1}$	C_{III}^{Ca}
1972 г. 24.II	р. Томь – г. Томск $M_{323} \frac{HCO_3 46 SO_4 27 Cl 27}{Ca 63 Na + K 21 Mg 16}$	C_{III}^{Ca}
25.V 1996 г. 15.III	$M_{61.2} \frac{HCO_3 66 SO_4 30 Cl 4}{Ca 66 Mg 17 Na + K 17}$ $M_{270} \frac{HCO_3 69 SO_4 21 Cl 10}{Ca 56 Mg 27 Na + K 17}$	C_{II}^{Ca} C_{II}^{Ca}
14.V 2007 г. 15.III	$M_{64.8} \frac{HCO_3 70 SO_4 26 Cl 4}{Ca 54 Na + K 24 Mg 22}$ $M_{358} \frac{HCO_3 69 SO_4 27 Cl 4}{Ca 64 Na + K 25 Mg 11}$	C_{II}^{Ca} C_{II}^{Ca}
15.VII 2008 г. 15.V	$M_{177} \frac{HCO_3 75 SO_4 23 Cl 2}{Ca 57 Na + K 22 Mg 21}$ $M_{98.4} \frac{SO_4 77 HCO_3 16 Cl 7}{Ca 45 Na + K 43 Mg 12}$	C_{II}^{Ca} $S_{II}^{Ca, Na}$
15.X	$M_{220} \frac{HCO_3 80 SO_4 17 Cl 3}{Ca 46 Na + K 45 Mg 9}$	$C_{II}^{Ca, Na}$

максимальной степени отражающих характерные особенности целостности природных систем в увеличении разнообразия химических типов вод. Таким образом, при выборе показателей в их динамику, следует опираться на исследование ионно-солевого состава и определение новых динамических характеристик, т.е. тех свойств, которые проявляет ионно-солевой состав во время тех или иных трансформаций.

Литература

1. Никаноров А.М., Циркунов В.В. Гидрохимический режим рек СССР (анализ многолетних данных) // Тр. V Всесоюз. гидрологического съезда. Т.5. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - С. 336–344.
2. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 440 с.
3. Посохов Е.В. Ионный состав природных вод. Генезис и эволюция. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – Т. 15, Вып. 2. - 340 с.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОД ВЕРХОВОГО БОЛОТА

Воистинова Е.С., Харанжевская Ю.А. Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа
Россельхозакадемии, Томск, elenavoistinova@yandex.ru

HYDROCHEMICAL REGIME OF RAISED BOG WATER

Voistinova E.S., Kharanzhevskaya J.A. Siberian Research Institute of Agriculture and Peat,
Tomsk, elenavoistinova@yandex.ru

В работе приведены условия формирования анализ и гидрохимического режима вод в пределах верхового болота. Отмечено, что в водах верхового болота содержание органических веществ превышает содержание минеральных соединений, и по реакциям на изменения условий окружающей среды верховое болото неоднородно.

In work the analysis and conditions of formation of a hydrochemical regime of waters within the limits of a raised bog is lead. It is noted, that in waters of a raised bog the concentration of organic substances exceeds the concentration of mineral elements, and on reactions to changes of conditions of an environment the raised bog is non-uniform.

Природные воды являются сложными динамическими системами равновесия, находящимися в теснейшей связи с окружающей их средой [1]. В условиях современных природно-климатических изменений большой интерес для изучения представляет гидрохимический режим болотных вод в районах, удалённых от антропогенного воздействия. Гидрохимический режим болотных вод обусловлен изменением таких показателей, как количество атмосферных осадков, температура воздуха и торфяной залежи, влажность торфяной залежи, уровень болотных вод. Специфические черты гидрохимического облика болотных вод и их экологического состояния определяются значениями ведущих физико-химических показателей – pH, Eh, общей минерализацией и основными её составляющими, а также характерными газами и органическими веществами. В работе представлена характеристика гидрохимического режима вод верхового болота, являющегося северо-восточной частью окраинной Васюганского болота. Пространственная динамика содержания химических элементов в болотных водах рассматривается в пределах основных биогеоценозов верхового болота: высокого рья, низкого рья, осоково-сфагнутой топи, сосново-кустарничково-сфагнутого фитоценоза на окраине болота. Наблюдения за гидрохимическим режимом болотных вод проводились на научно-исследовательском стационаре «Васюганский» в 2006-2009 гг. Отбор проб болотной воды осуществлялся один раз в месяц с марта по сентябрь из специально оборудованных водоотборных колодцев глубиной 1 метр. Сразу после отбора определялась температура воды и неустойчивые компоненты pH, CO₂, HCO₃⁻, проводилась консервация проб для определения Fe_{общ}, NO₃⁻ в соответствии с [2]. Химический анализ макрокомпонентного состава болотных вод выполнялся по общепринятым методикам в лаборатории торфа и экологии СибНИИСХиТ. Для характеристики общего содержания химических элементов определялся плотный остаток болотных вод. Концентрация гуминовых и фульвокислот определялась методом Лурье [3].

Период наблюдений 2006-2009 гг. включает разные по степени увлажнённости и теплообеспеченности годы (табл. 1). Гидрохимический режим болотных вод при сохранении общих закономерностей имеет ряд отличительных особенностей в разные по гидротермическим условиям годы.

Изменение основных показателей температурных условий и количества атмосферных осадков в 2006-2009 гг.

Год	Σ температур выше 10°C, °C	Σ атмосферных осадков за год, мм	Σ атмосферных осадков с мая по сентябрь, мм
2006	1869	428	213
2007	1792	573	406
2008	1818	457	297
2009	1733	553	458

Воды верхового болота богаты органическим веществом, не содержат растворённого кислорода, обладают низкой степенью минерализации, кислой средой и высокой цветностью. Значения pH вод верхового болота изменяются от 3,53 до 4,81. В 2006 г. в водах высокого и низкого рья, сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза на окраине болота отмечены наиболее высокие значения pH, наиболее низкие в 2009 г. Противоположная тенденция наблюдается в водах осоково-сфагнутой топи: более высокие pH определены в 2009 г. Величина pH воды верхового болота в большей степени определяется процессами распада органического вещества и является показателем происходящих в воде окислительных и восстановительных процессов. В болотной воде в больших концентрациях присутствуют органические вещества. Во всех пунктах верхового болота наблюдается зависимость между водородным показателем и бихроматной окисляемостью: pH уменьшается с увеличением окисляемости (рис. 1).

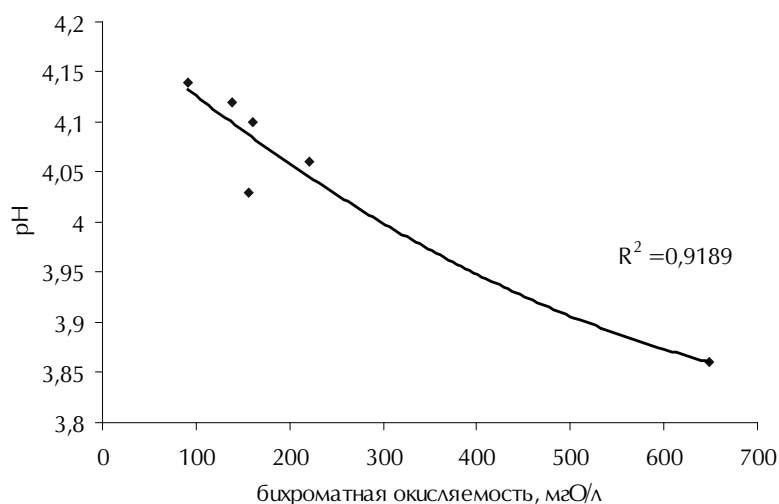


Рис. 1. Распределение pH в зависимости от бихроматной окисляемости болотных вод осоково-сфагнутой топи в 2009 г.

Минерализация болотных вод в среднем составляет 23,8 мг/л и изменяется в широких пределах от 1,5 до 98,5 мг/л. Общее содержание химических элементов в воде верхового болота определяется условиями поступления элементов на поверхность болота в результате выпадения атмосферных осадков, со стоком элементов в толще торфяной залежи, а также в результате биохимических реакций. Анализ минерализации показывает, что наименьшие значения общего содержания химических элементов болотных вод наблюдаются в период весеннего снеготаяния, летом значения минерализации возрастают вследствие активизации процессов разложения растительных остатков и торфа. Осенью значения могут увеличиться в период отсутствия

атмосферных осадков и уменьшиться при их выпадении за счёт разбавления болотных вод, а также ослабления процессов разложения торфа (рис. 2). Минерализация болотных вод высокого рья и сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза на окраине болота в 2007 и 2009 гг. изменялась плавно, тогда как в 2008 и 2006 гг. эти изменения резкие и скачкообразные. В водах низкого рья сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза на окраине болота общее содержание химических элементов в 2006 г. превышает таковые в другие годы наблюдений.

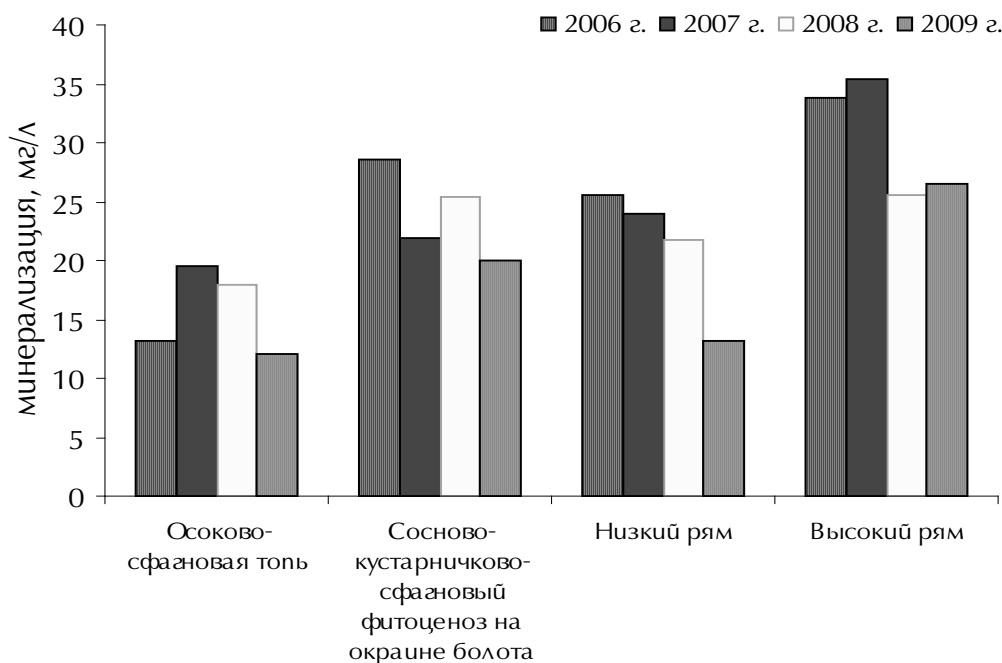


Рис. 2. Динамика минерализации болотных вод по величине плотного остатка за период 2006-2009 гг.

В макрокомпонентном составе вод верхового болота преобладают ионы Ca^{2+} и Cl^- . Динамика изменения концентраций Ca^{2+} является общей для осоково-сфагновой топи, сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза на окраине болота и высокого рья. Содержание Ca^{2+} в водах высокого рья (от 2,4 до 16,4 мг/л) превышает содержание в водах других биогеоценозов верхового болота. Концентрации Ca^{2+} максимальны в 2009 г. и минимальны в 2006 г. в водах высокого рья и сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза на окраине болота. Объяснить это можно повышенным поглощением Ca^{2+} растительностью в годы с более низкими уровнями болотных вод и более высокими температурами воздуха. В водах низкого рья и осоково-сфагновой топи минимальное содержание Ca^{2+} наблюдается в 2007 г.

Содержание Cl^- в течение года изменяется незначительно (от 1,95 мг/л до 19,64 мг/л). Объясняется это тем, что хлоридион обладает высокой миграционной способностью, не образует трудно растворимых минералов, не адсорбируется коллоидными системами, не накапливается биогенным путём. В конце марта концентрация хлоридов в пунктах наблюдения максимальна, объясняется это тем, что в процессе промерзания торфяной залежи происходит увеличение концентрации ионов в воде за счёт некоторого вытеснения их из замерзающего раствора [4].

Распределение концентраций железа в водах верхового болота характеризуется изменением значений от 0,31 до 5,45 мг/л, среднее содержание $\text{Fe}_{\text{общ}}$ составляет 1,97 мг/л. Высокие концентрации $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в болотной воде наблюдались в 2007 г. В течение 2006 г. содержание $\text{Fe}_{\text{общ}}$ было минимальным. Присутствие гуминовых кислот в болотной воде определяет повышенную миграционную способность железа. В водном растворе имеет место конкурентное связывание

основного лиганда фульвокислоты многими металлами. Наибольшей комплексообразующей способностью обладают ионы трёхвалентного железа. В воде верхового болота наблюдается взаимосвязь между содержанием $Fe_{\text{общ}}$ и концентрацией фульвокислот.

Таблица 2

Матрица коэффициентов корреляции между концентрацией $Fe_{\text{общ}}$ в водах низкого рьяма и параметрами физических свойств торфяной залежи

Параметр	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Уровень болотных вод от средней поверхности болота, см	-0,91	-0,89	-0,61	0,43
Температура торфяной залежи (0-100 см), °С	0,76	0,44	0,76	0,48
Влажность торфяной залежи (0-100 см), % (в 2006 г. влажность определена до глубины 30 см)	-0,49	0,87	0,18	0,23

Для болотных вод характерно повышенное содержание восстановленных форм азота (аммонийный азот) на фоне низкого содержания окисленных форм (нитратный азот). В летний период содержание NH_4^+ увеличивается, достигая максимальных значений в 2006 г (15 мг/л).

Гидрокарбонат-ион практически отсутствует в болотных водах низкого рьяма, сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза на окраине болота, осоково-сфагновой топи. Вызвано это низкими значениями рН, а значит, и отсутствием угольной кислоты в недиссоциированной форме.

Концентрация гуминовых кислот изменяется от 0,3 до 17,8 мг/л, а фульвокислот от 9,3 до 103,6 мг/л. В водах низкого рьяма динамика содержания фульвокислот схожа для 2006, 2007 и 2008 гг.: повышение концентраций наблюдается в июле. Максимальное содержание $C_{\text{вдр}}$ отмечено в 2008 г., минимальное в 2009 г. Наблюдается взаимосвязь между уровнем болотных вод и концентрацией $C_{\text{вдр}}$. Таким образом, по результатам исследования отмечено, что в водах верхового болота содержание органических веществ превышает содержание минеральных соединений. По реакциям на изменения условий окружающей среды верховое болото неоднородно. В годы с низким уровнем болотных вод и более высокими температурами содержание химических элементов в водах высокого рьяма, сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза на окраине болота растёт, увеличивается рН воды. Содержание химических элементов в воде верхового болота определяется множеством факторов, в том числе уровнем болотных вод, температурой и влажностью торфяной залежи. Гидрохимический режим и химический состав болотных вод отражает специфические условия системы болотная вода – торф и характеризует направление и интенсивность процесса болотообразования.

Литература

1. Вернадский В.И. История природных вод. – М.: Наука, 2000. – 749 с.
2. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. – М.: изд-во Недр, 1970. – 488 с.
3. Лурье Ю.Ю. Химический анализ производственных сточных вод. – М.: Химия, 1974. – 335 с.
4. Калюжный И.Л., Левандовская Л.Я. Гидрохимический режим и химический состав вод олиготрофных болотных массивов // Труды ГГИ. – 1974. – Вып. 222. – С. 99-118.

ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ р. ОБЬ У г. БАРНАУЛА И НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

Горгуленко В.В., Институт водных и экологических проблем
СО РАН, г. Барнаул, lada@iwer.asu.ru

ESTIMATION OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS TOXICITY IN OB RIVER NEAR BARNAIL AND NOVOSIBIRSK RESERVOIR USING BIOTESTING

Gorgulenko V.V.
Barnaul, Institute for water and environmental problems SB RAS

По результатам биотестирования различных участков реки Обь у г. Барнаула и Новосибирского водохранилища в октябре 2009 г. установлена пространственная неоднородность потенциального уровня токсичности воды и донных отложений. Охарактеризованы межгодовые и сезонные различия токсичности воды и донных отложений, и их особенности по сравнению с другими водными объектами.

Using biotesting the spatial heterogeneity of potential toxicity of water and bottom sediments of Ob River near Barnaul and Novosibirsk Reservoir was determined. Interannual and seasonal distinctions water and bottom sediments of toxicity, and their features as compared to other water objects are described.

Введение. С помощью методов биотестирования в июле–августе 1993 г. была выявлена пространственная неоднородность уровня потенциальной токсичности для воды реки Обь на участке от пос. Фоминское до г. Камня-на-Оби. В июле–августе 1993, апреле–ноябре 1994 и апреле–мае 1998 гг. установлена пространственно-временная неоднородность уровня потенциальной токсичности для воды реки Обь в районе г. Барнаула. При этом в 1994 г. была установлена зависимость уровня токсичности воды реки Обь выше г. Барнаула от гидрологического режима реки [2]. В июле 2007 и 2008 гг. токсикологический анализ воды методами биотестирования показал, что уровень потенциальной токсичности для воды реки Обь выше г. Камня-на-Оби больше, по сравнению с таковым для нижнего участка Новосибирского водохранилища [1].

Цель данной работы – оценить уровень потенциальной токсичности воды и донных отложений для различных участков реки Обь у г. Барнаула и Новосибирского водохранилища в октябре 2009 г. в период пониженного потенциала самоочищения.

Материалы и методы. Пробы воды и донных отложений реки Обь отбирали в октябре 2009 г. на различных участках реки Обь и Новосибирского водохранилища (рис. 1). Токсикологический анализ воды и водных вытяжек донных отложений проводили в соответствии с методиками РД 52.24.566-94, ФР.1.39.2001.00284, РД 118-02-90, ПНД Ф Т 14.1:3.4.10-04 16.1:2.3.7-04, ФР.1.39.2001.00283, ФР.1.39.2001.00282. В качестве тест-культур использовали протококковые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., *Chlorella vulgaris* Beijer и низших ракообразных *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg и *Daphnia magna* Straus. Оценку токсичности воды и водных вытяжек донных отложений проводили по показателям коэффициента прироста клеток водорослей сценедесмуса; оптической плотности и токсической кратности разбавления исследуемых сред для роста клеток хлореллы; безвредных кратностей разбавления исследуемых сред для роста клеток

сценедесмуса, выживаемости и плодовитости низших ракообразных.

Уровень потенциальной токсичности воды и донных отложений исследуемых водных объектов устанавливали ранжированием показателей токсичности воды и водных вытяжек донных отложений, установленных для различных пунктов исследования по реакции используемых в экспериментах тест-организмов, по степени увеличения их значений. Полученные ранги (R_{ij}) для каждого пункта исследования суммировали по формуле (1) и затем нормировали по формуле (2).

$$R_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} \quad (1); \quad R = 1 + 99 \times \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \quad (2)$$

где i – индекс пункта исследования; j – индекс показателя токсичности, R_{ij} – ранг для показателя токсичности; R_i – суммарный ранг по показателям токсичности для пункта исследования; $R_{\min}$ и $R_{\max}$ – минимальное и максимальное значения суммарных рангов.

Результаты. Река Обь. В октябре 2009 г. уровень токсичности воды в реке Обь характеризовался неоднородностью, как вдоль исследуемого участка, так и в створах (рис. 2). Так потенциальная токсичность для воды, отобранной у левого берега у водозабора № 2 была меньше, по сравнению с таковой для правого берега. Для створа, расположенного в устье затона Ковш, отмечена тенденция снижения потенциальной токсичности воды от левого берега к правому. Уровень токсичности для воды, отобранной в обоих пунктах исследования в окрестностях Научного городка, различался незначительно. Установлено, что из всех исследуемых участков, расположенных у левого берега реки, наиболее токсична была вода, отобранная в устье затона Ковш, у правого берега – ниже о. Рыбацкий.

Уровень токсичности водных вытяжек донных отложений реки Обь, в отличие от воды, характеризовался меньшей неоднородностью. При этом отмечено повышение потенциальной токсичности для донных отложений, отобранных ниже о. Рыбацкий и у левого берега в окрестностях Научного городка (см. рис. 2).

Новосибирское водохранилище. Значения уровня потенциальной токсичности для воды, отобранной в среднем, нижнем и приплотинном участках Новосибирского водохранилища, отличались незначительно. При этом отмечено небольшое понижение токсичности от среднего участка водохранилища к приплотинному с наиболее высоким показателем для воды устья Бердского залива (см. рис. 2).

Для водных вытяжек донных отложений Новосибирского водохранилища отмечена тенденция в повышении уровня их токсичности от среднего участка водохранилища к приплотинному (см. рис. 2).

Обсуждение. В октябре 2009 г. средние показатели уровня потенциальной токсичности для воды ($60,6 \pm 7,1$) и донных отложений ($64,9 \pm 3,6$) реки Обь у г. Барнаул незначительно отличались от таковых для воды ($57,0 \pm 4,8$) и донных отложений ($59,0 \pm 7,6$) Новосибирского водохранилища.

Сравнение полученных данных с таковыми, полученными в октябре 2007 г. показало, что в октябре 2007 и 2009 гг. потенциальная токсичность воды, отобранной у левого берега в устье затона Ковш была меньше, по сравнению с таковой для воды, отобранной у правого берега ниже о. Рыбацкий. В отличие от 2007 г., когда потенциальная токсичность воды, отобранной у правого берега устья протоки Повалихинской, была наибольшей, по сравнению с таковой для воды отобранной у левого берега в устье затона Ковш и у правого берега ниже о. Рыбацкий, в 2009 г. уровень потенциальной токсичности, наоборот, был наименьшим. Отмечено, что уровни потенциальной токсичности для воды реки Обь, отобранной в октябре 2009 г., незначительно отличались от таковых полученных в октябре 2007 г.

В октябре 2009 г. уровень токсичности для воды реки Обь, отобранной выше г. Барнаул, был преимущественно меньше, по сравнению с таковым для воды, отобранной ниже г. Барнаула. Отметим, что это согласуется с ранее полученными данными в 1993–1998 гг. и в 2007 г. Аналогичная тенденция

была отмечена и для воды реки Томь, отобранной выше и ниже г. Новокузнецка в марте 2008 г.

Согласно полученным данным, уровень токсичности водных вытяжек донных отложений реки Обь у г. Барнаула был меньше, по сравнению с уровнем токсичности водных вытяжек донных отложений реки Обь от г. Новосибирска до пос. Карымкары в августе–сентябре 2009 г.

Сравнение полученных данных для водных вытяжек донных отложений реки Обь с результатами токсикологического анализа водных вытяжек донных отложений реки Аба, отобранных в январе 2008 г. у моста в пос. Кунбыч и в черте г. Прокопьевск, Новокузнецк, показало, что значения потенциальной токсичности для донных отложений исследуемого участка реки Обь ($63,4 \pm 2,1$) значительно ниже (в 1,5 раза), по сравнению с таковыми для донных отложений реки Аба ($93,6 \pm 3,1$).

Также, как и в 2007 и 2008 гг. для воды и донных отложений реки Обь выше г. Камень-на-Оби и нижнего участка Новосибирского водохранилища, в октябре 2009 г. было отмечено снижение уровня потенциальной токсичности воды и, наоборот, повышение такового для донных отложений от среднего участка водохранилища к приплотинному.

Выводы. В октябре 2009 г. из всех исследуемых участков, расположенных у левого берега реки Обь у г. Барнаула наиболее токсична была вода, отобранная в устье затона Ковш, у правого берега, ниже о. Рыбацкий. По результатам токсикологического анализа водных вытяжек донных отложений реки Обь у г. Барнаула потенциально токсичны донные отложения у правого берега ниже о. Рыбацкий и у левого берега в окрестностях Научного городка.

От среднего участка Новосибирского водохранилища к его приплотинному участку уровень потенциальной токсичности воды снижается, а для донных отложений, наоборот, повышается.

Уровни потенциальной токсичности для воды и донных отложений реки Обь у г. Барнаула и Новосибирского водохранилища в октябре 2009 г. отличались незначительно.

Выше г. Барнаул потенциальный уровень токсичности воды реки Обь меньше, по сравнению с уровнем токсичности воды ниже г. Барнаул, что согласуется с данными, полученными в 1993–1998 гг. и в 2007 г.

Потенциальный уровень токсичности донных отложений реки Обь у г. Барнаула меньше, по сравнению с таковым для донных отложений на участке реки Обь от г. Новосибирска до пос. Карымкары и реки Аба.

Литература

1. Горгуленко В.В., Ларикова Н.В., Кириллов В.В. Оценка токсических и мутагенных свойств воды Новосибирского водохранилища // Мат. науч.-практ. конф. с международным участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Ч.2. Азов, 8-10 июня, 2009 г. – Ростов-на-Дону, 2009. – С.138–141.
2. Тушкова Г.И. Экотоксикологическая оценка состояния поверхностных вод бассейна Верхней Оби методами биотестирования // Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования : мат. научных чтений (22–23 января, 1998 г.) – Томск: ООО «Дельтаплан», 1998. – С. 363–364.

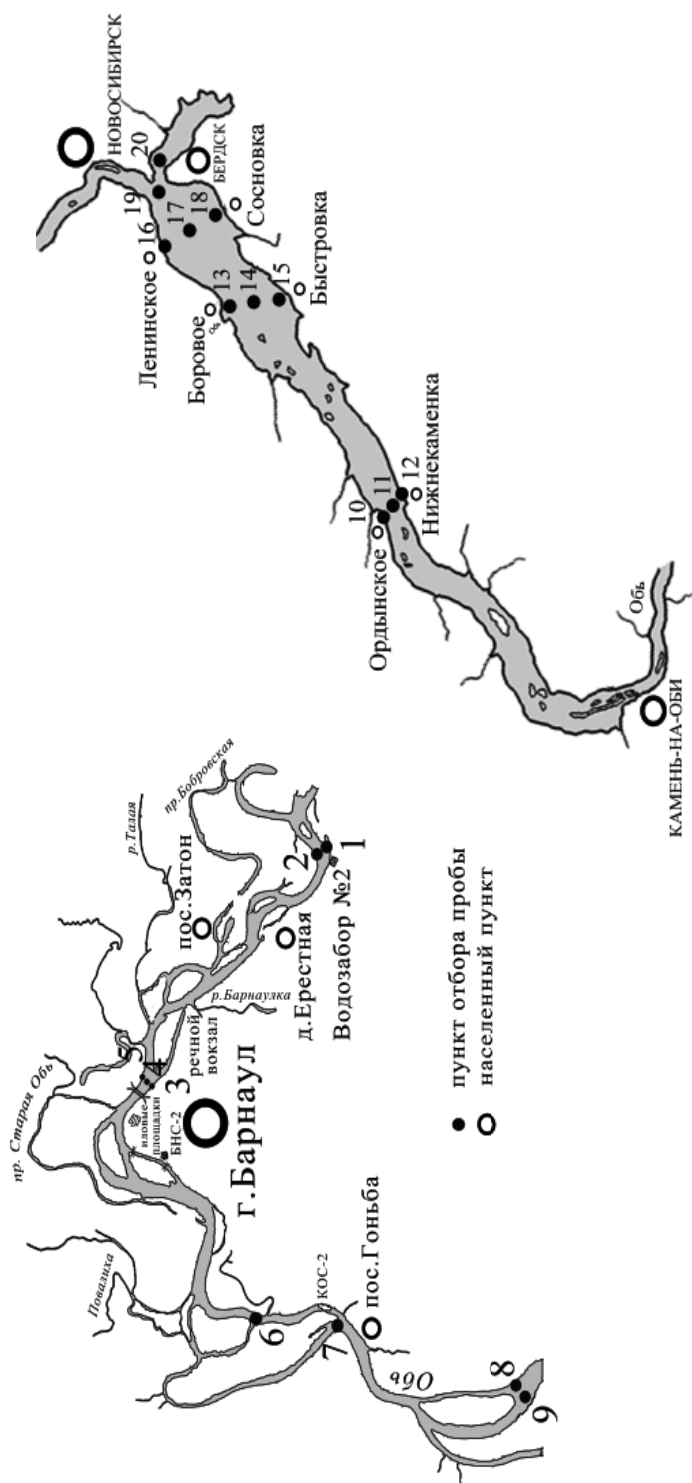


Рис. 1. Схема пунктов отбора проб воды на различных участках реки Обь у г. Барнаула (пункты 1–9) и Новосибирского водохранилища (пункты 10–20):

1 – водозабор №2, левый берег; 2 – водозабор №2, правый берег; 3 – устье затона Ковш, левый берег; 4 – устье затона Ковш, середина; 5 – устье затона Ковш, правый берег; 6 – ниже о. Рыбачий, правый берег; 7 – устье протоки Повалихинской, правый берег; 8 – в окрестностях Научного городка, левый берег; 9 – в окрестностях Научного городка, правый берег; 10 – пос. Ордынское, левый берег; 11 – середина разреза Ордынского-Быстровка; 12 – с. Нижнекаменка, правый берег; 13 – с. Боровое, левый берег; 14 – середина разреза Боровое-Быстровка; 15 – с. Быстровка, правый берег; 16 – с. Ленинское, левый берег; 17 – середина разреза Ленинское-Сосновка; 18 – с. Сосновка, правый берег; 19 – верхний бьеф; 20 – устье Бердского залива, середина

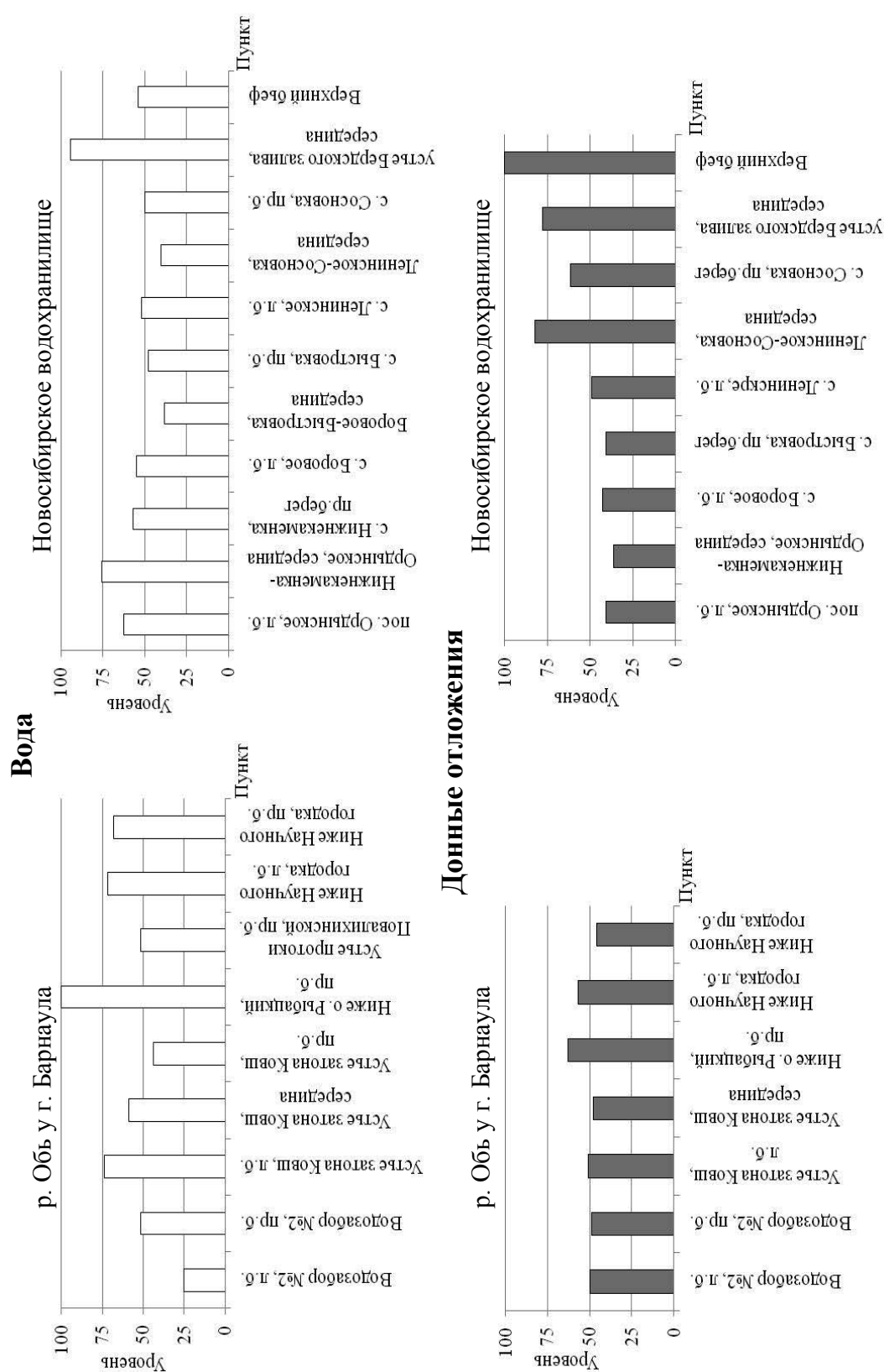


Рис. 2. Уровень потенциально возможной токсичности воды и донных отложений на различных участках Обь у г. Барнаула и Новосибирского водохранилища (октябрь, 2009 г.)

МОДЕЛЬ ОДНОМЕРНОГО СТАЦИОНАРНОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Готовцев А. В., Институт водных проблем Российской академии наук,

MODEL OF ONE-DIMENSIONAL STATIONARY CARRYING OVER OF POLLUTING SUBSTANCES FOR STRATEGIC PLANNING OF WATER SECURITY ACTIONS

Gotovtsev A. V., Moscow, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences

Приводится описание модели одномерного стационарного переноса загрязняющих веществ для стратегического планирования водоохранных мероприятий (в дальнейшем «ВсеВолга»), позволяющей анализировать последствия воздействий различных реализаций природных условий, антропогенных нагрузок и водоохранных мероприятий на водные объекты бассейна крупной реки.

The description of model of one-dimensional stationary carrying over of polluting substances for strategic planning of water security actions (is resulted further “AllVolga”), allowing to analyze consequences of influences of various realisations of an environment, anthropogenous loadings and water security actions on water objects of pool of the large river.

Модель создавалась и адаптировалась к условиям бассейна реки Волги, однако обслуживающая ее компьютерная программа «AllVolga» является универсальной и может быть использована для любых других бассейнов. В качестве теста она уже прошла апробацию для речной сети реки Амур, включающей притоки Аргунь, Шилка, Зея, Бурея, Сунгари, Бира, Уссури и Амгунь. Наметились перспективы использования программы для оценки объемов ЗВ, поступающих с китайской стороны по притоку Сунгари, на котором находятся такие крупные источники загрязнений, как города Харбин, Цзямусы и Фуцзынь.

Разветвленная система русел рассматривается как одномерный комплекс (граф), представляющий собой конечное множество вершин и соединяющих их отрезков (дуг). Дуги схематизируют участки русел, по которым перемещаются объемы воды, а вершины обозначают места слияния потоков, гидротехнические сооружения, сосредоточенные емкости и т.д.

Универсальная компьютерная программа «AllVolga» позволяет оценивать качество вод и эффективность водоохранных мероприятий в бассейне на основе решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих перенос и трансформацию загрязняющих веществ как от точечных, так и от неточечных (диффузных) источников [1]. Программа реализована на языке Q-Basic и позволяет вести расчет стационарных потоков воды и загрязняющих веществ для разветвленной системы водотоков произвольной конфигурации. В модели реализован алгоритм эвристической оптимизации по критерию минимума капитальных и/или приведенных затрат при выполнении ограничений на концентрацию ЗВ в заданных створах речной сети. Результаты расчетов могут подсказать ЛПР, какие мероприятия надо провести, чтобы качество воды было на должном уровне, а стоимость мероприятий при этом была бы минимальной или, по крайней мере, находилась «в пределах разумного».

В программе учитываются выделенные створы и соединяющие их дуги, а также начальные и конечные створы дуг, соответствующих так называемым «агрегированным коллекторным

участкам сточных вод». Помимо точечных источников в модели учитываются также диффузные источники загрязнения, которые «подключаются» напрямую к дугам графа. Это дает возможность учитывать поступление в речную сеть загрязнений от источников, распределенных вдоль речных берегов, непосредственного смыва ЗВ с берегов, а также поступления ЗВ в реку с грунтовыми водами.

Исходная информация условно подразделяется на «постоянную», «переменную» и «идентифицируемую» (подвергаемую корректировке при калибровке). К постоянной информации относятся длины русловых водотоков и схема речной сети, удельные капитальные и эксплуатационные затраты для разных способов очистки (типов очистных сооружений), а к переменной – расходы бокового притока (воды, поступающей в систему по естественным водотокам) и антропогенной (коллекторной воды), вид и объемы сбрасываемых ЗВ, ограничения на их концентрацию в расчетных створах.

К идентифицируемой информации относятся длины коллекторных участков, эффективные скорости транспортировки ЗВ (эти скорости в общем случае могут не совпадать со средними скоростями течения воды по участкам русел и водохранилищ), коэффициенты распада ЗВ и др.

В качестве первоочередных калибровочных параметров выбраны: коэффициенты скорости распада ЗВ; массы загрязняющих веществ, поступающие от точечных источников непосредственно в вершины графа; модули диффузного стока, определяющие равномерно распределенные вдоль дуг поступления ЗВ от неточечных источников; фоновая концентрация ЗВ в водах бокового притока.

Реализованный в программном комплексе блок «Схематизация» является универсальным и может применяться для произвольной разветвленной системы водотоков и водохранилищ – практически без ограничений на число расчетных дуг и конфигурацию.

Блок «Расчет фонового загрязнения». Боковая приточность (природная вода), в отличие от коллекторных вод, в идеале может не содержать загрязняющих веществ либо содержать их в пренебрежимо малом количестве. Этот блок по задаваемым в файле исходных данных концентрациям вычисляет массу ЗВ, вносимую в расчетный участок русла водами боковых притоков и вместе с блоком «Диффузная боковая приточность ЗВ» используется для калибровки модели по данным натурных наблюдений.

Блок «Агрегированный коллекторный участок сточных вод». Предполагается, что загрязняющие вещества от точечных источников поступают не сразу в реку, а в начальные вершины коллекторов. Конечные же створы агрегированных коллекторов (т.е. их водовыпуски) примыкают ко всем вершинам графа, кроме конечной. Таким образом, ЗВ частично разлагаются, «пробегая» некоторый путь (равный длине коллектора), прежде чем попасть в реку. При этом скорость «пробега» (зависящая, вообще говоря, от уклона местности, площади сечения и шероховатости русла коллектора и др.) в первом приближении полагается равной скорости течения воды в примыкающем к коллектору створе реки. Тем самым учитывается перенос загрязнений по речным притокам более высокого порядка (чем включенные в расчетную схему) за счет их условного объединения в один суммарный («агрегированный») водоток. Их длины назначаются на основе экспертных оценок либо определяются путем «взвешивания» (по массе транспортируемых ЗВ) длин русел учитываемых притоков.

Блок «Калибровка модели». Калибровка модели состоит из нескольких этапов. Сначала выделяются створы, в которых расчетные концентрации ЗВ сравниваются с данными натурных наблюдений и определяется доверительный интервал наблюдаемых концентраций. На втором этапе выделяются исходные данные (параметры), подлежащие калибровке. При этом для каждого из калибруемых параметров экспертным путем устанавливается диапазон возможных значений. Именно этот интервал определяет зону неопределенности калибруемого параметра. На третьем

этапе выполняются однопараметрические калибровочные расчеты по каждому из параметров (при нескольких вариантах сочетаний фиксированных значений остальных калибруемых параметров).

Верификация описываемой математической модели, выполняемой в два этапа:

- структурная верификация;
- параметрическая верификация.

На этапе *структурной верификации* решаются следующие задачи:

- схематизация разветвленной системы русел в виде одномерного комплекса, представляющего собой конечное множество вершин и дуг;
- выбор системы дифференциальных уравнений, с достаточной степенью точности описывающих перенос и трансформацию поступающих в систему ЗВ.
- выбор рациональной степени агрегирования точечных и диффузных источников ЗВ и схем их «подключения» к вершинам и дугам сети.

На *этапе параметрической верификации* решаются задачи:

- анализ чувствительности решения к возмущениям в исходных данных;
- определение группы параметров, подлежащих калибровке;
- выбор контрольных створов для сравнения результатов расчета с данными натурных наблюдений;
- калибровка параметров модели.

При параметрической верификации модели качества вод р. Волги, использующей классические уравнения Стритера-Фелпса, оказалось, что практически во всех контрольных створах устранить невязки только с помощью калибровки параметров модели не представляется возможным (по крайней мере, в пределах доверительных интервалов значений этих параметров). Если же ограничения на параметры не вводились, то результаты калибровки приводили к физически некорректным решениям. В частности, коэффициенты скорости распада ЗВ при такой «неограниченной» калибровке могли принимать отрицательные значения, что соответствовало бы не распаду ЗВ, а его «размножению», причем скорость такого «размножения» была бы пропорциональна концентрации ЗВ (этакая «цепная реакция»). Устранить этот физический нонсенс удалось с помощью включения в дифференциальное уравнение нового члена, позволяющего описывать поступление ЗВ от равномерно распределенного диффузного источника, «вытянутого» вдоль русла. В результате этого дифференциальное уравнение, описывающее перенос ЗВ, превратилось из однородного в неоднородное:

$$V \frac{dZ}{dx} = -k_1 \cdot Z + w \cdot V \quad (1)$$

Здесь x – расстояние по длине русла от начального створа ($x=0$ в начальном створе участка русла, $x=L$ – в конечном створе); Z – расход массы ЗВ через поперечное сечение русла; V – скорость переноса ЗВ; k_1 – коэффициент скорости распада ЗВ; w – распределенный по длине русла приток ЗВ (модуль диффузного стока ЗВ, т.е. приток ЗВ в русло, приходящийся на единицу длины русла).

Начальное условие:

$$Z(x) = Z_0 \text{ при } x=0, \quad (2)$$

где Z_0 – расход массы ЗВ через начальное сечение.

Следует отметить, что диффузными источниками стока ЗВ могут быть: 1) поверхностный

смыв в русло; 2) вынос из донных отложений; 3) приток с грунтовыми водами; 4) поверхностный смыв в сочетании с подземным притоком; 5) подземный отток (фильтрация); 6) поверхностный смыв в сочетании с подземным оттоком. В первых, четырех случаях модуль диффузного стока w положителен, в пятом отрицателен, а в шестом, в зависимости от баланса «приток-отток», модуль w может быть как положительным, так и отрицательным, либо даже равным нулю.

Решением (1)-(2) является:

$$Z(x) = \frac{V \cdot w}{k_1} + \left(Z_0 - \frac{V \cdot w}{k_1} \right) \cdot \exp\left(-\frac{k_1}{V} x\right) \quad (3)$$

Отсюда следует, что функция $Z(x)$ (поток ЗВ) в зависимости от мощности диффузного источника может быть как убывающей, так и возрастающей. «Критический модуль диффузного стока» w_{cr} определяется как такое значение модуля, при котором скорость поступления ЗВ от неточечного источника равна скорости разложения суммарной массы загрязнений от точечных и неточечных источников на данном участке русла. Из формулы (3) и условия $Z(x) \equiv Z_0$ при $x \in [0, L]$ следует, что

$$w_{cr} = \frac{k_1 \cdot Z_0}{V} \quad (4)$$

Поскольку расход воды на участке русла полагается постоянным, то из полученного решения следует, что при $w > w_{cr}$ концентрация ЗВ убывает по длине русла, при $w < w_{cr}$ – возрастает, а при $w = w_{cr}$ – постоянна.

При дальнейшей структурной верификации дифференциальное уравнение (1) было усложнено за счет включения в правую часть еще двух слагаемых, что позволило учитывать не только равномерно распределенный диффузный приток ЗВ, но и неравномерный (эпюра которого в общем случае может описываться параболической зависимостью).

Кратко остановимся на третьей группе задач структурной верификации (выбор рациональной степени агрегирования точечных и диффузных источников ЗВ и схем их «подключения» к вершинам и дугам сети). Степень агрегирования источников ЗВ определяется детальностью расчетной сети, поскольку число агрегированных точечных и диффузных источников не может превышать числа дуг сети. Для более адекватного описания процесса переноса и трансформации ЗВ в дополнение к русловым участкам расчетной схемы в модель были включены так называемые «агрегированные коллекторы сточных вод», по которым загрязняющие вещества от точечных источников поступают в реку. Их длины могут определяться на основе экспертных оценок, а также путем взвешивания (по массе транспортируемых ЗВ) длин притоков в окрестности контролируемых створов, либо (что наиболее предпочтительно) на основе расчетов по локальной модели переноса ЗВ. Введенные агрегированные коллекторы позволили не только моделировать реальные потоки сточных вод, но и учитывать перенос загрязнений по речным притокам более высокого порядка (чем включенные в расчетную схему притоки) за счет их условного объединения.

На этапе параметрической верификации используются 4 калибровочных параметра, а именно: коэффициент скорости распада ЗВ; масса точечного ЗВ, сбрасываемая в вершину; модуль диффузного стока, фоновая концентрация ЗВ в водах бокового притока.

Расчет ассимиляционного потенциала. Под ассимиляционным потенциалом (АП) створа речной сети понимается величина дополнительного объема ЗВ, который может «принять» данный створ при условии, что в остальных расчетных створах никаких дополнительных сбросов ЗВ не производится. Алгоритм расчета АП состоит в следующем. 1) Вычисляется поток и концентрация ЗВ в русловом створе с учетом поступления в него ЗВ по дуге локального (привязанного к

данному створу) агрегированного коллектора, а также по всем русловым дугам, входящим в данный створ. 2) По заданному верхнему ограничению на концентрацию ЗВ в данном створе и вычисленному расходу воды (сумма расходов по всем впадающим в створ дугам) определяется предельно допустимый расход ЗВ в створе. 3) Вычисляется разница между предельно допустимым и фактическим (расчетным) значениями содержания ЗВ (ассимиляционный потенциал створа для рассматриваемого вида ЗВ).

Выбор водоохраных мероприятий выполняется с помощью алгоритма эвристической оптимизации, реализованного в программном блоке «Выбор типа очистки по критерию минимума мощности вновь вводимых очистных сооружений». Этот блок совместно с блоком «Ассимиляционный потенциал» позволяет выполнять экспресс-оценку местоположения и способов очистки сточных вод. Рассматриваются агрегированные очистные сооружения (АОС), под которыми понимается совокупность сооружений, расположенных на водосборной территории водохозяйственного участка [1]. Каждое отдельное АОС «привязано» к одной из вершин графа, схематизирующего реальную речную сеть. Поскольку исходная информация, поступающая в модель, агрегирована, то результаты расчета должны подвергаться обратной процедуре дезагрегирования.

Процедура выбора местоположения АОС состоит в последовательном сравнении расчетной концентрации ЗВ с предельно допустимой в створе. Далее в отмеченной вершине работает блок «Выбор типа очистки по критерию минимума мощности вновь вводимых очистных сооружений». В результате в исходящем створе устраняется несоответствие между расчетной концентрацией ЗВ и заданным ограничением качества воды. Расчетный цикл продолжается для следующей вершины и так до тех пор, пока не будут рассмотрены все дуги графа. В результате получается совокупность вершин, в каждой из которых «выбрано» АОС, обеспечивающее «индивидуальную» защиту от нарушения качества воды по расчетному виду ЗВ.

Описанный алгоритм применим также и для случая, когда на нижележащем участке существует диффузный приток загрязняющих веществ. Если диффузный сток ЗВ не приводит к росту концентрации по длине участка, то наибольшая концентрация достигается в начальном створе участка. В случае, когда модуль диффузного стока превышает критическую величину w_{cr} , определяемую формулой (4), то диффузный сток ЗВ приводит к росту концентрации по длине участка и наибольшая концентрация достигается в конечном створе участка. В этом случае мощность АОС в начальном створе участка назначается таким образом, чтобы наибольшая концентрация в конечном створе участка в точности равнялась верхнему ограничению на концентрацию ЗВ. При этом в начальном створе участка концентрация будет ниже заданного ограничения, т.е. АОС в данном случае очищает сточные воды верхнего точечного источника с «запасом» на диффузные стоки нижерасположенного русла.

Экономический блок модели позволяет не только определять величину капитальных и эксплуатационных затрат на водоохраные мероприятия, но и делать косвенные оценки по эффективности научных исследований, направленных на устранение неопределенностей и уточнение исходной информации, а также на уточнение и совершенствование критериев качества воды, используемых при планировании водоохраных мероприятий в бассейне Волги.

В процессе инженерно-экономической постановки и математической формализации задачи, разработки алгоритма и отладки компьютерной программы, обслуживающей модель водоохраных мероприятий в бассейне Волги, были отработаны несколько десятков версий программы и расчетных сценариев.

Управление диффузными стоками ЗВ. При управлении диффузными стоками ЗВ должны учитываться все составляющие поверхностного смыва: тало-дождевой смыв с городских территорий, автодорог, промплощадок, поверхностный и подземный сток с сельхозугодий, площадок

складирования минеральных и органических удобрений, ядохимикатов и животноводческих ферм т.д. В сравнении с подаваемыми на очистные сооружения канализированными промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами эти диффузные потоки контролировать и идентифицировать гораздо сложнее. Эта проблема особенно актуальна для водоохранных зон. Может оказаться, что гидротехнические сооружения и гидромелиоративные работы по обустройству водоохранных зон более эффективны для водных объектов (экономически и экологически), чем дорогостоящие высокотехнологичные решения для очистки канализированных сточных вод.

В перспективе предполагается модификация универсальной компьютерной программы «AllVolga» с учётом результатов по обобщению классической системы уравнений Стритера-Фелпса, полученных в работе [2].

Работа поддержана РФФИ (грант № 08-06-00078а).

Литература

1. *Готовцев А.В.* Концептуальное описание модели водоохранных мероприятий в бассейне Волги («Волга-29») в условиях неполной и неточной информации. Вестник Университета. Выпуск 2 (3), с.17-37, Москва, 2001 г.
2. *Готовцев А.В.* Модификация системы Стритера-Фелпса с целью учёта обратной связи между концентрацией растворённого кислорода и скоростью окисления органического вещества// Водные ресурсы, 2010, том 37, № 2, 250-256.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА БПК

Готовцев А.В., Данилов-Данильян В.И.

Институт водных проблем Российской академии наук, Москва

Никаноров А.М.

*Государственный гидрохимический институт при Росгидромете
и Российской академии наук, Ростов-на-Дону*

THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF BOD's MONITORING

Gotovtsev A.V., Danilov-Danil'yan V.I.

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

Nikanorov A.M.

*Hydrochemical Institute ; Southern Division, Water Problems Institute,
Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don*

Рассматриваются теоретические и практические аспекты мониторинга БПК. Приводятся конструктивные предложения, касающиеся математической обработки результатов химического анализа вод суши при определении значений биохимической потребности воды в кислороде (БПК), а также константы скорости БПК.

The paper provides a practical approach dealing with mathematical processing results of chemical analysis of continental water under evaluation of the value of the total biochemical oxygen demand (BOD), as well as the kinetic BOD rate constant.

Биохимическая потребность воды в кислороде (БПК) и скорость биохимического потребления кислорода являются важнейшими интегральными показателями качества воды. Определение БПК в поверхностных водах используется с целью оценки содержания биохимически подвижных органических веществ, условий обитания гидробионтов и характеристики качества воды. Знание величин БПК важно при контроле эффективности работы очистных сооружений, при определении скорости аэрирования и времени выдерживания сточных вод перед выпуском их в природные водные объекты. Ретроспективный анализ и прогнозные сценарии изменения этих важнейших показателей используются при обосновании стратегий управления водными ресурсами, а также при разработке научных основ мониторинга качества вод [6-9].

В современной отечественной и русскоязычной научно-технической литературе одной и той же аббревиатурой «БПК» обозначают два различных понятия: биохимическое потребление водой кислорода и биохимическую потребность воды в кислороде. В англоязычной научно-технической литературе также существует терминологическая неопределённость, в результате которой одной и той же аббревиатурой «BOD» обозначают два различных понятия: – «biological oxygen demand»; – «biological oxygen consumption». Иногда в публикациях встречаются не просто нечёткие, а ошибочные трактовки термина БПК.

Чтобы избежать неопределённости в дальнейшем изложении, введем определения.

Биохимическая потребность в кислороде, обозначаемая обычно как БПК или L_0 , – концентрация растворенного органического вещества (ОВ), выраженная в кислородных единицах. БПК (т.е. L_0) определяет массу растворённого кислорода (РК), которая потребовалась бы для полной нейтрализации содержащейся в единице объема воды растворенной органики. Можно считать, что биохимическая потребность воды в кислороде представляет собой кислородный эквивалент

некоторой части органического субстрата, выраженный в специфических (кислородных) единицах. При этом L_t характеризует содержание этой части органического субстрата в воде (т.е. ее загрязненность) на момент времени t . L_0 означает значение биохимической потребности воды в кислороде в начальный момент времени.

Биохимическое потребление кислорода. Этот термин имеет смысл тогда и только тогда, когда ему поставлен в соответствие индекс t , определяющий интервал времени (измеряемый чаще всего сутками), в течение которого происходит процесс потребления РК. Именно поэтому биохимическое потребление водой кислорода обозначается как БПК_t или X_t , где t обозначает длительность экспозиции, т.е. количество суток, в течение которых проводилось измерение. Например, БПК_5 , БПК_{10} и БПК_{20} обозначают биохимическое потребление кислорода единичным объёмом воды за 5, 10 и 20 суток, соответственно. Для сравнимости результатов измерений все они проводятся при температуре 20°C. Таким образом, показатель X_t (т.е. БПК_t) определяет количество уже окисленного вещества (т.е. уже удаленного из воды) за период времени t .

Полное биохимическое потребление кислорода БПК_∞ - количество кислорода, израсходованное до начала процесса нитрификации.

Термин БПК_∞ является эквивалентным, но не вполне тождественным по смыслу термину БПК (биохимическая потребность в кислороде). Дело в том, что БПК_∞ определяется непосредственно из эксперимента на основе анализа потребления кислорода за достаточно длительный, но конечный период времени (который может достигать 20, 30 или даже более суток). Длительность этого эксперимента нельзя установить априори. Необходимыми условиями эксперимента являются:

- по возможности полное окисление органики (растворенной и нерастворенной), способной подвергаться биохимическому окислению;
- окончание опыта до того, как начался процесс нитрификации.

Константа неконсервативности (константа скорости БПК) - величина, характеризующая скорость, с которой происходит процесс окисления. Эта константа обозначается k_1 и имеет размерность, обратную единице времени (обычно сут⁻¹). Скорость биodeградации органических загрязняющих веществ зависит от множества факторов. К таким факторам относятся: температура воды, химическая природа присутствующих в воде органических веществ и их исходная концентрация, исходная концентрация растворенного кислорода, адаптированность микрофлоры именно к тем веществам, что находятся в воде. Таким образом, k_1 , вообще говоря, является параметрической константой. Следует сразу же оговориться, что скорость биохимического окисления k_1 лишь в простейшем случае полагается константой (параметрической) как, например, в классической системе Стритера-Фелпса. В более общем случае, когда используется модифицированная система Стритера-Фелпса ([5], величина k_1 может быть функцией концентрации растворенного кислорода.

Современное состояние информационной базы

К сожалению, в таблицах «Основные загрязняющие вещества в створах рек», публикуемых в ежегодных изданиях государственного водного кадастра [3], данные по БПК и k_1 отсутствуют, а содержатся лишь данные по биохимическому потреблению кислорода за 5 суток (БПК_5). В руководящем документе по определению биохимического потребления кислорода в водах [2] даются рекомендации лишь по оценке БПК_5 , но не приводятся рекомендации по определению БПК и константы k_1 . Эти же замечания относятся и к руководству по химическому анализу поверхностных вод суши [10].

В то же время, в предыдущем руководстве по химическому анализу вод суши [1] (далее «Руководство-1973») была описана методика определения БПК, а также константы k_1 . К сожалению, в этой методике были допущены математические ошибки. Эти ошибки касались решения

дифференциального уравнения, описывающего процесс окисления растворённого в воде органического вещества, а также вывода формул для вычисления БПК и k_1 . Подробный анализ соответствующего раздела «Руководство-1973» с разбором допущенных там ошибок выполнен в статье [4].

В следующем издании «Руководства по химическому анализу поверхностных вод суши» [10] были оставлены рекомендации по измерению только БПК₅ и исключены рекомендации о необходимости выполнения как минимум двух измерений. По формальным признакам [10] не содержало явных ошибок (ошибочные формулы для определения БПК и k_1 были изъяты), однако по существу ошибка была. Такой ошибкой было исключение из руководства [10] упоминания о необходимости выполнения двух измерений за кратные периоды времени: БПК_t и БПК_{2t}.

В результате целое поколение исследователей, пользующиеся данными ежегодных изданий государственного водного кадастра» [3], потеряло не только часть базы натурных измерений, но и саму возможность для определения таких важнейших показателей качества вод, как БПК и k_1 . Целый класс моделей (имитационных и оптимизационных) по расчету качества воды в водотоках речных бассейнов оказался лишённым необходимой информации об этих важнейших показателях.

Математики-модельеры, не получая от гидрохимиков реальных величин БПК_т и k_1 по речным створам, вынуждены восстанавливать их по имеющимся значениям БПК₅. При этом, как правило, используются рекомендации для идеальных модельных условий, утверждающих, что для бытовых сточных вод при 20°C значение БПК₅ составляет 70% от значения БПК [1]. На основании этих рекомендаций значения БПК в створах рек вычислялись по опубликованным в ежегодных изданиях государственного водного кадастра [3] значениям БПК₅ в предположении, что последние составляют 70% от первых. Использование такого алгоритма для определения величин БПК может приводить к ошибкам более чем на порядок.

Использование неадекватных значений k_1 и БПК в имитационных моделях качества вод, а также в моделях выбора водоохранных мероприятий (управления качеством) может приводить к ошибочным управленческим решениям. Цена этих ошибок тем больше, чем крупнее моделируемый водный объект, чем больше антропогенная нагрузка и чем сложнее гидрохимические условия на этом объекте.

Как вычислять БПК и k_1

В статье [4] выполнен подробный анализ соответствующего раздела «Руководство-1973» с разбором допущенных там ошибок. В этой же статье приведен вывод формул, позволяющих на основании гидрохимических анализов биохимического потребления за два интервала времени вычислить БПК и k_1 :

$$\text{БПК} = \frac{X_t^2}{2X_t - X_{2t}}, \quad (1)$$

$$k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{X_t}{X_{2t} - X_t}. \quad (2)$$

Здесь X_t и X_{2t} - биохимическое потребление кислорода за t и $2t$ суток соответственно: X_t = БПК_t, X_{2t} = БПК_{2t} (где t может быть равным, например, 1, 2, 5, 10 суток).

Вышеприведенные формулы (1) и (2) включены в соответствующий раздел «Руководства по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1» раздела «Интегральные показатели содержания органических веществ в воде» [11]. (см. с. 669-674)

Заключение

Из вышесказанного следует вывод о необходимости дополнения существующих методических

указаний по ведению мониторинга водных объектов рекомендациями о дополнительных измерениях биохимического потребления кислорода, которые позволят получить информационную базу для вычисления k_1 и БПК. Первый шаг в этом направлении уже сделан. Соответствующий раздел «Интегральные показатели содержания органических веществ в воде» документа [11] дополнен формулами (1) и (2).

Остается надеяться, что доклад стимулирует гидрохимиков-наблюдателей и гидрохимиков-экспериментаторов к выполнению дополнительных (помимо обязательных БПК₅) измерений в речных створах, а именно: БПК₁₀ и (если условия позволяют) БПК₂₀.

Работа поддержана РФФИ (грант № 08-06-00078а).

Литература

1. *Алекин О.А., Семёнов А.Д., Скопинцев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши// Л.: Гидрометеиздат, 1973. 269 с.
2. Биохимическое потребление кислорода в водах. Методика выполнения измерений скляночным методом. Руководящий документ. РД 52.24.420-2006.
3. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (ежегодное издание). Л.: ГГИ, 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, 96 с.; 1997, 96 с.; 1998, 92; 1999, 94 с.; 2000, 104 с.; 2001, 112 с.; 2002, 114 с.; 2003, 144 с.; 2004, 164 с.; 2005, 166 с.; 2006, 174 с.; 2007, 154 с.
4. *Готовцев А.В.* О методике математической обработки результатов химического анализа вод// Журнал «Вода: химия и экология», 2009, № 7. С. 30–34.
5. *Готовцев А.В.* Модификация системы Стритера-Фелпса с целью учёта обратной связи между концентрацией растворённого кислорода и скоростью окисления органического вещества // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 2. С. 250–256.
6. *Данилов-Данильян В.И., Болгов М.В.* О водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года// Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения. Сборник научных трудов. Барнаул: ООО «Агентство рекламных технологий», 2009. С. 59-81.
7. *Данилов-Данильян В.И.* Экономический механизм управления водным хозяйством// Обоснование стратегий управления водными ресурсами. М.: Научный мир, 2006.С. 29-50.
8. *Никаноров А.М.* Гидрохимия// Ростов - на Дону: НОК, 2008. 462 с.
9. *Никаноров А.М.* Научные основы мониторинга качества вод// Ростов-на-Дону: НОК, 2005. 569 с.
10. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Под ред. д.х.н. проф. *А.Д. Семенова.*// Л.: Гидрометеиздат, 1977. 338 с.
11. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1. Под ред. к.х.н.

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Григорьева И.Л.

Институт водных проблем РАН, Москва,

Irina_Grigorieva@list.ru

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS OF WATER QUALITY FORMING OF UPPER VOLGA RESERVOIRS

Grigoryeva I.L.

Institute for water problems, Moscow, Irina_Grigorieva@list.ru

Исследована роль природных и антропогенных факторов в формировании качества воды Верхневолжского, Ивановского, Угличского и Рыбинского водохранилищ. Показано, что только для Верхневолжского водохранилища роль антропогенных факторов минимальна.

The lines of natural and anthropogenic factors of water quality forming of Verhnevolgskoye, Ivan'kovskoye, Uglicheskoye and Rybinskoye reservoirs are investigated. It is determined that influence of anthropogenic factors is minimum for Verhnevolgskoye reservoir.

Водохранилища – это особый класс водных объектов, которые, с одной стороны, подчиняются закономерностям формирования и развития, присущим естественным водоемам, но одновременно с этим на все процессы, протекающие в них, большое влияние оказывает деятельность человека и, прежде всего, задаваемый им режим эксплуатации [1].

В целом факторы, влияющие на формирование качества воды водохранилищ, можно подразделить на три большие группы: абиотические, биологические и антропогенные.

К первым следует отнести природные и климатические условия региона, в котором расположено водохранилище, гидрологические и морфометрические характеристики водоема. Большую роль в формировании качества воды играют также водность года, положение водохранилища в каскаде, сезонная и суточная динамика внутриводоемных процессов.

Биологические процессы – это важный фактор формирования качества вод в водохранилищах в связи с перестройкой гидробиологического режима реофильного типа на стагнофильный и возникающей при этом неустойчивостью формирующихся водных экосистем [1].

Как правило, все биологические факторы подразделяют на две группы: [биокомпоненты окружающих водоем ландшафтов, водные экосистемы].

К первым следует отнести степень облесения, видовой состав и интенсивность развития прибрежной лесокустарниковой и луговой растительности. Лесокустарниковая и луговая растительность удерживает до 20% биогенных элементов, поступающих в водоем с водосбора [1], что явилось основой для создания водоохраных зон по берегам водохранилищ.

Наиболее существенно на формирование качества воды водохранилищ влияют антропогенные факторы, поскольку водохранилища очень интенсивно используются в хозяйственной деятельности и для развития отдыха и туризма.

По характеру нагрузки на водосборной бассейн можно оценить степень трофности водоема, поскольку интенсивность хозяйственного освоения водосборного бассейна в значительной степени влияет на качество воды в нем.

Целью наших исследований явилось изучение роли природных и антропогенных факторов в формировании качества воды водохранилищ Верхней Волги (табл. 1).

По схеме физико-географического районирования территория региона верхней Волги относится к ландшафтной стране Русской равнины, на развитие ландшафтов которой большое влияние оказали четвертичные оледенения. После отступления ледника широкое распространение здесь получили лесные ландшафты.

На формирование рельефа исследуемой территории большое влияние оказала деятельность ледника и талых ледниковых вод. Рельеф региона довольно однообразный. Развита типы рельефа ледникового, водноледникового, озёрного и аллювиального происхождения, которые представлены в основном слабовсхолмлённой, всхолмлённой и холмистой равнинами.

Таблица 1

**Краткая морфометрическая характеристика водохранилищ Верхней Волги
(проектные данные)**

Характеристика	Водохранилище			
	Верхневолжское	Иваньковское	Угличское	Рыбинское
НПУ, м	206,5	124,0	113,0	102,0
Площадь водного зеркала, км ²	183	327	249	4550
Объем, км ³	0,52	1,12	1,24	25,42
Средняя глубина, м	2	3,4	5,0	5,6
Длина, км	92,5	111	146	250
Наибольшая ширина, км	4,4	8,0	5,0	70

Климат района определяется географическим положением территории в центре Русской равнины. Он умеренно-континентальный со сменой циклональной и антициклональной ситуации в течение года, т.е. со сложными и разнообразными циркуляционными процессами различной направленности и интенсивности. Среднегодовая величина радиационного баланса для исследуемой территории равна 33,1 ккал/см², среднегодовая температура воздуха составляет 3,80 С. Количество осадков изменяется в зависимости от водности года от 500 до 700 мм в год, при среднегодовой норме 593 мм. Продолжительность вегетационного периода - от 100 до 170 дней.

Основными почвообразующими породами на значительной территории водосборной площади являются моренные суглинки, реже – супеси, флювиогляциальные пески, аллювиальные отло-

жения и торфяники. По механическому составу моренные отложения весьма разнообразны и представлены легкими, средними и тяжёлыми суглинками.

Особенности рельефа, гидрологических и климатических условий, а также разнообразие почвообразующих пород и растительных ассоциаций привели к формированию на водосборе Верхней Волги довольно пёстрого почвенного покрова. В основном преобладают дерново-подзолистые (разной степени оподзоливания), подзолистые и по понижениям – дерново-глеевые и болотные типы почв. На поверхности речных террас и пойм развиты луговые и торфянистые почвы. Механический состав почв изменяется от глинистого и суглинистого до песчаного и супесчаного [2].

Бассейн Верхней Волги в сильной степени заболочен, чему способствует слабая водопроницаемость подстилающих, преимущественно глинистых грунтов и избыточная увлажненность территории.

Физико-географические условия водосборных бассейнов верхневолжских водохранилищ играют определяющую роль при формировании гидрохимических режимов исследуемых водоемов, для которых характерна малая (Верхневолжское) или средняя минерализация воды (Иваньковское, Угличское, Рыбинское) и высокое содержание окрашенного органического вещества (ОВ) гумусовой природы.

В последние десятилетия все возрастающий вклад в изменение химического состава воды водохранилищ вносят антропогенные факторы (сброс сточных вод, плоскостной смыв с территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий и селитебных территорий, рекреация).

Исследования показали, что в береговой зоне Иваньковского водохранилища расположен 21 выпуск сточных вод, в том числе и от г. Тверь – самого крупного города региона, численность жителей которого составляет порядка 450 тысяч человек. В 2007 г. от предприятий г. Тверь в Волгу было сброшено 151897 тысяч м³ сточных вод, а в Иваньковское водохранилище в пределах Конаковского района – 94000 тысяч м³ сточных вод.

В водоохраной зоне Угличского водохранилища (на конец 2006 года) расположены 12 предприятий, имеющих локальные очистные сооружения, 5 водозаборов и 6 городских очистных сооружений, 39 промышленных предприятий и 21 сельхозпредприятие, 38 баз отдыха и 12 мест зеленых стоянок, садоводческие товарищества. Организованные выпуски сточных вод осуществляет 23 водопользователя. Общий объем сточных вод в 2005 г. составил 20174,356 тыс. м³/год.

Рыбинское водохранилище находится под мощным влиянием промышленных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод. Самым крупным источником загрязнения его воды опасными ингредиентами является Череповецкий промышленный регион, в котором сосредоточены предприятия металлургической (АО «Северсталь»), химической (АООТ «Аммофос», ОАО «Азот»), деревообрабатывающей (ЗАО «Фанерно-мебельный комбинат»), ЗАО «ФЭСКО» (спичечная фабрика) и ряда других отраслей промышленности. Хотя на большинстве предприятий этого региона имеются локальные очистные сооружения, однако эффективность их работы чрезвычайно низка. Качество сточных вод, сбрасываемых в водоемы, по степени очистки не соответствует установленным нормативам (ПДК).

Основными загрязняющими веществами водотоков Верхней Волги антропогенного происхождения, поступающими со сточными водами предприятий, являются: взвешенные вещества, хлориды, сульфаты, аммонийный, нитратный и нитритный азот, фосфаты, нефтепродукты, уксуснокислый натрий. Со сточными водами муниципального унитарного предприятия «Тверьводоканал» поступает также больше тонны СПАВ, диметилацетамида, этиленгликоля, сульфидов, тяжелых металлов.

Определяющее значение для Верхневолжского водохранилища имеют природные факторы, т.к. антропогенная нагрузка невелика. По сравнению с другими водохранилищами в воде отмечаются более высокие значения цветности, железа общего и аммонийного иона.

На химический состав водных масс Иваньковского и Угличского водохранилища большое влияние оказывают антропогенные факторы.

Для водной массы Иваньковского водохранилища характерна повышенная цветность, высокие значения ХПК и высокие концентрации марганца.

Гидрохимический режим Угличского водохранилища в большой степени зависит от сбросов воды из Иваньковского. Для водных масс Угличского водохранилища характерны более высокие значения фосфатов и сульфатов в период летней межени по сравнению с Иваньковским.

В Рыбинском водохранилище загрязнение водных масс водоема происходит локально, в зоне влияния Череповецкого промузла. В замыкающем створе в результате внутриводоемных процессов происходит значительное снижение концентраций ЗВ.

Литература

1. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. – М.: Наука, 1986. – 367 с.
2. Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В. Геоэкология Иваньковского водохранилища и его водосбора. – Конаково. 2000. – 248 с.

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАВОДКОВ РЕК И ИХ РЕГИОНАЛИЗАЦИЯ В УМЕРЕННОМ КЛИМАТЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Губарева Т.С.

ТИГ ДВО РАН, Владивосток, Tgubareva@bk.ru

FLOOD PROBABILITY DISTRIBUTIONS AND THEIR REGIONALIZATION IN THE TEMPERATE CLIMATE ZONE OF THE NORTHERN HEMISPHERE

Gubareva T.S.

PIG FEB RAS, Vladivostok, Tgubareva@bk.ru

Приведены результаты вероятностного анализа максимальных годовых расходов рек с применением метода L-моментов. Выявлены: связи между выборочными коэффициентами $L-C_v$ и $L-C_s$, асимметрия в режиме максимального стока континентального масштаба различия в преобладающих типах законов распределения паводков.

Results of flood frequencies analysis based on L-moments are given. It is reveals: the relationships between $L-C_v$ and $L-C_s$; the asymmetry in flood runoff generation in a continental scale; the difference in the predominant type of probability distributions.

В настоящем исследовании сделана попытка ответить на принципиальный вопрос можно ли интерпретировать то или иное распределение вероятностей характеристик паводков с позиции физико-географических представлений о механизме их формирования. С этой целью выполнен анализ географических закономерностей типов распределений паводков и их параметров в переходных континентально-океанических зонах на глобальном уровне, который включает установление преобладающих законов распределения паводков в различных регионах мира с характерным им паводковым режимом.

Масштаб исследования преимущественно охватывает пояс Северного полушария с гумидным умеренным типом климата. В пределах Евразийского континента исследовались реки, протекающие по территории Австрии, юга Восточной Сибири, Приморья, а также реки Великобритании и Японии. На Североамериканском континенте отобраны пять исследуемых районов в пределах территории США: северо-западное побережье, область Скалистых гор в пределах штата Монтана, Сурис-Ред-Рейни водно-ресурсный район, северо-восточное побережье, Гавайские острова. Исследуемые районы располагаются в пределах умеренных широт за исключением Японских островов, частично заходящих в субтропическую область, и Гавайев, расположенных в тропической области.

Для тестирования были выбраны пять распределений: Пирсона III типа (PIII), трехпараметрическое логнормальное (3LN), обобщенное экстремальных величин (GEV), обобщенное распределение Парето (GPD), обобщенное логистическое (GLO). Все они являются трехпараметрическими с единообразной параметризацией, включающей оценивание масштаба, формы и сдвига. Оценивание статистических параметров распределений осуществлялось с помощью метода L-моментов [1]. Для каждой серии наблюдений вычислялись альтернативные выборочные статистические параметры: коэффициент L-вариации (t_1), коэффициент L-асимметрии (t_3), коэффициент L-эксцесса (t_4), а также анализировались зависимости L-моментных отношений $t=f(t_3)$ и $t_3=f(t_4)$, результаты приведены в таблице 1.

Осредненные выборочные статистические параметры по регионам

№	Реки районов	Кол-во серий	$\overline{M_{\max}}$, л/с*км ²	t	t_3	t_4	$R^2 = f(t/t_3)$	$R^2 = f(t_3/t_4)$
1	Великобритания	30	123	0.22	0.14	0.16	0.010	0.454
2	Австрия	45	285	0.23	0.23	0.17	0.134	0.458
3	Юг Вост. Сибири	26	89.9	0.22	0.19	0.17	0.650	0.575
4	Приморье	36	174	0.41	0.38	0.23	0.622	0.673
5	Японские о-ва	31	1562	0.31	0.28	0.17	0.425	0.583
6	Гавайские о-ва	27	4609	0.35	0.28	0.19	0.204	0.674
7	Северо-западное побережье США	47	1246	0.27	0.21	0.16	0.504	0.593
8	Область Скалистых гор	32	71.8	0.31	0.26	0.21	0.613	0.757
9	Район Сурис-Ред-Рейни	26	28.3	0.43	0.29	0.16	0.826	0.658
10	Северо-восточное побережье США	39	350	0.26	0.26	0.21	0.671	0.742

Проверка согласия эмпирических и аналитических распределений осуществлялась на основании: критерия сходимости распределений по вероятности, коэффициента корреляции между ординатами эмпирической и аналитической кривых, выраженных в квантилях стандартного распределения, среднеквадратического отклонения и критерия Пирсона хи-квадрат. Для установления адекватного распределения в целом для района применялись средние или средневзвешенные оценки критериев с учетом их чувствительности. Результаты отбора по сумме критериев приведены в таблице 2. Другим надежным способом выбора аналитического распределения является анализ местоположения L-моментных соотношений (t_3/t_4) в поле L-моментной диаграммы, которая представляет собой теоретические соотношения между этими двумя параметрами в виде непрерывных линий в случае трехпараметрических распределений. Результаты выбора адекватного распределения по L-моментной диаграмме практически совпадают с результатами по сумме критериев (табл. 2).

Сравнение зависимостей $t=f(t_3)$ и их коэффициентов детерминации позволяют утверждать, что для рек материковых участков суши характерны тесные связи между выборочными коэффициентами L-вариации и L-асимметрии, в то время как для рек островных территорий такая связь значительно слабее или отсутствует.

С физической точки зрения можно предположить, что высокие значения коэффициентов t и t_3 выборок паводочных расходов вызываются факторами, определяющими наличие дефицитов атмосферного увлажнения и увлажнения поверхности водосборов, что ограничивает формирование паводков. Такими факторами являются расположение бассейна по отношению к направлению основных потоков атмосферной влаги, определяющих частоту и интенсивность осадков, и соотношение длительностей и температурные характеристики дождливых и сухих периодов, определяющих формирование потерь стока.

Для бассейнов, где дефицит предпаводочного увлажнения пренебрежимо мал по сравнению с осадками, следует ожидать близкого соответствия между законами распределения ливней и паводков. Напротив, наличие больших дефицитов предпаводочного увлажнения бассейна приводит к исключению из процесса формирования паводков большого числа небольших и средних дождей, а выборка максимальных расходов формируется за счет редких наиболее сильных дождей, что приводит к росту её вариации и асимметрии.

Выбор адекватных законов распределения паводков

Сектор	Район	Распределе- ния по L- моментной диаграмме	Распреде- ния по сумме критериев	Адекватные распреде- ния
Атлантический	Северо- восточное по- бережье США	GLO, GEV	GLO, GEV	GLO, GEV
	Великобрита- ния	GLO, GEV, 3LN	GLO, 3LN	GLO, 3LN
	Австрия	GEV	GLO, GEV	GLO, GEV
Континенталь- ный	Юг Восточной Сибири	GLO, GEV	GLO, GEV	GLO
	Скалистые го- ры, ш. Монта- на	GLO, GEV	GEV, GLO	GLO
	Сурис-Ред- Рейни	PIII	PIII, 3LN	PIII, 3LN
Тихоокеанский	Приморье	3LN	3LN, GEV	3LN, GEV
	Японские о-ва	3LN, PIII	PIII, 3LN	3LN, PIII
	Северо- западное побе- режье США	3LN	GEV, 3LN	3LN, GEV
	Гавайские о-ва	3LN	GEV	3LN, GEV

Наличие дефицитов атмосферной влаги должно сказываться на форме законов распределения максимальных расходов в целом аналогично, но влияние их более опосредованно – через характеристики дождей и условия испарения. Оба названных фактора тесно взаимосвязаны, поэтому далее будем говорить просто о дефицитах влаги (увлажнения).

Поверхность островных территорий, как правило, хорошо увлажнена, бассейны рек в меньшей мере испытывают дефициты влаги по сравнению с континентальными частями суши, где дефициты влаги могут достигать значительных размеров, а условия предпаводочного увлажнения отличаются большим разнообразием. Для бассейнов в переходных зонах материк-океан должно сказываться взаимное влияние моря и суши, создавая большие или меньшие градиенты предпаводочного увлажнения в прибрежных районах.

Характер изменения коэффициентов детерминации связи $t=f(t_2)$ в пределах обоих континентов (рис. 1) свидетельствует об асимметрии континентального масштаба, заключающейся в тенденции роста коэффициентов детерминации от западных окраин континентов до центральных частей и закономерном их уменьшении по направлению к восточным границам, причем в западных частях значения коэффициентов относительно меньшие, чем в центральных и восточных.

Очевидно, что причиной указанной асимметрии является различие в пространственной структуре условий увлажнения территорий в пределах континентов, обусловленных сезонным ходом распределения тепла и влаги над поверхностью суши, что находит отражение в генезисе паводков.

Имеющийся набор районов позволяет выполнить предварительную регионализацию законов распределений паводков для рек Северного полушария (табл. 2). По типу преобладающего закона распределения, характеру связей между параметрами, величинам модулей максимального стока выделены сектора: два океанических (Атлантический и Тихоокеанский) и два континентальных. Для рек, испытывающих влияние Тихого океана, преобладающим типом закона распределения максимальных паводочных расходов является трехпараметрическое логнормальное распреде-

ление, а для рек, находящихся под влиянием Атлантического океана, преобладающим является обобщенный логистический закон распределения вероятностей. В континентальных секторах однозначный вывод об адекватном типе распределения сделать крайне сложно, поскольку по размеру и разнообразию физико-географических условий они гораздо больше океанических, а в работе представлены малым числом районов. Однако полученные факты указывают на преобладание кривой GLO в континентальных районах с горным характером рельефа и паводками преимущественно снегового происхождения, проходящими в весенний период. Распределение РП, которое является преобладающим в районе Сурис-Ред-Рейни и частично встречается в Японии, вероятнее всего, характерно для бассейнов с высокой естественной и искусственной зарегулированностью рек.

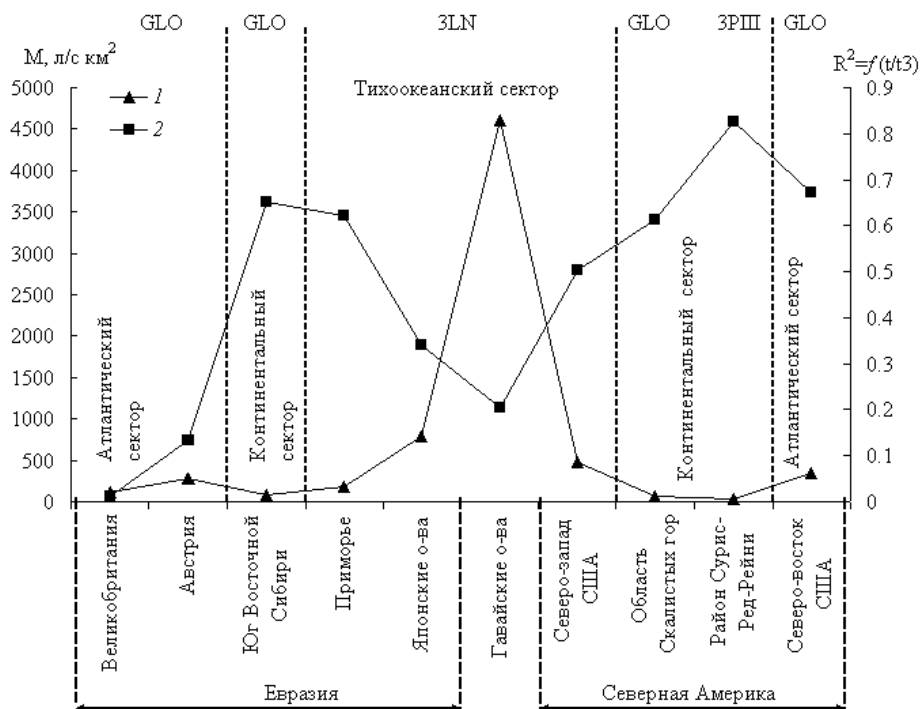


Рис. Схема регионализации законов распределения и характеристик паводков в гумидном климате Северного полушария: 1 – изменение средних из максимальных годовых модулей стока рек по регионам, M л/с км^2 , 2 – изменение коэффициента детерминации связи выборочных L -вариации и L -асимметрии, R^2 .

Диаграмма на рисунке представляет основные характеристики паводкового стока исследуемых регионов в их географической последовательности и отражает основные выявленные пространственные закономерности. В целом установлено, что на глобальном уровне регионализация типов и параметров распределения максимального стока возможна, а, следовательно, возможна и их физико-географическая интерпретация. Но, как и ожидалось, выявленные пространственные закономерности относительно слабо выражены и неустойчивы, т.к. нарушаются проявлением закономерностей регионального и топологического уровня.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 10-05-00437-а, № 09-05-13539-офи_ц, № 10-05-92000-ННС_а.

Литература

1. Hosking J.R.M., Wallis J.R. Regional frequency analysis. An approach based on L-Moments. – Cambridge, Cambridge University Press, 1997. – 224 p.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ЧУМЫШ В РАЙОНЕ ГОРОДА ЗАРИНСКА ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Долматова Л. А.

ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, e-mail: dolmatova@iwep.asu.ru

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL STATE OF CHUMYSH RIVER NEARBY ZARINSK CITY BY HYDROCHEMICAL INDEXES

Dolmatova L.A.

IWEP SB RAS, Barnaul, dolmatova@iwep.asu.ru

Показано, что вода р. Чумыш в районе г. Заринска относится к водам с низкой прозрачностью, благоприятным кислородным режимом для существования гидробионтов и низкой концентрацией органических веществ и минеральных форм азота.

It was found that Chumysh river waters nearby Zarinsk city are referred to the ones characterized by low transparency, favorable oxygen regime for hydrobionts existence, low concentration of organic substance and mineral forms of nitrogen.

Река Чумыш является правым притоком р. Оби и впадает в нее на 3321-м км от устья, у с. Усть-Чумышское. Длина реки 644 км (по другим данным – 718 км), площадь водосбора 23900 км² [5]. Ионный состав воды характеризуется обычным для большинства рек Обского бассейна преобладанием HCO_3^- над остальными анионами и Ca^{+2} – над катионами. По данным О.А. Алекина [1], притоки р. Оби, формирующиеся в пределах лесостепных и степных областей, как например р. Чумыш, имеют среднюю минерализацию.

Качественный состав поверхностных вод р. Чумыш в среднем течении изменился в связи со строительством в районе с. Сорокино предприятия ОАО «Алтай-Кокс» и г. Заринска.

По данным Росгидромета [7], в 2005 г. вода р. Чумыш в створе г. Заринска соответствовала классу качества 4а, «грязная». По сравнению с 2004 г. (3б, «очень загрязненная» вода) качество воды реки в 2005 г. ухудшилось в створе г. Заринска. Это вызвано увеличением содержания фосфатов (с 1,4 ПДК до 14,5 ПДК), фенолов (с 2,9 ПДК до 3,7 ПДК).

Целью нашей работы являлось исследование гидрохимического режима р. Чумыш и выяснение экологического состояния реки в районе г. Заринска

Материал и методы

Исследования проводили в октябре 2008 г., мае и августе 2009 г. Для получения натурных данных, наиболее полно отражающих состояние исследуемого объекта, были выбраны следующие точки отбора проб (карту-схема): № 1 – левый берег р. Чумыш, 200 м выше береговой насосной станции водозабора ОАО «Алтай-Кокс», верхний контрольный участок; № 2 – левый берег р. Чумыш, 150 м ниже водозабора; № 3 – подводящий канал водозабора; № 5 – левый берег р. Чумыш, ниже устья р. Камышенка, 5 км ниже водозабора; № 6 – правый берег р. Чумыш, выше моста водомерного поста АЦМС; № 7 – правый берег р. Чумыш, 150 м ниже водозабора; № 8 – правый берег р. Чумыш, 500 м ниже водозабора; № 10 – правый берег р. Чумыш, 2 км ниже водозабора, выше впадения р. Крутиха, нижний контрольный участок.

В пробах воды определяли pH, Eh, удельную электропроводность, растворенный кислород (по Винклеру), биохимическое потребление кислорода (БПК₅), перманганатную окисляемость (ПО) по Кубелю, бихроматную окисляемость (ХПК), минеральные формы азота и содержание основных анионов и катионов в соответствии с известными методиками [3, 6]. Результаты химического анализа представлены в таблице.

Результаты и обсуждение

Прозрачность воды была низкая и во все сезоны наблюдения снижалась вдоль по течению реки от створа выше города до створа ниже города (от 1,29 м до 0,20 м). Это свидетельствует о повышенных концентрациях взвешенных веществ. Водородный показатель рН изменялся от 7,50 до 8,60, характеризуя реакцию среды как слабо щелочную. Происходило снижение рН воды в реке от входного створа к выходному – ниже г. Заринска. Окислительно-восстановительный потенциал E_h воды р. Чумыш положителен и изменялся в интервале 260-306 мВ, что свидетельствует об окислительных условиях и удовлетворительном кислородном режиме воды реки.

Концентрация растворенного кислорода составляла 8,64-13,28 мг/дм³ и являлась удовлетворительной для существования гидробионтов ($ПДК_{в.р.}$ для зимы-лета = 4-6 мг/дм³). Максимум наблюдали ниже города, минимум – у левого берега ниже устья р. Камышенки. По степени минерализации [4] воды р. Чумыш относятся к α -гипогалинным пресным водам. Минерализация изменялась в интервале 364-468 мг/дм³, возрастая по длине реки к выходному створу ниже города. По ионному составу классификации О. А. Алекина [2] воды реки относятся к классу карбонатных вод группы кальция I типа. Жесткость воды р. Чумыш средняя и колебалась в интервале 3,90-5,05 °Ж.

Биохимическое потребление кислорода по длине реки изменялось скачкообразно: от 1,60 мг О₂/дм³ до 7,20 мг О₂/дм³, возрастая от периода осенней межени до периода половодья. Минимум наблюдали у левого берега в 150 м ниже водозабора, максимум – в выходном створе ниже города в районе водомерного поста. Перманганатная окисляемость изменялась от 3,07 до 6,04 мг О/дм³, возрастая в период половодья. По длине реки наблюдалось снижение окисляемости к выходному створу. Бихроматная окисляемость (ХПК) неравномерно возрастала в период половодья и летней межени от 4,26 мг О/дм³ (в створе выше водозабора) до 20,1 мг О/дм³ (ниже устья р. Камышенки).

Концентрация аммонийного азота колебалась в интервале 0,085-0,231 мг N/дм³. Наиболее высокие концентрации были отмечены в период половодья. По длине реки происходило увеличение содержания аммонийного азота к выходному створу ниже города. Содержание азота нитратов колебалось от 0,055 до 0,154 мг N/дм³. В летнюю межень содержание нитратов возрастало по длине реки к выходному створу. Концентрация азота нитритов составляла 0,003-0,007 мг N/дм³. В заключение следует отметить, что вода р. Чумыш в районе г. Заринска относится к α -гипогалинным пресным водам с минерализацией 364-468 мг/дм³. По ионному составу классификации О.А. Алекина [2] эти воды принадлежат к гидрокарбонатно-кальциевым водам I типа, средней жесткости. Вода с низкой прозрачностью, благоприятным кислородным режимом для существования гидробионтов и низкой концентрацией органических веществ и минеральных форм азота. Согласно комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши [4] такая вода попадает в интервал разрядов качества от 2а, «очень чистая» до 3а, «достаточно чистая».

Литература

1. *Алекин О.А.* Гидрохимия рек СССР // Труды ГТИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1949. – Вып. 15 (69), ч. III. – С. 82-95
2. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 296 с.
3. *Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н.* Методы исследования качества воды водоемов / Под ред. А.П. Шицковой – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
4. *Оксиюк О.П., Жукин В.Н., Брагинский П.Н.* [и др.] Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод // Гидробиол. журн., – 1993. – Т. 29. – №4. – С. 62-77.
5. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель // Равнинные районы Алтайского края и Южная часть Новосибирской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – Вып. 6. – С. 380-410.
6. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 443 с.
7. *Шутова, К. О.* Оценка состояния объектов природной среды Алтайского края по данным сети наблюдений Росгидромета // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2-1. – С. 392-395.

Таблица 1

Физико-химические свойства и химический состав поверхностных вод р. Чумыш в районе г. Заринска (2008-2009 гг.)

Показатель	станции									
	1	3	2	7	8	10	5	6		
T, °C	1,4-20,3	1,20-20,0	1,6-20,3	3,2	20,5	20,3	2,2-21,4	2,8-21,0		
Прозрачность, м	0,50-0,90	0,40-1,29	0,40-0,50	0,30	0,5	0,8	0,3-0,8	0,20-0,70		
pH	8,05-8,60	7,60-7,95	7,50-7,95	7,50	7,95	8,05	7,80-8,09	7,67-8,35		
Eh, мВ	260	306	301	-	-	-	266	265		
χ , мкСм/см	400	414	410	-	-	-	411	416		
O ₂ , мг/дм ³	10,56-13,12	9,60-12,80	9,60-12,80	12,80	13,12	8,64	8,96-12,96	10,24-13,28		
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	1,92-5,12	1,92-5,44	1,60-4,80	1,92	6,08	2,56	1,76-4,16	2,08-7,20		
ПО, мг О/дм ³	3,27-6,00	3,35-6,04	3,43-5,78	3,07	3,98	4,68	3,19-5,80	3,39-5,84		
ХПК, мг О/дм ³	4,26-16,9	7,80-16,9	7,80-18,3	9,22	7,94	15,9	8,90-20,1	9,93-14,5		
*NH ₄ ⁺ , мг N/дм ³	0,085-0,200	0,092-0,208	0,092-0,200	-	0,092	0,085	0,108-0,200	0,100-0,231		
**NO ₂ ⁻ , мг N/дм ³	0,004-0,006	0,005-0,006	0,005-0,007	-	0,003	0,003	0,003-0,004	0,004-0,005		
***NO ₃ ⁻ , мг N/дм ³	0,055-0,055	0,055-0,077	0,066-0,077	-	0,154	0,055	0,055-0,077	0,055-0,088		
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	254-316	251-321	254-319	324	306	304	254-324	254-332		
Cl ⁻ , мг/дм ³	1,13-2,81	0,97-3,09	1,13-2,81	3,09	0,97	1,29	0,97-3,09	1,77-3,09		
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	12,4-25,2	13,2-22,0	13,2-22,0	20,0	12,4	13,2	13,2-21,4	11,6-24,6		
жесткость, °Ж	3,90-4,95	3,90-4,85	3,90-4,85	4,95	4,65	4,70	3,90-5,05	3,90-4,95		
Ca ²⁺ , мг/дм ³	60,1-71,4	60,1-72,4	60,1-71,4	73,4	67,1	71,1	60,1-72,4	60,1-73,4		
Mg ²⁺ , мг/дм ³	10,9-16,9	10,9-15,1	10,9-15,7	15,7	15,8	14,0	10,9-19,5	10,9-15,7		
ΣNa ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	15,4-20,9	15,9-21,9	14,7-21,4	21,6	16,3	14,8	5,86-23,4	14,8-24,5		
Σи, мг/дм ³	373-437	364-452	369-450	458	419	418	367-457	372-468		
α-типологические пресные воды										
Классификация по Алекину, [2]	C _{10,4} ^{Ca4} - C _{10,4} ^{Ca5}		C _{10,4} ^{Ca4} - C _{10,5} ^{Ca5}		C _{10,4} ^{Ca5}		C _{10,4} ^{Ca4} - C _{10,5} ^{Ca5}		C _{10,4} ^{Ca4} - C _{10,5} ^{Ca5}	
	2а, «очень чистая»- 2б, «вполне чистая»		2а, «очень чистая»- 2б, «вполне чистая»		-		2а, «очень чистая»		2б, «вполне чистая»	
	по аммонийному азоту		2а, «очень чистая»- 2б, «вполне чистая»		2а, «очень чистая»		2а, «очень чистая»		2а, «очень чистая» - 3а, «достаточно чистая»	
	по нитритному азоту		2б, «вполне чистая»- 3а, «достаточно чистая»	-	2б, «вполне чистая»	2б, «вполне чистая»	2б, «вполне чистая»	2б, «вполне чистая»	2б, «вполне чистая»	
Класс качества воды (по [4])	2а, «очень чистая»		2а, «очень чистая»	-	2а, «очень чистая»	2а, «очень чистая»	2а, «очень чистая»	2а, «очень чистая»	2а, «очень чистая»	
	по нитратному азоту		2а, «очень чистая»	-	2а, «очень чистая»	2а, «очень чистая»	2а, «очень чистая»	2а, «очень чистая»	2а, «очень чистая»	

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КИСЛОРОДА В ВОДЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Домышева В.М., Сакирко М.В., Онищук Н.А., Шимараев М.Н.,
Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, hydrochem@lin.irk.ru

DYNAMICS OF CONCENTRATION OF BIOGENIC ELEMENTS AND OXYGEN IN WATER OF LAKE BAIKAL

V.M.Domysheva, M.V.Sakirko, N.A.Onishchuk, M.N.Shimaraev
Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, hydrochem@lin.irk.ru

Рассматривается пространственная и сезонная изменчивость содержания кислорода и биогенных элементов в водной толще оз. Байкал. На распределение их концентрации в воде озера основное влияние оказывает не только количество, но и качественный состав развивающихся водорослей, а для кислорода немаловажным является и температурный фактор.

Spatial and seasonal variability of the contents of oxygen and biogenic elements in water thickness of lake Baikal is considered. On distribution of their concentration in water of lake the basic influence exert not only quantity, but also a qualitative compound of a developing algae, and for oxygen the temperature factor is important also.

Для познания функционирования экосистемы оз. Байкал и формирования вод высокого качества необходимо изучение комплекса процессов в его водосборном бассейне, на разделе с атмосферой, а также в самой водной толще. Одним из важных следствий влияния этих процессов является изменчивость содержания отдельных компонентов химического состава вод. С 1993 г. нами начаты ежегодные разовые исследования пространственной и временной динамики кислорода и биогенных элементов в водной толще Байкала. Проведены измерения практически во все месяцы периода открытой воды. В 2007-2009 гг. появилась возможность выполнять по 2-3 гидрохимические съемки в год.

Отбор проб воды выполнялся глубоководными батометрами системы Нансена со стандартных горизонтов на 20 станциях в пелагиали Байкала [3]. Принятый метод сбора информации позволил получить практически одновременную картину распределения исследуемых компонентов на всех глубинах в пелагиали озера в характерные гидрологические сезоны, что дало возможность сравнить содержание биогенных элементов и кислорода в водной толще разных котловин, выявить особенности их распределения и изменения.

Определение кислорода и биогенных элементов выполнено общепринятыми в гидрохимии методами анализа. Рейсы выполнялись в конце мая – начале июня 2007-2009 гг. сразу после схода льда. В этот период существовала обратная стратификация температуры воды в верхнем слое, и температура поверхностных вод составила 0,7-3,2°C. В июле 2007 и 2009 гг. при прямой стратификации температура поверхностной воды изменялась от 5,4 до 14,5°C. Работы, выполненные в сентябре 2008-2009 гг., по температурным условиям совпали с началом этапа осеннего охлаждения воды озера. Температура поверхности воды в котловинах менялась от 4,9 до 10,6°C.

Распределение концентрации кислорода и биогенных элементов в поверхностном слое воды по продольному разрезу представлено на рисунке 1. Как видим, изменение содержания кислорода по длине озера составляет 1,4-1,6 мг/л. В июне концентрация O₂ растет с юга на север с незначи-

тельными снижениями в районах поднятия дна между котловинами (ст. 7 и 12). В июле низкой концентрацией выделяется северная оконечность озера, куда поступают теплые воды притоков. В сентябре также прослеживается рост содержания кислорода к северу озера при снижении температуры воды в этом же направлении. Как в июле, так и в сентябре низкой концентрацией O_2 выделяется ст. 14, температура воды здесь на 1,5-3,5 °C выше по сравнению с близлежащими станциями.

Содержание кремния в течение исследуемого периода изменяется не значительно. Более высокие концентрации в северной котловине являются следствием низкого уровня развития диатомового фитопланктона [1, 3]. А также поступление обогащенных кремнием вод притоков в северную оконечность озера приводит к росту содержания Si. Распределение концентрации нитратов и фосфатов в поверхностной воде Байкала неоднородно (рис. 1) и напрямую зависит от интенсивности развития фитопланктона.

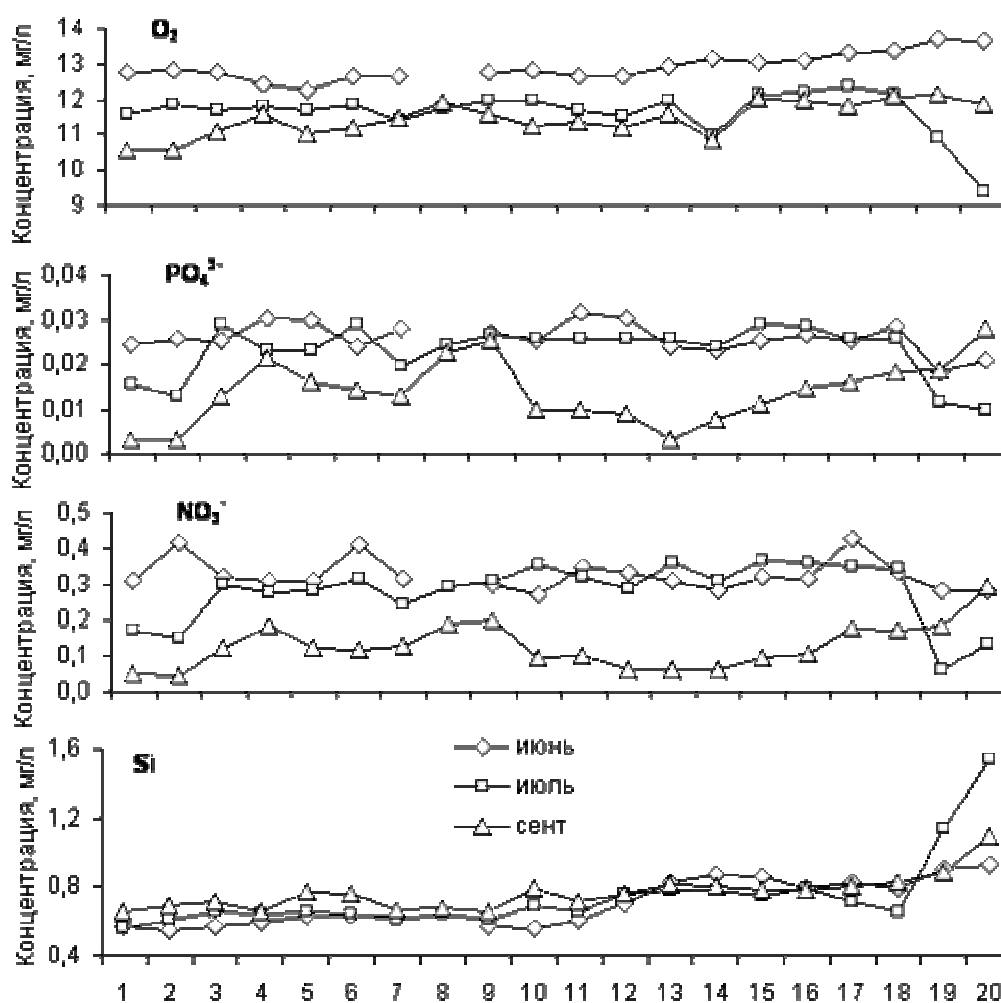


Рисунок 1. Распределение концентрации биогенных элементов и кислорода в поверхностном слое воды оз. Байкал

Вертикальная динамика кислорода и биогенных элементов представлена на рисунке 2. Как видно, с глубиной концентрация кислорода убывает, а биогенных элементов возрастает. Содержание кислорода практически постоянно на одинаковых глубинах в разных частях озера, количество кремния, нитратов и фосфатов в воде возрастает от южной к северной котловине.

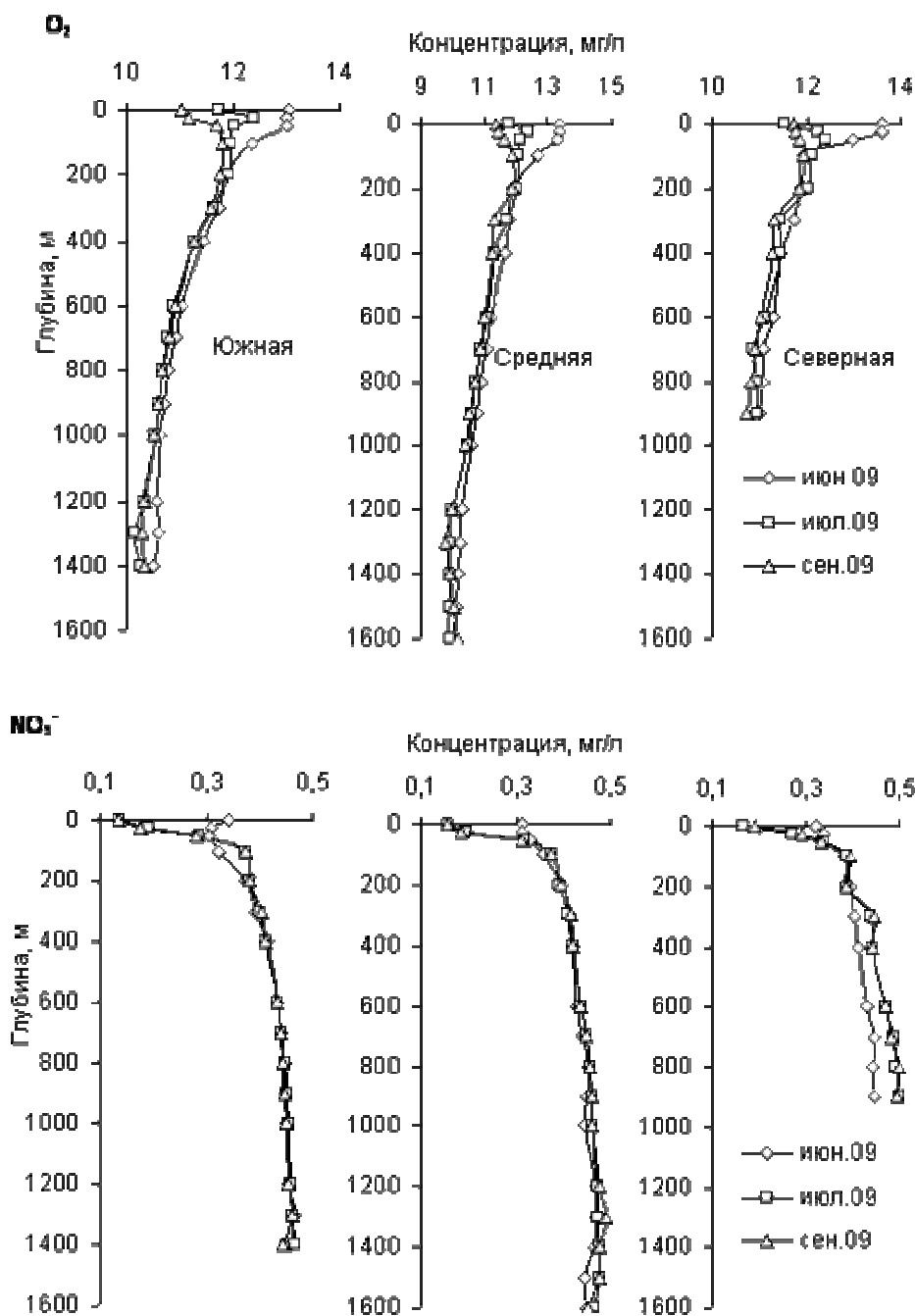


Рисунок 2. Вертикальное распределение средней по котловинам озера концентрации кислорода и нитратов в 2009 г.

Сезонные изменения концентрации кислорода и биогенных элементов прослеживаются только в верхних (до 200-300 м) и придонных слоях (до 100-200 м от дна) озера (рис. 2). Весной концентрация O_2 в верхнем слое воды максимальна. Глубина слоя с однородным распределением кислорода различна для отдельных котловин озера, и различия эти связаны с запаздыванием времени вскрытия. В июле содержание O_2 снижается, отмечается промежуточный максимум его на глубине 25 м (в южной и средней котловине) и на глубине 50 м (в северной), что обусловлено вегетацией водорослей на промежуточных горизонтах, как ранее было отмечено К.К. Вотинцевым [2]. В сентябре верхние слои воды охлаждаются, завершается вегетация летнего комплекса водорослей и растет потребление кислорода на окисление органического вещества, продолжает-

ся эвазия O_2 в атмосферу. Концентрация кислорода в верхнем слое снижается, формируется вертикальный профиль с максимумом его концентрации на глубинах 100-200 м в южной и средней котловине и около 100 м в северной.

В весенний период концентрация кремния в воде верхнего слоя в южной и средней котловинах меньше, чем в июле и сентябре. В северной котловине наблюдается обратная ситуация. Содержание нитратов и фосфатов в верхних слоях воды всех котловин снижается от июня к июлю, сохраняется в сентябре практически в этих же значениях в южной и средней котловинах и незначительно повышается в северной.

В придонных слоях воды сезонные изменения, выражающиеся в снижении биогенных элементов и возрастании кислорода или в уменьшении градиента их концентрации, обусловлены особенностями вертикального перемешивания вод Байкала [4, 5].

Межгодовые колебания концентрации биогенных элементов и кислорода рассмотрены по изменению их средневзвешенной величины, рассчитанной с учетом объема слоев котловин.

Средневзвешенная концентрация кремния и фосфатов понижалась от 1994 г. к 1997-2002 гг. и возрастала к 2009 г. до уровня начала 1990-х г. Минимум содержания нитратов приходился на 1994 и 1999-2001 гг. Частично минимум концентрации биогенных элементов в 1998-2001 гг. можно объяснить тем, что данные этих лет получены в сентябре, когда развитие летнего комплекса водорослей сопровождается значительным снижением содержания нитратов и фосфатов в верхнем слое воды. Однако снижение за счет этого средневзвешенной концентрации этих элементов не превышает 5-10%.

Средневзвешенная концентрация O_2 в воде отдельных котловин с начала 90-х годов остается практически на одном уровне. Её постоянство в водах глубинной зоны обеспечивается регулярностью процессов их обновления за счет глубинной конвекции. Причиной колебаний концентрации могут быть различная интенсивность фотосинтеза водорослей и газообмена вода-атмосфера в конкретные годы, а также растворимость кислорода в зависимости от температуры верхних слоев.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-05-00258).

Литература

1. Бондаренко Н.А. Экология и таксономическое разнообразие планктонных водорослей в озерах горных областей Восточной Сибири. – Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Борок, 2009. – 46 с.
2. Вотинцев К.К. Гидрохимия озера Байкал. – М.: Изд-во АН СССР. 1961. – 310 с.
3. Сакирко М.В., Домышева В.М. и др. К оценке пространственной изменчивости направления потоков углекислого газа в разные гидрологические сезоны на озере Байкал // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22. – № 6. – С. 596-699.
4. Шимараев М.Н., Домышева В.М., Горбунова Л.А. О динамике кислорода в Байкале в период весеннего перемешивания // ДАН. – 1996. – т.347. – № 6. – С. 814-817.
5. R.Hohmann, R.Kipfer, et al. Processes of deep-water renewal in Lake Baikal // Limnol. Oceanogr. – 1997. – Vol.42. – № 5. – P. 841-855.

ПРОГНОЗ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ СЕВЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИ МАСШТАБНОМ ГИДРОСТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПРИМЕРЕ ЭВЕНКИЙСКОГО (ТУРУХАНСКОГО) ВОДОХРАНИЛИЩА

Дрюккер В.В., Сороковицова Л.М.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, drucker@lin.irk.ru

PROGNOSIS OF TRANSFORMATION OF NATURAL NORDIC ECOSYSTEMS WHEN CONSTRUCTING LARGE HYDROELECTRIC POWER STATIONS EXAMPLIFIED BY THE EVENKI (TURUKHAN) WATER RESERVOIR

Drucker V.V., Sorokovikova L.M.

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, drucker@lin.irk.ru

В докладе рассмотрена динамика химического состава воды и бактериопланктона в р. Нижней Тунгуске в естественных условиях водного режима и показаны вероятные их изменения при зарегулировании реки. Качество воды в водохранилище будет низкое, что обуславливается низким водообменом, поступлением высокоминерализованных оксигенодефицитных подземных вод, резкой стратификацией водных масс и низкой самоочищающей способностью водоема.

The dynamics of water chemistry et bacterioplankton in the region of Lower Tunguska River under natural conditions of water regime is considered. Their possible changes caused by the river regulation are shown in the report. It is predicted that there will be low water quality in the reservoir due to slow water exchange, the input of highmineralized groundwater containing no oxygen, sharp stratification of water masses, and the low self-purification ability of reservoir as well.

В России в настоящее время гидротехническое строительство ведется в Сибири и на Дальнем Востоке, на европейской территории резерв его практически исчерпан. Вопрос о создании ГЭС на р. Нижней Тунгуске в слабо освоенном районе Крайнего Севера рассматривается не впервые. В конце 80-х годов прошлого столетия Советом Министров РСФСР Сибирскому отделению АН СССР было поручено провести эколого-экономическую экспертизу ТЭО Туруханской ГЭС. В 1988 г. была создана комиссия из специалистов различных специальностей. Разработка прогноза качества воды водохранилища и нижнего бьефа Туруханской ГЭС проводилась Лимнологическим институтом СО АН СССР. На основе анализа полученных результатов экспертизы комиссия пришла к заключению, что создание огромного водохранилища на территории со сложным геологическим строением нанесет непоправимый экологический вред экосистемам бассейнов Н. Тунгуски и нижнего Енисея, приведет к снижению качества жизни населения. Вопрос о строительстве ГЭС был снят. Однако он вновь возник в последние годы как Эвенкийское водохранилище, которое отличается от Туруханского более низким водообменом (0,29 и 0,44), его длина больше ~ на 200 км, объем при НПУ 200 увеличится с 254 до 409 км³.

Для разработки прогноза качества воды Эвенкийского водохранилища нами использованы результаты многолетних комплексных исследований (1972-1984, 2007 гг.) на реках Енисей и Нижняя Тунгуска на участках выше и ниже впадения последней. Проанализированы гидрохимические данные Росгидромета. Привлечены материалы по формированию гидрохимического и гидробиологического режимов северных Вилюйского, Братского и Хантайского водохранилищ, а

также водохранилищ Канады.

Минерализация воды р. Нижней Тунгуски в естественных условиях в течение года изменяется в пределах 57-1308 мг/л. Широкие колебания минерализации обусловлены значительными изменениями водного стока и поступлением в русло реки высокоминерализованных подземных вод в среднем течении (пос. Тура). От пос. Тура до устья водный сток реки увеличивается в два раза в основном за счет северных притоков с низкой минерализацией. Их поступление приводит к снижению концентраций главных ионов и минерализации воды к устью в 2-4 раза в зависимости от сезона. Относительный состав главных ионов только весной по всему исследованному участку реки (пос. Тура - устье реки) относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Поступление высокоминерализованных подземных вод в среднем течении при снижении водности приводит к изменению состава воды на хлоридно-натриевый или хлоридно-кальциевый.

Динамика концентрации биогенных элементов и органических веществ определяется изменениями водности и колеблется в широких пределах. Повышенные их концентрации отмечены во время половодья и в районе сброса сточных вод пос. Тура и Туруханск. Предельные концентрации растворенного кислорода в воде Нижней Тунгуски составляли 0,50-12,5 мг/л, или 6,5-106% насыщения. Наименьшее его содержание наблюдалось в среднем течении реки, что обусловлено поступлением в русло глубинных обескислороженных подземных вод. При отборе проб воды зимой отмечен замор рыб. Притоки Н.Тунгуски в основном характеризуются низкой минерализацией до 100 мг/л. Исключение составляет р. Кочечум, минерализация воды которой зимой достигает более 1000 мг/л.

Изучение бактериопланктона и оценка качества вод р. Нижней Тунгуски по микробиологическим критериям показало, что общая численность бактерий (ОЧБ) в зимний период составляет 0,36-0,83 млн. кл/мл, весной в период половодья увеличивается до 2,83 млн. кл/мл. В летний период ОЧБ составляет 0,89-1,74, а осенью – 0,46-0,97 млн кл/мл. Этот показатель выше на участке реки пос. Тура – пос. Учами, чем на ниже расположенном. В притоках ОЧБ была несколько выше и составляла: в воде р. Кочечум – 1,21, р. Учами – 1,06, р. Тутончаны – 1,05 млн кл/мл. Сезонные изменения биомассы бактериопланктона р. Н. Тунгуски в течение различных сезонов года составляли 0,46-0,92, а в притоках – 0,54-0,82 г/м³. Динамика сезонных изменений численности гетеротрофных бактерий в воде р. Н. Тунгуски имела определенную закономерность: в зимний, летний и осенний периоды их количество составляло 105-295 кл/мл, а во время половодья возрастала до 990 кл/мл. В воде Н. Тунгуски зарегистрирована условно патогенная микрофлора, коли-индекс в июне изменялся в пределах 0,8-25,0 тыс. кл/мл, в июле, после прохождения половодья, снижался до 0,1-3,4 тыс., а осенью увеличивался в связи с дождями до 0,5-12,5 тыс. кл/мл.

Согласно современным экологическим классификациям качества воды, по гидрохимическим, микробиологическим и гидробиологическим показателям вода р. Н. Тунгуски в период открытый воды оценивается как «чистая». Зимой в среднем течении оно снижается до разряда «грязная».

Расчет минерализации воды в будущем водохранилище показал, что в зависимости от водности при полной замене водных масс она в среднем будет изменяться в пределах 85-265 мг/л (табл.).

Таблица

Минерализация воды Эвенкийского водохранилища, НПУ 200

Маловодный год			Средний по водности		
Зимняя межень	паводок	Летне- осенняя межень	Зимняя межень	паводок	Летне- осенняя межень
По формуле А.П. Браславского					
265,3	161,8	161,9	153,7	84,5	84,8
По формуле Н.М. Бочкова					
253,4	150,5	149,9	125,4	80,7	89,7

Однако из-за крайне низкого водообмена в условиях полярного дня температурная стратификация будет устанавливаться достаточно быстро, что приведет к резкому расслоению водных масс и скоплению в придонных слоях водохранилища высокоминерализованных вод.

Газовый режим и качество воды в водохранилище также будут формироваться под влиянием региональных факторов и морфометрических особенностей водохранилища: это длительный подледный период, заболоченность территории, отсутствие полной смены обескислороженных высокоминерализованных вод в период половодья, резкая стратификация водных масс. В течение всего года будут отмечаться сероводородные зоны даже в проточной части водохранилища, что приведет к резкому снижению качества воды и ухудшению условий развития планктона и бентоса.

Концентрации биогенных элементов в воде водохранилища (от 80 до 95%) будут определяться стоком р. Нижней Тунгуски, исключение составят аммонийный азот, минеральный и общий фосфор. На их содержание, а также С орг., величину бихроматной окисляемости (ХПК) заметное влияние окажет поступление их из затопленных почв и растительности.

Анализ материалов по формированию бактериопланктона в водохранилищах Сибири, Севера и Заполярья показал, что в Эвенкийском водохранилище процесс формирования будет продолжаться не менее 10-15 лет, что обусловлено низкой самоочищающей способностью северных водоемов (Сорокикова и др., 1997). В первые годы наполнения водохранилища количество бактериопланктона будет увеличиваться по сравнению с рекой и составит в зимний период 0,4-1,0 млн. кл/мл, а в период открытой воды – до 5,0 млн. кл/мл. По мере наполнения водохранилища, снижения скоростей течения, улучшения качества воды общее количество бактерий в водоеме будет уменьшаться. Санитарное состояние водохранилища будет зависеть от влияния хозяйственно-бытовых стоков пос. Тура, которое при НПУ будет расположено в 200-250 км ниже зоны подпора, и сточные воды будут поступать в водоем. Для предотвращения бактериального и вирусного загрязнения условно-патогенными видами и ухудшения эпидемиологической обстановки необходимо строительство очистных сооружений до создания водохранилища.

Исследования, выполненные на водохранилищах Канады в период их наполнения и первые годы формирования, показали, что в затопленных почвах активизируется миграция ртути и наблюдается накопление ее в трофических цепях [Jackson, 1988]. Исследования на Курейском водохранилище показали, что в затопленных почвах наблюдается интенсивное накопление ртути в поверхностных, богатых органическими веществами горизонтах и в формирующихся донных отложениях. Вовлекаясь в биологический круговорот ртуть накапливается в тканях рыб, максимальные ее концентрации наблюдались в молодых особях 4-5 лет. В тканях всех исследованных рыб преобладала наиболее токсичная органическая форма ртути (до 66-97%) (Сорокикова и др., 1997; Лапердина и др., 1997).

Таким образом, создание Эвенкийского водохранилища приведет к резкому изменению экосистемы реки Н. Тунгуски, а, возможно, к ее деградации. Качество воды в водохранилище будет низким, что обуславливается низким водообменом, поступлением высокоминерализованных обескислороженных подземных вод, резкой стратификацией водных масс как в условиях полярного дня, так и в зимний период, низкой самоочищающей способностью водоема. В водохранилище изменится биофонд, активизируется миграция ртути в трофических цепях, что приведет к накоплению экотоксиканта в рыбе и может негативно отразиться на здоровье населения. Исходя из этого, как и при планировании Туруханской ГЭС, остро стоит вопрос о целесообразности строительства Эвенкийской, создание которой нанесет более существенный ущерб природной среде Севера.

Литература

1. Лапердина Т.Г., Аскарова О.Б., Папина Т.С., Эйрих С.С., Сороковикова Л.М. Методические особенности определения ртути в образцах рыб (на примере Курейского водохранилища) // Аналитическая химия. – 1997. – № 6. – С. 651-656.
2. Сороковикова Л.М., Андрулайтис Л.Д., Домышева В.М. Изменение концентрации ртути в природных объектах экосистемы Курейского водохранилища // География и природ. ресурсы. – 1997. – № 1. – С. 55-60.
3. Jackson T.A. The mercury problem in recently formed reservoirs of Northern Manitoba (Canada): effects of impoundment and other factors on the production of methyl mercury by microorganisms in sediments // Can. J. Fish. Aquat. Sci.. – 1988. – V. 45. – P. 97-121.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ АРТЕМИИ

Егоркина Г.И.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, emit@iwep.asu.ru

METHODICAL APPROACHES TO THE STUDY OF ARTEMIA POPULATION STRUCTURE

Egorkina G.I.

Institute for and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, emit@iwep.asu.ru

Обоснована возможность использования фенетического и генетического подходов в изучении структуры популяций артемии.

The possibility of the use of phonetic and genetic approaches to the study of artemia population structure is justified.

Артемия является важным кормовым компонентом в производстве аквакультуры. Мировая добыча цист артемии составляет в настоящее время около 2000 т в год. В течение последних двух десятилетий потребности в продуктах аквакультуры возрастали со скоростью 5-10% в год и, очевидно, будут возрастать в будущем, следовательно, будет возрастать и добыча цист артемии [5]. В этой связи для организации правильной эксплуатации популяций рачка, управления их развитием и, что особенно важно, эффективной охраны генофонда необходимо теоретическое понимание процессов, протекающих в них. Организация неистощительной эксплуатации живых природных ресурсов немыслима без популяционного подхода [3].

В настоящее время в изучении природных популяций сложились направления, соответствующие вовлеченным биологическим наукам – генетике, экологии, морфологии и др. Эти научные направления являются разделами популяционной биологии со своими специфическими сочетаниями предмета, метода и целей исследования [3]. Мы исследовали возможность использования некоторых из этих методических подходов для изучения структуры популяций артемии.

Фенетический подход. Определение характера наследования различных признаков и свойств, выяснение генетической структуры популяций и ее динамики приемлемы для незначительного числа видов. Поэтому в настоящее время развивается междисциплинарное направление в популяционной биологии – фенетика популяций, предметом изучения которой является внутривидовая изменчивость по дискретным альтернативным вариациям признаков и свойств (фенов), маркирующих генетические особенности группы особей частотой встречаемости [3]. Методы фенетики заключаются в выделении различных фенов, характерных для изменчивости изучаемых форм, их количественное и качественное изучение. Фенами могут служить качественные, дискретные, альтернативные, как правило, слабо взаимосвязанные друг с другом признаки – маркеры генотипа. У беспозвоночных фенетические исследования охватывают небольшую часть видов насекомых и моллюсков, хотя в любой их группе есть возможности нахождения таких признаков [3].

Работа по выделению фенов состоит из этапов: выявление дискретной изменчивости по каким-либо признакам; установление отсутствия связи изучаемых признаков с возрастом и полом; собственно выделение и описание дискретных вариаций признаков; проверка выделенных фенов на природном материале. Исследования ультраструктуры хориона цист артемии с помощью сканирующей электронной микроскопии показали значительную изменчивость морфологии

поверхности [2]. Возникла необходимость изучить возможность использования этого признака в исследованиях популяций рачка, т.е. выполнить 3-й и 4-й этапы выделения фена.

Мы исследовали цисты из 12-ти различных водоемов: озер Западной Сибири, Большого Соленого Озера (США), Аральского и Каспийского морей. Было установлено, что признак обладает внутривидовой изменчивостью, причем ее спектр индивидуален для каждого водоема: от незначительного (озера Большое Соленое, Кулундинское, Малое Яровое) до очень широкого (моря Каспийское и Аральское, оз. Большое Яровое). Выделены многочисленные морфотипы поверхности цист, некоторые из них представлены на рисунке 1. Многие из морфотипов характерны для тех водоемов, где были собраны, и лишь немногие встречаются в большинстве мест обитания (например, гладкая поверхность хориона). Частота встречаемости различных морфотипов в разные годы добычи цист постоянна в отдельных водоемах. Это свидетельствует о популяционном масштабе признака. Полученные данные говорят о том, что изученный признак можно использовать не только в качестве фена в исследованиях структуры популяций артемии, но и для их идентификации в микросистематике.

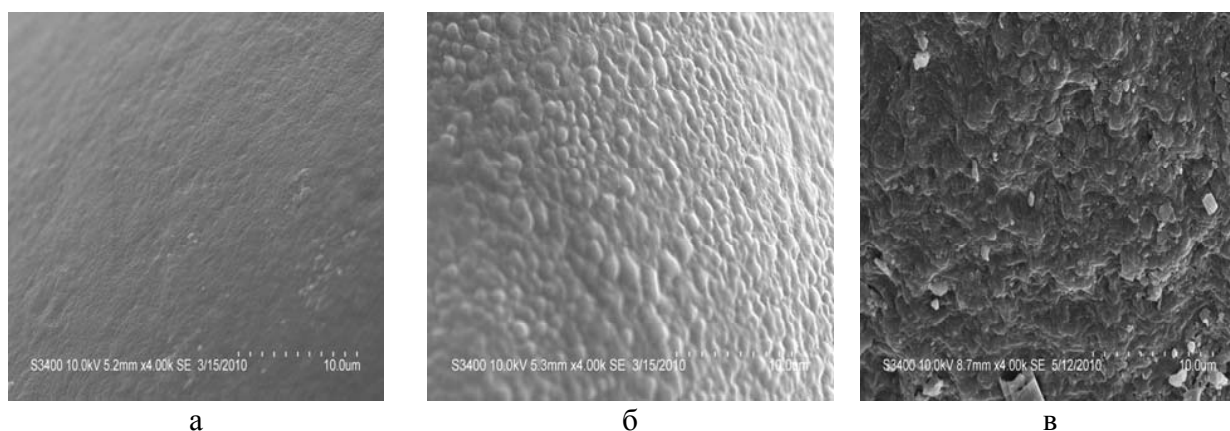


Рис.1. Структура поверхности хориона цист артемии: а – гладкая; б – шероховатая; в – с углублениями.

Генетический подход – хромосомный полиморфизм. Изучение числа и строения хромосом относится к компетенции популяционной цитогенетики. Исследуя изменчивость хромосом в популяциях, можно подойти к пониманию механизмов экологической пластичности, генетической дифференциации популяций, адаптации и других явлений природы. Расширение исследований в области популяционной цитогенетики показало, что у различных групп живых организмов в отдельных органах и тканях имеет место эндорепродукция клеток. Этим термином обозначается все разнообразие процессов, приводящих к кратному увеличению числа хромосомных наборов в соматических клетках. Например, для гастропод показано [1], что умножение генома включается в программу многих гистогенезов, так что соматическая полиплоидия становится важным дополнительным фактором постнатального роста органов. Механизмами умножения генома являются: хромонемная эндоредупликация, в результате которой число хромосом не изменяется, но они становятся полигенными; аномальный митоз, который приводит к несимметричному делению хромосом и появлению гаплоидов триплоидов и анеуплоидов; эндомитоз, кратное увеличивающий число хромосом в клетках. При этом существует определенная взаимосвязь эндорепродукции и пролиферации: вначале клетки растут, совмещая полиплоидию и пролиферативный рост, затем, достигая определенного уровня полиплоидизации, утрачивают способность к делению и функционируют как специализированные клетки.

*Автор выражает глубокую признательность Н.С. Романовой за предоставленную коллекцию

цист артемии и А.В. Дьяченко за помощь при работе на сканирующем электронном микроскопе.

Из работ по цитогенетике артемии известно, что у бисексуальных видов основное число $x=21$ (*Artemia franciscana*, *A. urmiana*, *A. tibetiana*, *A. sinica*) или $x=22$ (*A. persimilis*). Методом цитофотометрии и визуального определения размера клеток показано, что у рачков бисексуального вида *A. franciscana* имеет место дифференциация клеток по содержанию ДНК: клетки основного эпидермиса и мышечные клетки головного отростка диплоидны содержат 2с ДНК (с – гаплоидная масса ДНК). Клетки грудного отдела, пищеварительного канала и щетинок содержат 4с-8с, клетки скорлуповой железы – более 8с ДНК. При этом клетки эпидермиса, торакса и пищеварительного канала пролиферировали, но отклонений от диплоидного числа хромосом не было обнаружено [4].

Мы исследовали партеногенетические популяции артемии *A. parthenogenetica* из озер Кулундинское (общая минерализация воды 40-132 г/л), Кучукское (216-320 г/л), Малое Яровое (202-280 г/л), Большое Яровое (135-204 г/л) и Эбейты (150-229 г/л) [2]. Для подсчета числа хромосом использовали первую личиночную стадию (Instar I). Уже на этой стадии визуально клетки имели значительные различия: от мелких до гигантских. Последние находились в интерфазе и никогда не делились. В пролиферирующих клетках отдельных науплиусов можно было встретить широкий спектр чисел хромосом: от гаплоидного до пентаплоидного, что затрудняло анализ популяций артемии на организменном уровне. Поэтому мы объединили все клетки изученных науплиусов и анализировали популяции клеток.

В структуре клеточных популяций, полученных из цист озер Кулундинское и Эбейты, преобладало диплоидное число хромосом. Науплиусы, полученные из цист оз. Большое Яровое, имели только половину клеток с диплоидным набором хромосом. Значительную долю составили клетки с числом хромосом 36, а среди полиплоидных – 54 и 72. Это позволило предположить существование в оз. Большое Яровое не только клонов с основным числом 21, но и клонов с основным числом 18. В озерах с высоким уровнем минерализации (Малое Яровое и Кучукское) был выявлен наиболее широкий спектр хромосомных чисел с высокой долей полиплоидов до пентаплоидного уровня. В оз. Кучукское число последних преобладало над диплоидами. Линейный коэффициент корреляции между уровнем минерализации и процентной долей полиплоидов составил $r=64,4$, что указывает на несомненную зависимость пloidности от солености воды.

Рассматривая полученные и литературные данные по кариологии артемии в свете имеющихся знаний об эндорепродукции клеток [1], можно предположить, что в тканях артемии процесс полиплоидизации и специализации клеток у рачка начинается на ранних стадиях развития эмбриона, который заканчивается для некоторых тканей уже на первой науплиальной стадии. У бисексуальных видов срабатывает один механизм умножения геномов – эндоредупликация. При этом уровень полипloidии 8с не является предельным для пролиферации клеток в тораксе и пищеварительном канале. У партеногенетических популяций артемии функционируют, по-видимому, все три механизма умножения генома, а значимость каждого из них изменяется по мере изменения условий обитания, что обеспечивает адаптацию рачка к комплексу экстремальных факторов, связанных с высоким засолением (вязкость среды, температура, количество растворенного кислорода, состава и количества пищи). Возможно, система умножения геномов в клетках артемии является основным механизмом генетической дифференциации популяций и их экологической пластичности.

Литература

1. Анисимов А.П. Клеточное размножение и соматическая полиплоидия в тканях брюхоногих моллюсков: обзор VI. Общие закономерности пролиферации и эндорепродукции клеток / А.П. Анисимов // Цитология. – 1999. – Т.41, № 1. – С. 23-30.
2. Егоркина Г.И. К вопросу об идентификации партеногенетических популяций артемии в

Сибирском регионе / Г.И. Егоркина, Е.К. Павлова, А.Л. Верещагин, В.В. Кириллов, Н.С. Романова // Вестник АГАУ. – 2008. – № 6 (44). – С. 44-47.

3. Яблоков А.В. Введение в фенетику популяций. Новый подход к изучению природных популяций: Учеб. пособие для студ. вузов / А.В. Яблоков, Н.И. Ларина – М.: Высш. шк., 1985. – 159 с.

4. Freeman J.A. Cell-specific endopolyploidy in developing *Artemia* / J.A. Freeman, R.B. Chronister // Development Genes and Evolution. – 1988. – V. 197. – N. 8. – P. 490-495.

5. NATO Science for Peace project: CP EAP SFP 980859 Sustainable use of the Aral Sea *Artemia* resources [электронный ресурс] – http://www.aquaculture.ugent.be/rend/NATO-sfp/background_r.htm

ВЛИЯНИЕ НОВОСИБИРСКОГО ГИДРОУЗЛА НА ЗООПЛАНКТОН НИЖНЕГО БЬЕФА

Ермолаева Н.И.,

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Новосибирск, hope@iwep.nsc.ru

INFLUENCE OF NOVOSIBIRSK HYDROSYSTEM ON ZOOPLANKTON IN DOWNSTREAM WATER

Yermolayeva N.I.,

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Novosibirsk, hope@iwep.nsc.ru

При прохождении через плотину происходит разрушение крупных организмов зоопланктона. Общая численность снижается на 40-50 %. Полученные величины смертности значительно отличаются от показателей, полученных для Усть-Илимской и Красноярской ГЭС.

While moving through a dam, the destruction of large organisms of zooplankton takes place. The total number decreases by 40-50%. The values of zooplankton death rate differ distinctly from the ones obtained for Ust-Ilimsk and Krasnoyarsk hydroelectric power stations.

Изучение влияния ГЭС на качественные и количественные показатели зоопланктона проводилось с мая по сентябрь 2008 г. Пробы зоопланктона отбирали еженедельно с поверхностного горизонта на трех вертикалях: Верхний бьеф (напротив поста Гидрометеослужбы); Нижний бьеф (300 м ниже плотины); р. Обь у НФС-5 (16 км ниже плотины и 2,5 км выше устья р. Иня).

С каждой вертикали отобрано 21 серия проб (всего 63 пробы). На рисунке 1 приведены усредненные данные за 5 месяцев.

Влияние ГЭС на зоопланктон определяется целым комплексом факторов: режимом эксплуатации водохранилища, высотой плотины (высотой перепада воды), составом планктона и характером нижнего бьефа.

Основными причинами гибели планктона при его прохождении через плотину ГЭС являются высокое давление и сильная турбулентность воды. Происходит разрушение крупных организмов зоопланктона. Из состава сообщества практически выпадают крупные особи дафний. Общая численность снижается на 40-50 %. Трансформируется видовой состав (табл. 1). В нижний бьеф поступают, в основном, циклопы всех возрастных стадий и мелкие ветвистоусые рачки. В нижнем бьефе отмечено большое количество пустых створок и мертвых организмов Cladocera.

На рисунке указано стандартное отклонение для каждого ряда данных. Широкий разброс данных объясняется большим варьированием численных показателей всех учтенных групп зоопланктона в течение вегетационного сезона, что в целом характерно для биологических данных.

Полученные величины смертности значительно отличаются от показателей, полученных для Усть-Илимской и Красноярской ГЭС (до 90 %). По-видимому, гибель планктона связана не только с воздействием турбулентности и кавитации, но и зависит от высоты падения воды в нижний бьеф. Для Усть-Илимской и Красноярской ГЭС, высота которых составляет 90-100 м, показатели гибели зоопланктона значительно выше, чем для Новосибирской ГЭС, (высота 20 м) [2]. В речных условиях, уже 15-20 км ниже плотины, практически все лимнофильные виды, поступающие в реку из водохранилища, выпадают из состава ценоза и замещаются реофильными видами.

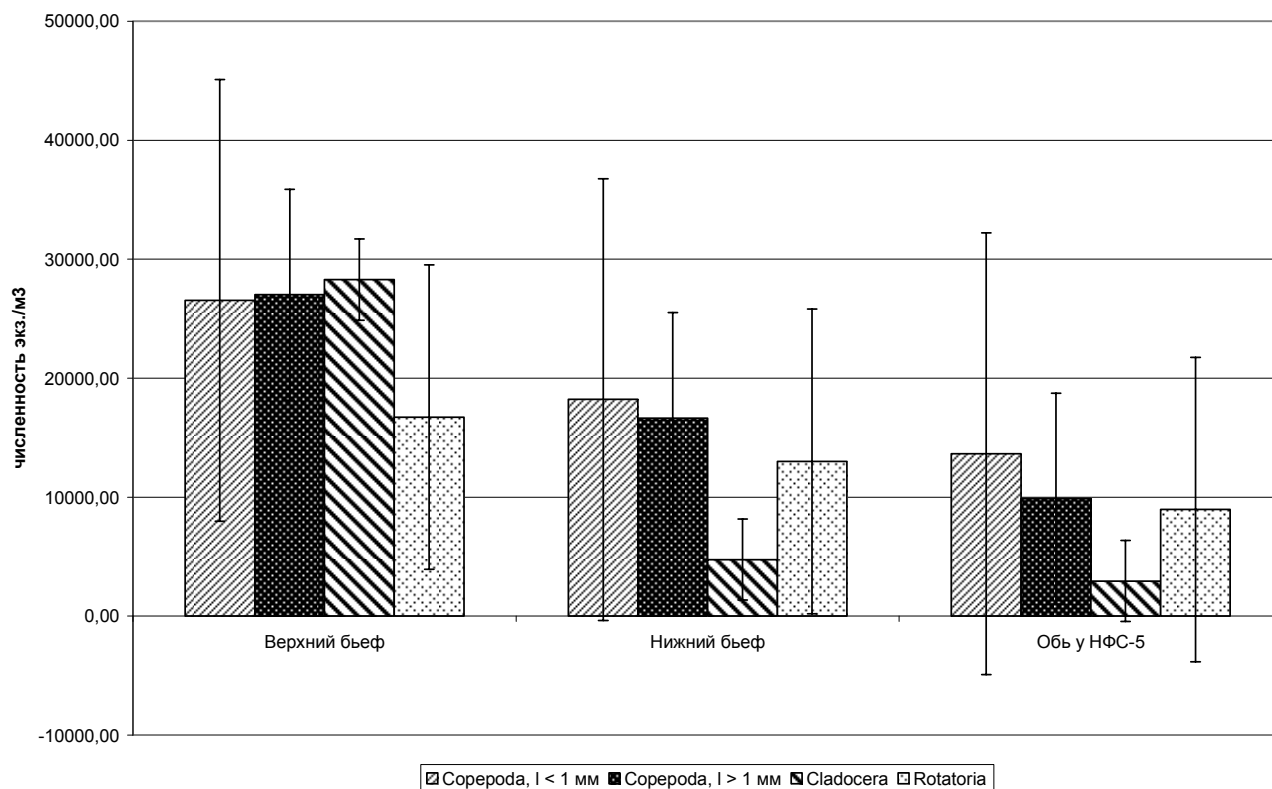


Рисунок 1. Изменение численности различных групп зоопланктона при прохождении через Новосибирскую ГЭС

Таблица 1

Изменения численности (экз./м³) различных групп зоопланктона при прохождении через турбины Новосибирской ГЭС, июль 2008

группы зоопланктона	Верхний бьеф	Нижний бьеф	Смертность %
Крупные копеподы (> 1 мм)	56400	12500	77,8
<i>Daphnia longispina</i>	1250	710	43,2
<i>Bosmina longirostris</i>	980	760	22,4
мелкие кладоцеры и копеподиты	28800	27200	5,5
коловратки и науплиусы	46330	36800	20,7
Суммарный зоопланктон	133760	77970	41,7

Проведен анализ ряда факторов, влияющих на развитие зоопланктона в водохранилище, нижнем бьефе ГЭС, в р. Оби и в каналах водозаборов НФС-5 и НФС-1. Выявлены основные закономерности динамики развития структурно-функциональной организации зоопланктона в зависимости от параметров внешней среды в межсезонном аспекте. Выявлено:

- сбросы воды через плотину не оказывают влияния на количественные показатели зоопланктона;
- развитие зоопланктона зависит от температуры воды; рост численности всех групп наблюдается при повышении температуры воды до 15-16 °С; летний пик численности и биомассы зоопланктона обеспечен, главным образом, ветвистоусыми рачками и коловратками (рис. 2);

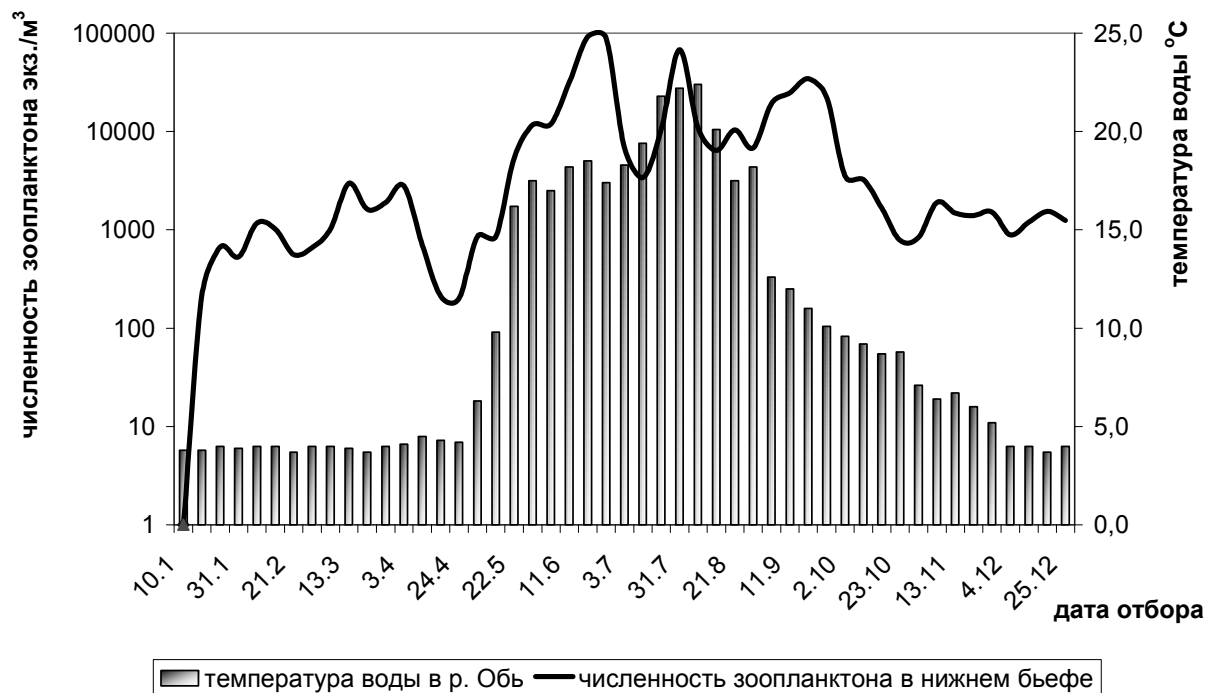


Рисунок 2. Зависимость количественных показателей зоопланктона от температуры воды

• развитие зоопланктона в водохранилище, а соответственно, и сток в нижний бьеф, зависит от уровня воды; при резких колебаниях уровня происходит снижение общей численности зоопланктона, особенно крупных фильтраторов; в период половодья зоопланктон обеспечен, главным образом, науплиальными стадиями циклопов и мелкими коловратками; при стабилизации уровня происходит резкий подъем численности всех таксономических групп.

Литература

1. Гибель планктона в турбинах ГЭС о способ его сохранения. Отчет о результатах НИР Центра экологической безопасности гидромашин при АО «Невский» – С-Пб.: 1994. – 54 с.
2. Шевелева Н.Г. Зоопланктон р. Енисей в нижнем бьефе Краснодарского водохранилища в 1973-74 гг. // Продуктивность экосистем, охрана водных ресурсов и атмосферы. – Красноярск, 1975. С. – 34-36
3. Шилин М.Б., Маслинов В.И., Рябова В.Н. Трансформация планктона при транзите из верхнего в нижний бьеф // Гидротехническое строительство. – №9. – 1991 – С. 30-32.

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТАРЫХ ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Замана Л.В., ИПРЭК СО РАН, Чита, l.v.zamana@mail.ru

HYDROGEOCHEMISTRY PROBLEMS OF OLD MINING TERRITORIES OF EASTERN ZABAIKALIE

Zamana L.V., INREC SB RAS, Chita, l.v.zamana@mail.ru

В результате разработки рудных месторождений формируются техногенные гидрогеохимические системы двух типов – 1) кислые растворы с величиной pH менее 3-4, концентрациями тяжелых металлов и фтора в десятки мг/л; 2) слабокислые, нейтральные или слабощелочные растворы с относительно невысокими концентрациями рудных элементов.

Two types of technogenic hydrogeochemical systems are formed in the time of exploitation of ore deposits: 1) acid solutions with pH less 3-4 and high concentrations of heavy metals and fluorine (dozens mg/l); 2) subacid, neutral or alkalescent solutions with relatively low concentrations of ore elements.

Рудные месторождения разрабатываются в Восточном Забайкалье более 300 лет. В советский период в разное время существовало более 40 горнорудных предприятий. Велась добыча свинцово-цинковых, вольфрамовых, молибденовых, оловянных, флюоритовых, урановых и других типов руд, рудного золота. В настоящее время в крае разрабатывается менее десяти рудных объектов. Вывод месторождений из эксплуатации происходил без рекультивации нарушенных земель, в настоящее время горнорудные отходы в виде отвалов и хвостов обогащения руд являются источниками неконтролируемого загрязнения природной среды. В зависимости от содержания сульфидных минералов в рудах и вмещающих породах и их нейтрализующего потенциала формируются два типа гидрогеохимических систем: 1) кислые металлоносные растворы с величиной pH менее 3-4, концентрациями тяжелых металлов и фтора в десятки мг/л; 2) слабокислые, нейтральные и щелочные растворы с относительно невысокими концентрациями рудных элементов.

Руды большинства промышленных типов месторождений являются сульфидными или содержат сульфидные минералы в примесях. При локализации в алюмосиликатных породах, имеющих низкий потенциал нейтрализации кислотных растворов, образующихся при окислении сульфидов, и при отсутствии в минеральном составе руд карбонатов pH дренажных вод понижается до 2,5-3,0, а концентрации металлов достигают десятков и даже сотен мг/л (табл. 1, химико-аналитические определения выполнены в ИПРЭК СО РАН). В кислых водах в большинстве случаев существенно растут также концентрации фтора, источником которого наряду с флюоритом служат и вмещающие породы, особенно гранитоиды. Наиболее высокие концентрации фтора, превышающие 100 мг/л, установлены в дренажных водах сульфидсодержащих вольфрамовых (Антонова Гора, Букука, Белуха) и флюоритовых (Калангуйское) месторождений. Столь значительный рост содержания фтора обусловлен образованием устойчивых комплексных соединений его с металлами, особенно с алюминием. По термодинамическим расчетам алюмофторидные комплексы при $\text{pH} < 4,0$ могут достигать практически 100 % валового содержания F, при этом в составе комплексов доминирует дифторид алюминия $(\text{AlF}_2)^+$ [1]. Поэтому используемый в настоящее время потенциометрический анализ кислых природных вод на фтор как один из приори-

тетных токсикантов без применения буферных растворов, разрушающих его комплексные соединения, не позволяет получить достоверные данные, что следует учитывать при гидрохимическом мониторинге.

Таблица 1

**Концентрации химических компонентов и
рН в дренажных водах рудных месторождений Восточного Забайкалья.**

Показатель	Объекты исследований									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	8.40	3.57	2.06	7.83	3.06	4.08	6.72	8.20	7.38	8.30
SO ₄ ²⁻	600	1190	300	352	1857	210	270	298	94	219
F ⁻	0.38	1.44	31.5	3.30	30.1	23.9	11.4	2.1	7.56	0.38
Al	0.433	9.64	26.3	0.25	23.4	16.0	6.4	-“-	0.60	0.63
Fe	0.452	14.6	75.9	0.046	18.4	0.2	2.32	2.28	0.18	0.10
Mn	0.123	13.17	1.78	1.53	92.0	1.03	1.75	0.50	0.02	0.014
Cu	0.034	0.107	5.94	0.001	3.59	1.25	0.215	0.003	0.006	0.003
Zn	0.051	0.802	14.5	0.017	448.0	3.9	7.75	1.70	0.013	0.108
Pb	<0.001	0.001	0.011	0.001	0.37	0.003	0.100	4.00	<0.001	0.012
Cd	0.0011	0.004	0.16	0.010	3.12	0.10	0.060	н.о.	<0.0005	<0.0005
Ni	0.064	0.858	0.17	0.051	3.11	0.03	0.15	0.016	0.003	н.о.
Co	0.012	0.251	0.07	0.024	0.935	0.007	0.04	0.003	0.005	-“-

Примечание. Карьеры (1-5), штольни (6-9) и шахта (10) месторождений (в скобках – промышленный тип): 1 – Бaleyского (Au), 2 – Тасеевского (Au), 3 – Букуинского (W), 4 – Спокойнинского (W), 5 – Шерловогорского (Pb-Zn), 6 – Антоновогорского (W), 7 – Букуинского (W), 8 – Савинского (Pb-Zn), 9 – Озолуйского (CaF₂), 10 – Новоширокинского (Pb-Zn) (мг/л; н.о. – нет определено).

Второй тип техногенных гидрогеохимических систем характерен для дренажного стока месторождений, сульфидные руды или вмещающие породы которых содержат карбонаты. К ним в первую очередь относятся свинцово-цинковые месторождения Юго-Восточного Забайкалья (Благодатское, Савинское, Новоширокинское и др.). Близки по составу и дренажные воды малосульфидных месторождений, локализованных в алюмосиликатных породах (Спокойнинское вольфрамное). Контрастные характеристики имеют дренажные воды расположенных рядом золоторудных месторождений Бaleyского и Тасеевского [3]. Здесь сказывается пиритизация вмещающих пород во втором случае.

К экологически опасным относятся отвалы вскрышных и рудовмещающих пород, а также хвосты обогащения руд, сток с которых поступает в речную сеть, при этом даже при кратковременном контакте с ними выпадающих атмосферных осадков происходит переход металлов в воду в

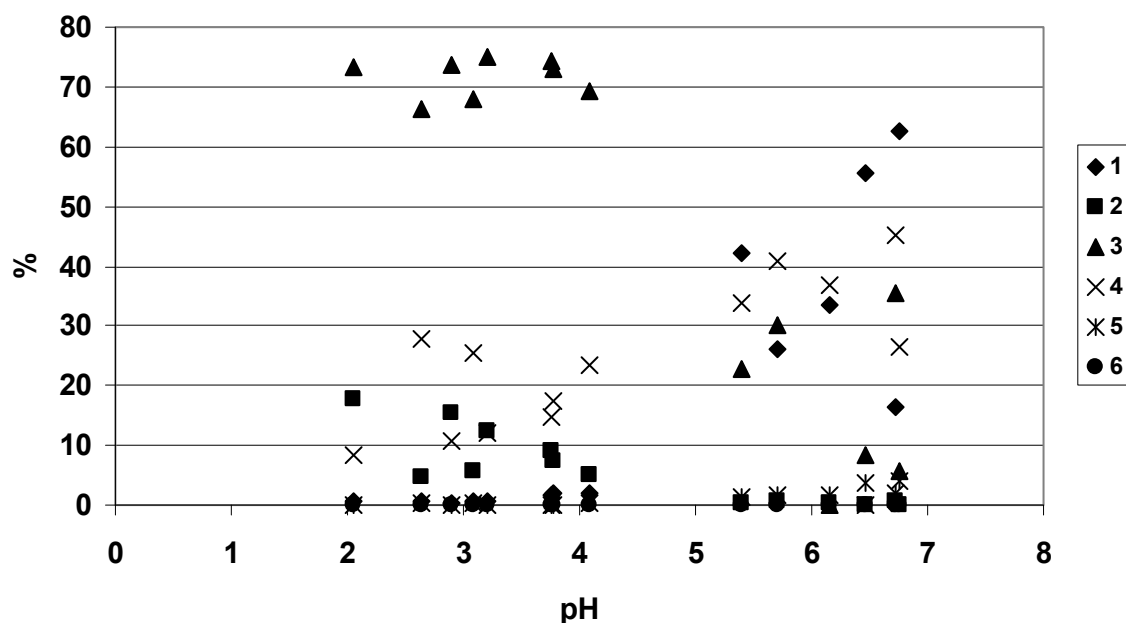


Рисунок 1. Зависимость форм миграции фтора в дренажных водах вольфрамовых месторождений от величины pH: 1 – F^- ; 2 – $(AlF)^{2+}$; 3 – $(AlF_2)^+$; 4 – AlF_3 ; 5 – $(AlF_4)^-$; 6 – $(AlF_5)^{2-}$ [1].

Таблица 2

Концентрации химических компонентов и pH в дренажном стоке с отвалов и хвостов обогащения, (мг/л).

Показатель	Объекты исследований					
	1	2	3	4	5	6
pH	3.19	2.89	2.90	3.77	4.65	7.4
SO_4^{2-}	2702	4900	440	200	1850	336
F^-	7.2	10.4	131.5	15.8	0.27	4.77
Al	16.06	150.8	106.5	11.2	6.7	6.5
Fe	48.1	774.1	7.16	1.0	1.18	0.527
Mn	37.7	30.6	10.8	0.99	9.73	0.930
Cu	0.336	3.185	15.48	0.91	3.96	0.007
Zn	279	6.31	86.2	4.31	0.98	0.001
Pb	0.015	0.321	1.940	0.080	0.312	0.018
Cd	0.009	0.195	1.100	0.070	0.005	0.004
Ni	1.633	56.524	0.87	0.03	0.387	0.006
Co	0.636	1.085	0.22	0.027	0.087	0.01

Примечание. Месторождения: 1-2 – Тасеевское, 3 – Букуинское, 4 – Антонова Гора, 5 – Ключевское (Au), 6 – Шерловогорское.

аномальных концентрациях. Объясняется это тем, что в пленочной влаге вследствие свободного доступа кислорода по поровому пространству скорость окисления сульфидов максимальна [3]. Примером может быть вода из дождевой лужи под отвалами Тасеевского золоторудного месторождения, в которой установлены наиболее высокие на этой площади концентрации ряда металлов (табл. 2, проба 2). Захватом из пленочных растворов объясняется и рост концентраций тяжелых металлов и кислотности стока при фильтрации осадков в начале дождливых периодов.

Вынос токсичных компонентов в речную сеть с горнорудных отвалов без заметного снижения концентраций может продолжаться неограниченно долго. Так, на Антоновогорском и Букуинском месторождениях, эксплуатация которых прекращена в начале 1960-х годов, наиболее высокие концентрации металлов в водах техногенных потоков рассеяния установлены в последние годы, при этом на Букуе они фиксировались не в выходе рудничных вод из штольни или в дренажном стоке из-под отвалов в голове потока, а ниже на участках стока с песков хвостохранилища (рис. 2).

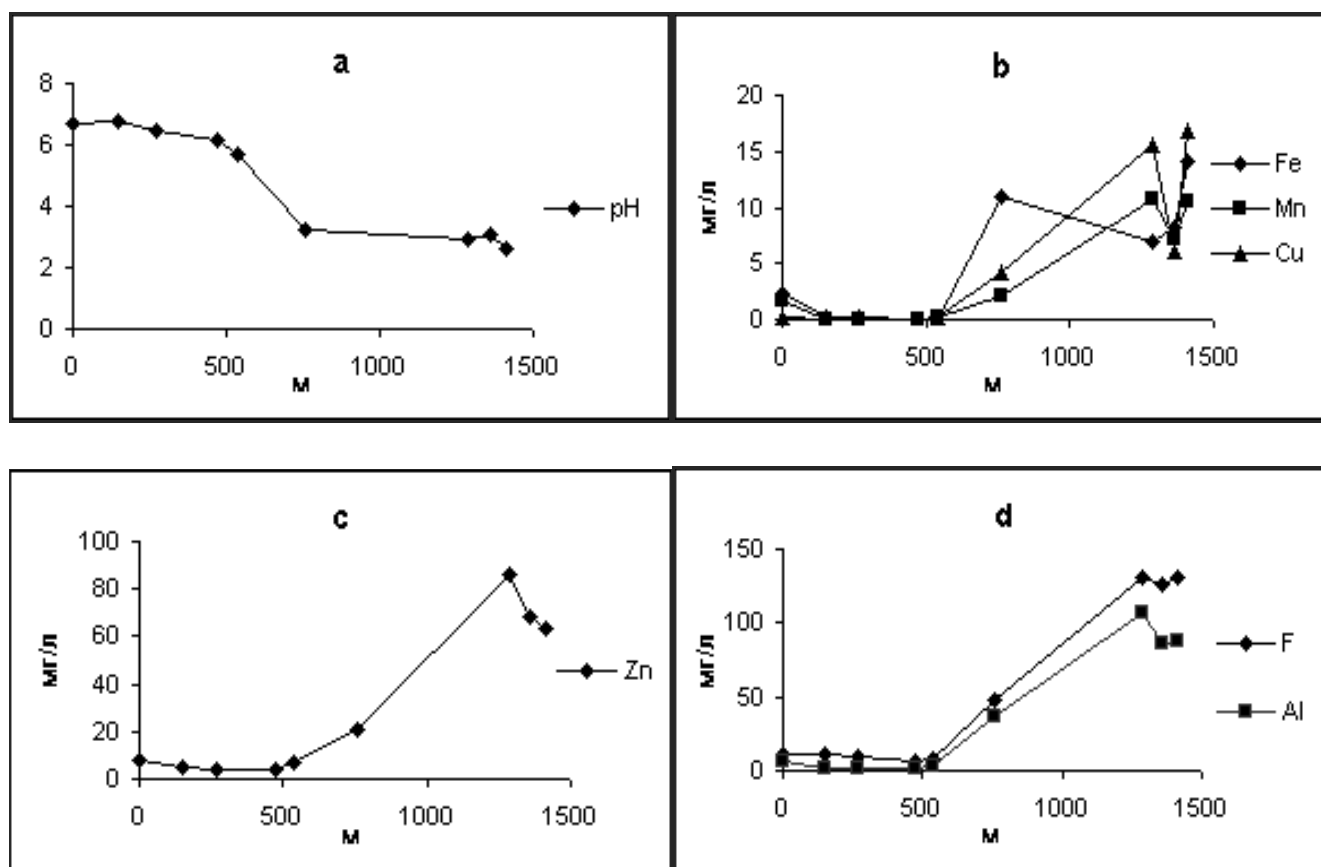


Рисунок 2. Изменение величины pH, концентраций металлов и фтора в водах техногенного потока рассеяния в пади Калениха на вольфрамовом месторождении Букука [4]

Таким образом, дренажный сток рудных месторождений и отходов их разработки независимо от срока вывода горнорудных предприятий из эксплуатации характеризуется неблагоприятными в экологическом отношении геохимическими показателями, которые будут оставаться аномальными практически неограниченное время. Для улучшения экологической обстановки требуется проведение рекультивации нарушенных горной промышленностью земель.

Литература

1. Замана Л.В., Букаты М.Б. Формы миграции фтора в кислых дренажных водах вольфрамовых месторождений Восточного Забайкалья // Докл. АН. – 2004 – т. 396. – № 2. – с. 235-238.
2. Замана Л.В., Усманов М.Т. Гидрогеохимия водных объектов золотопромышленных разработок Балеиско-Тасеевского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2009. – Т. 34. – № 1. – С. 105-111.
3. Макаров В.Н., Кременецакая И.П., Васильева Т.Н., Коротная О.П. Влияние влажности на скорость окисления сульфидов // Инженерная экология. – 1997. – № 5. – С. 19-25.
4. Zamana L.V., Chechel L.P. Technogenic hydrogeochemical anomalies of tungsten deposits in Kukulbey ore region // J. Geosci. Res. NE Asia. – 2004. – V. 7. – № 2. – Apr.. – P. 52-57.

ЗНАЧИМОСТЬ ЛИТОРАЛЬНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

Кириллов В.В., Зарубина Е.Ю., Ким Г.В.,
Кириллова Т.В., Котовициков А.В., Соколова М.И.,
ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, vkirillov@iwep.asu.ru

THE SIGNIFICANCE OF LITORAL PHYTOCENOSIS IN PRIMARY PRODUCTION OF LAKE TELETSKOYE

Kirillov V.V., Zarubina E. Yu., Kim G.V.,
Kirillova T.V., Kotovshchikov A.V., Sokolova M.I.,
IWEPS SB RAS, Barnaul, vkirillov@iwep.asu.ru

Натурные исследования количества и продукционных показателей фитопланктона, фитоперифитона и макрофитов позволили установить определяющее значение литоральных фитоценозов в первичной продукции олиготрофного Телецкого озера. В зоне литорали содержание хлорофилла а фитопланктона достигало уровня эвтрофных водоемов, суточная продукция фитоперифитона и годовая продукция макрофитов соответствуют мезотрофным водоемам.

Abstract Case study of quantity and production characteristics of phytoplankton, phytoperiphyton and microphytes allowed to determine main significance of litoral phytocenosis in primary production of oligotrophic Lake Teletskoye. In litoral zone the content of chlorophyll a in phytoplankton reached the eutrophic level; the daily production of phytoepilite and annual production of macrophytes corresponded to mesotrophic reservoirs.

Введение

Телецкое озеро расположено в северо-восточной части Горного Алтая в верховьях р. Оби на высоте 434 м над уровнем моря. Котловина озера окружена горами с абсолютными отметками до 2400 м. Берега в основном обрывистые, скальные. В озеро впадает около 70 рек, большинство которых в устьевой части образуют конусы выноса, сложенные песком, гравием, гранитными валунами. Озеро имеет вытянутую руслообразную форму. Площадь водного зеркала около 227 км², длина – 78 км, максимальная ширина – 5,2 км, средняя глубина – 174 м, максимальная – 325 м. По строению дна и распределению глубин выделяются меридиональный плес (шириной до 5,2 км, с наибольшими глубинами) и северо-западный широтный (до 1,8 км шириной с глубинами менее 100 м) [6]. Площадь литоральной зоны в Телецком озере от уреза воды до изобаты 12 м составляет около 19 км², или 8% от площади дна, из них площадь литорали меридионального плеса – 9,3 км², широтного – 9,7 км².

По сравнению с пелагиальной, глубоководной зоной, литоральная зона в Телецком озере имеет ряд особенностей. Одна из основных – значительное гидродинамическое воздействие, связанное с интенсивными ветро-волновыми процессами (максимальная высота волны до 2,5 м) и со значительными (до 6 м) ежегодными колебаниями уровня воды [6]. Например, в июле 1998 г. амплитуда колебания уровня воды в течение месяца составила 1 м, а в течение суток – 11 см [5]. Другая особенность литоральной зоны – значительная амплитуда сезонных колебаний температуры воды. Весной, после разрушения ледового покрова, вода литорали прогревается быстрее, чем в пелагиали. В конце мая – пелагиали составляла 2,0-4,5 °С, в литорали – 5,3-

13,4 °С, в заливах – до 17,0 °С. Осенью наоборот – вода в литоральной зоне охлаждается быстрее, чем в пелагиали. Температура воды на участках незарастающей литорали к концу сентября – началу октября составляла 8,3-11,7 °С, в пелагиали 10,6-12,1 °С. Разница температур на литорали и пелагиали осенью 0,3-0,7 °С, в то время как в весенне-летний период 4,8 - 5,2 °С. В пределах литоральной зоны отмечаются значительные суточные колебания температуры воды (до 7-9 °С).

Литоральная зона не испытывает недостатка в солнечном свете, необходимом для существования автотрофов, и отличается от пелагиали повышенным содержанием биогенов и растворенных органических веществ, так как здесь смешиваются воды различного происхождения – речного и склонового стоков, собственно озерные воды. Поэтому именно здесь продуцируется основная часть органического вещества в водоеме. Цель работы – оценить вклад литоральных фитоценозов в формирование первичной продукции глубокого олиготрофного Телецкого озера.

Материалы и методы

Материалом для данной работы послужили результаты комплексных исследований, проведенных Институтом водных и экологических проблем СО РАН в мае-октябре 1998, 2002 и 2003 гг. (фитоэпилитон), 2004-2006 гг. (хлорофилл фитопланктона, макрофиты) в период с конца мая до середины октября, то есть во все фазы термического цикла: весеннего нагревания, летней стратификации и осеннего охлаждения. Исследования проводили стандартными методами [3] на разнотипных участках литорали, приуроченных к заливам и устьям рек.

Результаты и обсуждение

Содержание основного фотосинтетического пигмента водорослей хлорофилла а (Хл а) в воде литоральной зоны заливов озера в период исследований варьировало от 0,4 до 12,7 мг/м³ при среднем значении $1,87 \pm 0,11$ мг/м³ (n=251) (табл.). В толще пелагиали озера данный показатель изменялся от 0,1 до 2,8 мг/м³ при среднем значении $0,72 \pm 0,04$ мг/м³ (n=217). Среднее значение содержания хлорофилла а фитопланктона в литоральной зоне озера в период исследований достоверно более чем в два раза превышало таковое в глубоководной части озера.

Концентрация хлорофилла а, продукция фитоэпилитона и макрофитов в литорали Телецкого озера

Участки озера	Хлорофилл а фитопланктона, мг/м ³ , 2004-2006 гг.		Фитоэпилитон, 2002 г.		Макрофиты, г/м ² в год 2004-2006 гг.
	литораль	пелагиаль	продукция, гСм ² /сут.	хлорофилл а, мг/м ²	
Меридиональ ная часть	$\frac{1,87}{12,7}$	$\frac{0,72}{2,8}$	$\frac{1,19}{2,93}$	$\frac{22,2}{50,2}$	$\frac{72-110}{80-244}$
Широтная часть			$\frac{0,93}{1,40}$	$\frac{5,87}{6,94}$	$\frac{116-150}{160-336}$

Примечание: в числителе – среднее, в знаменателе – максимальное значение.

Максимальные значения показателя выявлены для самых мелководных (глубина до 0,5 м), защищенных от волноприбойной деятельности хорошо прогреваемых участков зарастающей макрофитами литорали: в зарослях хвоща и рдестов. Минимальные значения отмечены

в поверхностном горизонте на участках открытой литорали и в зарослях погруженных растений.

В воде зарастающей литорали отмечены изменения концентрации Хл а по профилю при удалении от берега. Получена отрицательная корреляционная зависимость ($r=-0,9$) между концентрацией Хл а и расстоянием от уреза воды, увеличением глубины и уменьшением обилия высших водных растений. Отмечена также корреляционная зависимость содержания Хл а от общего проективного покрытия макрофитов: коэффициенты корреляции варьируют от 0,45 до 0,98. Значимых отличий в изменении содержания Хл а в разные фазы гидрологического цикла не выявлено.

На протяжении двух третей литорали Телецкого озера растительность представлена исключительно *фитоэпилитом* – водорослями, развивающимися на каменистом субстрате. В составе фитоэпилитона выявлено 446 видов водорослей из 9 отделов. Наибольшее видовое разнообразие характерно для диатомовых, синезеленых и зеленых водорослей (42, 30 и 20 % от всего видового состава, соответственно).

Изменение уровня воды и активный волноприбойный процесс, создают нестабильные условия для вегетирования водорослей эпилитона. Несмотря на то, что биомасса эпилитона в исследуемый период была значительно ниже, чем в эвтрофных водоемах (0,03–424,62 г/м² и 4700 г/м², соответственно) максимальное значение первичной продукции фитоэпилитона (2,93 гСм²/сут.) соответствовало мезотрофным водоемам (1,45–22,0 г С/м² /сут.) [4]. Низкие значения биомассы – следствие смыва водорослей в результате волноприбойной деятельности, а высокие значения первичной продукции связаны с преобладанием в фитоэпилитоне в нестабильных условиях мелкоклеточных (2-90 мкм длиной) видов водорослей, которые образуют динамичные и продуктивные сообщества. За период открытой воды (апрель–октябрь) продукция фитоэпилитона достигала 627 г С/м² и для всего озера в 2002 г. составила 8339 т С.

Высшая водная растительность в Телецком озере развита слабо. Зарастание озера наблюдается только в Камгинском и Кыгинском заливах, приустьевых участках крупных рек и в районе северо-западного мелководного плеса.

По составу доминирующих фитоценозов Телецкое озеро принадлежит к рдестовому типу озер. Ассоциации рдестов *Potametum perfoliati* и *P. graminei* занимают от 40 до 70% растительного покрова различных участков. Среди полупогруженной растительности доминируют сообщества хвоща речного (*Equisetum fluviatilis*) и осоки острой (*Caricetum acutae*). Общая площадь зарослей составляет около 30% литорали озера. По интенсивности зарастания – озеро слабо зарастающий водоем.

Сезонная динамика численности и фитомассы доминирующих сообществ в Телецком озере указывает на очень короткий период вегетации. Для большинства видов с конца июня до середины июля – начало вегетации (низкая биомасса при высокой численности), с середины августа до начала сентября – период максимального развития, цветения и плодоношения (высокая биомасса, снижение численности), с середины по конец сентября – начало отмирания и разложения (низкая биомасса и численность).

Продуктивность высшей водной растительности в озере низкая. Средние значения фитомассы макрофитов в период максимального развития находятся в пределах от 100 до 113 г/м², максимальные – 160 – 336 г/м² в воздушно-сухом весе. Погруженная растительность по удельной фитомассе уступает полупогруженной, но по площади зарастания литорали значительно превосходит ее. Величина годовой продукции макрофитов Телецкого озера в 2004–2006 гг. составила 267,8–375 г/м² в абсолютно-сухом весе, или 111,8–156,6 г С/м², и в целом для озера – около 765 т С.

Выводы

При небольшой относительной площади литоральной зоны в глубоководном Телецком озере, литоральные фитоценозы имеют определяющее значение в его первичной продукции. Максимальные концентрации Хл а в воде зарастающей макрофитами части литорали значительно превышают таковые в открытых глубоководных частях озера. Альгоценозы эпилимнотона Телецкого озера являются динамичными и продуктивными сообществами. Максимальные значения суточной продукции эпилимнотона в литорали озера сопоставимы с таковыми для мезотрофных водоемов. По величине фитомассы, продуцируемой высшей водной растительностью в течение вегетационного сезона, Телецкое озеро также близко к мезотрофным водоемам.

Литература

1. Базарова Б.Б. Продуктивность макрофитов озера Арахлей (Восточное Забайкалье) // Первичная продукция водных экосистем: Материалы межд. конф. – Борок, Ярославль, 2004. – С. 8-10.
2. Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее. – СПб.: Наука, 2002. – 327 с.
3. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
4. Сиротский С.Е. К вопросу о трофической классификации водоемов и водотоков на основании величин первичной продукции и концентрации хлорофилла «а» // Биогеохимические и гидроэкологические исследования на Дальнем Востоке. – Владивосток: ДальНаука, 1998. – С. 77–83.
5. Kirillov V.V., Selegey V.V., Kim G.V., Kirillova T.V., Mitrofanova E.J., Pakhomov A.G., Zarubina E.J. The outbreaks of life in the littoral algal cenoses of the deepest lake in Western Siberia, Lake Teletskoye // 8th International Conference on the Conservation and Management of Lakes. – Copenhagen, 1999. – PP. 96-99.
6. The physical and geological environment of Lake Teletskoye. – Belgium: Royal Museum of Central Africa, 2001. – 310 s.

ИЗУЧЕНИЕ СТОКА НАНОСОВ НА СЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ РУСЛОВОЙ СИСТЕМЫ РЕКИ ТОМЬ: МЕТОДОЛОГИЯ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

*Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г., Киселев Д.В., Виноградов В.Ю.
Томский государственный университет, Томск, vz@mail.tomsknet.ru*

SEDIMENT TRANSPORT STUDY IN COMPLEX FRAGMENTS OF THE TOM RIVER CHANNEL NETWORK: METHODOLOGY AND SOME RESULTS

*Zemtsov V.A., Vershinin D.A., Inishev N.G., Kiselev D.V., Vinogradov V.Yu.
Tomsk State University, Tomsk, vz@mail.tomsknet.ru*

Рассматриваются вопросы исследования стока наносов на основе применения новых технологий, экспресс-методов и приборов наблюдений в сочетании с компьютерным моделированием русловой сети.

The problems of sediment transport study on a basis of application of new measurement technologies, methods and tools in combination with digital simulation of a channel network.

Исследование посвящено фундаментальной проблеме динамики потоков в размываемых руслах, транспорта наносов и русловых деформаций. В рамках этой проблемы более узкой целью работы является изучение собственно стока наносов на сложных участках русловой сети.

Имеется много теоретических, экспериментальных и прикладных исследований по проблеме взаимодействия скоростного поля потока, транспорта наносов и русловых деформаций. Их результаты обобщены в классических монографиях М.А.Великанова, Н.И.Маккавеева, К.Е.Кондратьева, И.В.Попова, В.Н.Гончарова, К.В.Гришанина, Н.С.Знаменской, Н.Б.Барышникова, Б.Ф.Снищенко, Р.С.Чалова и других авторов. Однако указанная проблема не решена до настоящего времени. Особенно это относится к следующим объектам: крупным рекам; сложным участкам рек с поймой, изгибами и разветвлениями потока, с резкими перепадами уклонов; участкам рек, подверженным техногенным воздействиям, где существенно интенсифицируются и меняют свои характеристики все виды взаимодействий в системе поток-русло; сибирским рекам с интенсивно деформирующимися руслами.

В последние 10-20 лет существенно расширились возможности русловых исследований на базе новых технологий дистанционного зондирования, спутниковых навигационных систем, ГИС, бесконтактных и экспресс-методов гидрометрических наблюдений за скоростями, стоком воды и наносов, эрозией и аккумуляцией наносов в руслах и поймах рек. Результаты исследований опубликованы в статьях таких авторов, как J. Best, R. Kostaschuk, P. Villard, D. Parsons, P. Carling и др.

Объекты исследований. Сложные участки рек включают излучины и разветвления рек, участки с русловыми карьерами для добычи песчано-гравийной смеси и др. На реках Томь и Обь выбрано несколько таких участков, главный из них показан на рисунке.

Река Томь является одним из наиболее крупных и многоводных притоков Оби. Основная часть ее водного питания формируется в горах Кузнецкого Алатау. В нижнем течении река выходит на Западно-Сибирскую равнину. Площадь бассейна до Томска составляет 57800 км². Как горная река Томь имеет многовершинное половодье, во время которого в апреле-июне проходит около 70 % годового стока. Ранние пики имеют снеговое, более поздние – смешанное или дождевое происхождение. Летняя межень неустойчива, с дождевыми паводками. Паводки наблюдаются и осенью. Зимняя межень продолжается около полугода, она устойчивая и маловодная.

На рассматриваемом участке русловой процесс развивается по типу пойменной многорукавности с элементами незавершенного и ограниченного меандрирования. Русло реки сложено гравийно-галечниковыми отложениями. Пойма широкая. При вскрытии реки в ее русле образуются заторы льда, что сказывается на режиме уровней воды, создавая подпоры и вызывая затопление прилегающих пойменных земель и населенных пунктов. Амплитуда колебаний уровня воды у Томска достигает 10-11 м. При заторах происходит перераспределение расходов воды и наносов между главным руслом и протоками. Так в конце апреля 2010 г. при заторах льда выше города значительная масса воды двигалась в обход по протокам Калтайская, Светлая, Сенная Курья и др., деформируя их русла и местами смывая донные гряды. При этом была размыта искусственная перемычка, отделяющая пр. Сенная Курья от р. Томь у верхнего автодорожного моста в Томске.

В методологическом плане основная идея заключается в комплексном изучении стока наносов разными методами с взаимным контролем и согласованием получаемых результатов. Основным интегрирующим элементом является компьютерное моделирование русловой системы на сложном участке. Исследование включает:

- обобщение материалов дистанционного зондирования и полевых наблюдений на исследуемых участках рек с оценкой закономерностей и особенностей русловых переформирований;
- совершенствование метода отбора проб донных наносов;
- отработку методов оценки стока донных и взвешенных наносов с применением акустического доплеровского профилографа течения (далее – ADP);
- разработку оптимальных для песчано-гравийных русел методов оценки стока донных наносов по гидравлическим характеристикам потока и характеристикам частиц, а также по данным о деформациях русла;
- изучение распределения расходов воды в русловой сети и скоростного поля потока на сложных участках русла (изгибы, разветвления) с резкими перепадами продольных и поперечных уклонов и их влияния на характер перемещения наносов и русловые деформации;
- оценку применимости существующих методов и формул расчета стока донных наносов на участках песчано-гравийных русел, подвергающихся техногенным воздействиям;
- разработку двумерных и одномерных моделей системы поток – русло в моделирующих системах SMS 9.2 и HEC-RAS 4.0 и оценку их пригодности для имитации течений на исследуемых сложных участках рек по результатам измерений.

Инструментарий включает базу и мобильные приемники системы глобального позиционирования (GPS), геодезические инструменты, гидрометрические приборы для экспресс-измерений, приборы для отбора проб наносов, программное обеспечение, геоинформационные системы (ГИС), системы компьютерного моделирования гидравлики и гидродинамики потока и транспорта наносов (HEC-RAS, SMS).

Новую технологию экспресс-измерения поля скоростей в поперечном сечении потока и расхода воды в реках представляет собой акустический доплеровский профилограф течения (ADP) [1]. Он устанавливается на судне и по мере пересечения реки определяет скорости течения воды (обычно осредненные за 5-10 с.) в каждой ячейке поперечного сечения потока. Для измерения скорости судна относительно дна русла применяется функция тракирования дна. В последние годы проводятся эксперименты по применению ADP для определения мутности потока, расхода взвешенных и донных наносов [2]. Функцию тракирования дна, состоящую в измерении доплеровского смещения отраженного от дна независимого звукового сигнала, можно использовать для оценки скорости движения и расхода донных наносов. Так по измерениям в главном русле р.Томь в половодье 2010 г. получена скорость движения частиц наносов на дне до 0,5-0,7 м/с. ADP позволяет получить информацию и о взвешенных наносах, генерирующих доплеровское смещение. Измеряемая мощность отраженного от этих частиц акустического сигнала используется для оценки концентрации взвешенных частиц. Нами

исследуется сток взвешенных и донных наносов. Отбор проб для измерения расхода донных наносов производится оригинальным прибором, разработанным одним из авторов доклада. Отрабатывается методика оценки мутности потока, расхода взвешенных и донных наносов с использованием ADP.

Результаты измерений и оценок сопоставляются и приводятся в единую систему на основе компьютерных моделей, позволяющих рассчитывать поля скоростей и других характеристик потока, сток наносов и деформации русла. При этом отбираются наиболее адекватные формулы для расчета стока наносов.

Система HEC-RAS 4.0 реализует одномерный подход к моделированию и включает блоки расчета установившегося и неустановившегося движения воды, расчета наносов и функции гидравлического проектирования. Рассчитываются продольные профили водной поверхности, гидравлические характеристики потока, сток и баланс наносов и деформации русла.

Профили водной поверхности вычисляются от одного поперечного сечения к другому с помощью стандартной пошаговой процедуры путем решения одномерного уравнения энергии Бернулли, записанного для двух смежных сечений потока. Расчет наносов и русловых деформаций, осуществляется, например, программой HEC-6 либо в отдельном блоке HEC-RAS 4.0. Решается задача имитации или предсказания изменений профиля русла в результате размыва и (или) отложения наносов за период в несколько лет. После расчета продольного профиля вычисляется транспортирующая способность потока в каждом поперечном сечении. Её значения, в сочетании с продолжительностями стояния расходов воды (ступенчатый гидрограф), позволяют в объемном виде оценить размыв или отложение наносов на каждом участке, и соответственно, скорректировать каждое поперечное сечение. При этом для выбора оптимального способа расчета наносов можно использовать большой набор формул. Контроль производится путем сравнения результатов расчета размыва и отложения наносов с наблюдаемыми деформациями русла. Наиболее приемлемые результаты получились при расчетах по формуле Янга [2].

Двумерное моделирование осуществляется с помощью программы RMA2 в системе SMS 9.2, представляющей собой гидродинамическую численную модель с осредненными по глубине потока конечными элементами. Она рассчитывает отметки водной поверхности, компоненты горизонтальной скорости и другие характеристики для потоков со свободной поверхностью и докритическим (спокойным) течением в виде двумерных полей течения.

Компьютерные модели участка используются для расчета и прогнозирования динамики потока и русловых деформаций при техногенных воздействиях. Исходная информация включает геометрические данные (цифровая модель рельефа русла и поймы, в том числе с проектируемыми гидротехническими сооружениями) и гидрологическую информацию (измеренные расходы и уровни воды, гранулометрический состав наносов и донных грунтов).

На основе новых методов и приборов для натурных измерений и компьютерного моделирования авторами на примере участков рек Томь и Обь исследуются факторы, феноменология и закономерности происходящих в русле и пойме процессов, разрабатываются новые методы и формулы определения стока наносов, модели русловых и пойменных потоков с применением имеющихся систем компьютерного моделирования HEC-RAS и SMS.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-05-00625а.

Литература

1. Маспе М., Ким В., Фулфорд Д.М. Развитие гидрометрической техники: новые приборы для картографирования гидродинамики рек // Бюллетень ВМО. – 2008. – Т. 57 (3). – С. 163-169.
2. Kostaschuk R., Best J., Villard P., Peakall J., Franklin M. Measuring flow velocity and sediment transport with an acoustic Doppler current profiler // Geomorphology. – 2005. – V. 68. – PP. 25–37.
3. Yang C.T. Sediment transport: Theory and Practice. – McGraw-Hill, 1996.



Рисунок. Исследуемый участок р. Томь выше г. Томска

ПРОБЛЕМА ТУРБУЛЕНТНОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЙ: ТЕОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. Зилитинкевич^{1,2,3,4}, Т. Эльперин⁵, Н. Клиорин⁵, И. Рогачевский⁵, И. Эзау⁴, и Р. Кузнецов¹

¹ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

² Финский метеорологический институт, Хельсинки, Финляндия

³ Отделение атмосферных наук и геофизики, Хельсинский Университет, Финляндия

⁴ Центр исследований окружающей среды и дистанционного зондирования им. Ф. Нансена, Норвегия

⁵ Кафедра инженерной механики, Университет им. Бен-Гуриона в Негеве, Беер-Шева, Израиль

PROBLEM OF TURBULENT LOCK FOR STABLY STRATIFIED GEOPHYSICAL FLOWS: THEORY AND PROSPECTS FOR HYDROLOGICAL MODELING

S. Zilitinkevich^{1,2,3,4}, T. El'perin⁵, N.Kliorin⁵, I.Rogachevsky⁵, I.Ezau⁴, R. Kuznetsov^{1,2}

¹ A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

² Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

³ Division of Atmospheric Sciences and Geophysics, University of Helsinki, Finland

⁴ Nansen Environmental and Remote Sensing Center / the Bjerknes Center for Climate Research, Bergen, Norway

⁵ Department of Engineering Mechanics, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel

В работе уточняются физические основы и подводится итог цикла статей по построению модели турбулентного замыкания на основе уравнений бюджета главных вторых моментов кинетической и потенциальной энергий турбулентности и вертикальных турбулентных потоков импульса и плавучести.

The paper defines the physical basis and summarizes a series of papers on the development of model of turbulent lock using the budget equations of principal second moments of kinetic and potential energy of turbulence and vertical turbulent flows of impulse and buoyancy.

Анализ современного состояния проблемы замыкания для устойчиво стратифицированных геофизических течений дан в современной литературе, в том числе в наших статьях [1-2]. Большинство оперативно применяемых замыканий основано на уравнении бюджета кинетической энергии турбулентности (КЭТ) на единицу массы E_K и использует концепцию градиентного переноса, согласно которой турбулентные потоки импульса и скаляров пропорциональны их средним градиентам. При этом проблема замыкания сводится к определению коэффициентов пропорциональности, т.е. коэффициентов турбулентной вязкости K_M , теплопроводности K_H или диффузии K_D . А.Н. Колмогоров [3] постулировал, что эти коэффициенты полностью характеризуются турбулентным масштабом скорости, отождествляемым с квадратным корнем из КЭТ $u_T = E_K^{1/2}$ и турбулентными масштабами времени диссипации t_T или длины l , определяемыми

по формулам:

$$\varepsilon_K = \frac{E_K}{C_K t_T} = \frac{E_K^{3/2}}{C_K l}, \quad (1)$$

где ε_K – скорость диссипации КЭТ, C_K – безразмерная универсальная константа (определяемая эмпирически), и $l \equiv E_K^{1/2} t_T$. Тогда из анализа размерностей следует:

$$K_M \sim K_H \sim K_D \sim u_T l_T, \quad (2)$$

а опущенные коэффициенты пропорциональности являются безразмерными константами.

Этот подход эффективен в применении к нейтрально стратифицированным течениям в пограничных слоях, но требует уточнения для условий сильно устойчивой стратификации. Действительно, согласно формуле (2) турбулентное число Прандтля $Pr_T \equiv K_M / K_H$ может быть только универсальной константой. Напротив, многочисленные эксперименты, численное моделирование крупных вихрей (МКВ†) и прямое численное моделирование (ПЧМ‡) показывают, что Pr_T резко увеличивается с усилением устойчивости (рис. 2), в очевидном противоречии с формулой (2). Традиционно эту трудность преодолевают, сохраняя уравнение (2), но допуская, что турбулентные масштабы длины для импульса l_{TM} и тепла l_{TH} существенно различны. Таким образом, замыкание по А.Н. Колмогорову, первоначально сформулированное для нейтральной стратификации (где масштаб l пропорционален расстоянию z от поверхности), в значительной степени теряет конструктивность. В сущности, оно выражает одни неизвестные: K_M и K_H через другие: l_{TM} и l_{TH} . В модели БЭП выражения для турбулентных потоков не постулируются, а выводятся из уравнений, описывающих их бюджеты. Кроме того, в дополнение к уравнению бюджета КЭТ, используется уравнение бюджета потенциальной энергии турбулентности (ПЭТ) E_P .

В данной работе первая версия модели БЭП [1] уточняется с учетом различий между масштабами времени диссипации для КЭТ и ПЭТ [2]. Кроме того, используется новая энергетически согласованная формулировка турбулентных масштабов времени и длины. На этой основе для решения различных исследовательских и практических задач предлагается иерархия турбулентных замыканий: от одномерной аналитической модели стационарной однородной турбулентности (проливающей новый свет на классическую теорию подобия Монино-Обухова) до нелокальных моделей различной сложности, построенных на единой физической основе, но использующих одно, два или более прогностических уравнений для турбулентных статистик.

Начиная с Ричардсона [4], предполагалось, что при стационарном однородном режиме сдвиг скорости не способен поддерживать турбулентность (которая поэтому вырождается), если число Ричардсона Ri превышает некоторую критическую величину $Ri_c (= 0,25)$. Напротив, в контексте турбулентных замыканий, вырождение турбулентности при «сверхкритических» значениях $Ri (> Ri_c)$ рассматривалось как артефакт и предотвращалось при помощи «поправочных коэффициентов», определяющих отношения $K_M (u_T l_T)^{-1}$ и $K_H (u_T l_T)^{-1}$ как существенно разные функции от Ri [3]. Замыкание БЭП не требует введения поправок и автоматически обеспечивает поддержание турбулентности при любом конечном Ri . Иными словами, в нашей теории, как и в реальности, не существует критического числа Ричардсона в энергетическом смысле. Асимптотический анализ модели БЭП выявил два режима турбулентности соответствующих $Ri \ll 1$ и $Ri > 1$, принципиально различных по своей природе и разделенных переходной зоной в окрестности $Ri \sim 0,25$ (рис. 1-4).

Примеры верификации аналитической версии БЭП по данным наблюдений, МКВ и ПЧМ показаны на рисунках 1-4. Графики основаны на данных из литературы и результатах нашего собственного МКВ условно нейтральных (CN) и ночных устойчивых (NS) пограничных слоев [1].

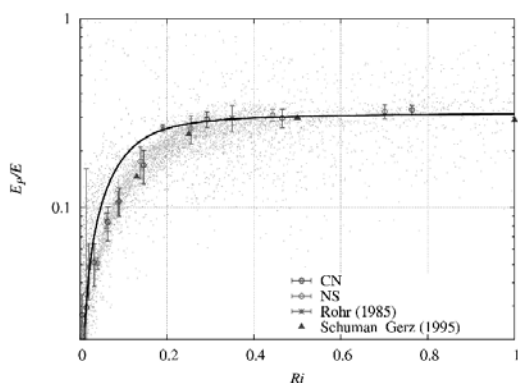


Рис. 1: Зависимость доли потенциальной энергии от Ri

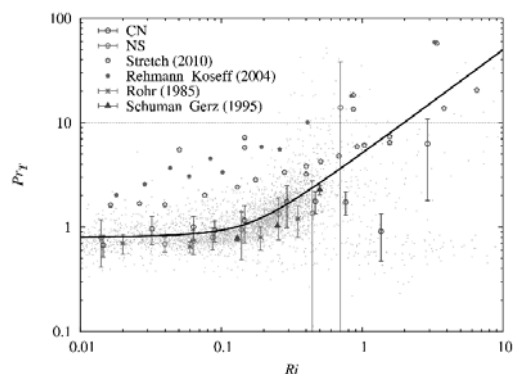


Рис. 2: Зависимость турбулентного числа Прандтля от Ri

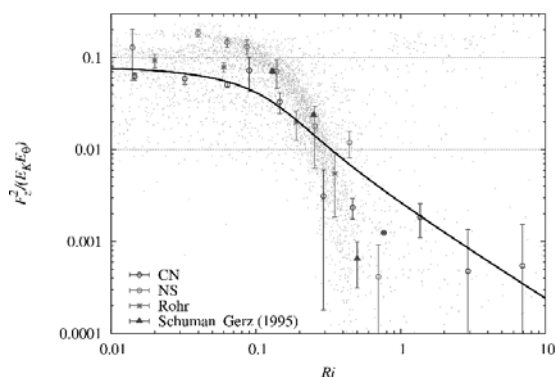


Рис. 3: Зависимость безразмерного потока тепла от Ri

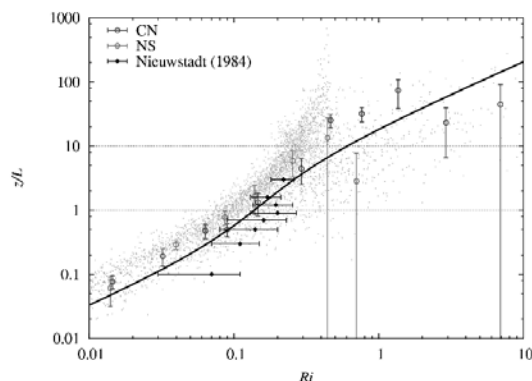


Рис. 4: Зависимость параметра устойчивости z/L от Ri

Литература

1. Zilitinkevich, S.S., Elperin, T., Kleeorin, N., Rogachevskii, I., 2007: Boundary-Layer Meteorol. 125, 167-192.
2. Zilitinkevich, S., Elperin, T., Kleeorin, N., Rogachevskii, I., Esau, I., Mauritsen, T., Miles, M., 2008: Quart. J. Roy. Met. Soc., 134, 793-799.
3. Kolmogorov, A. N., 1941: Doklady AN SSSR, 32, No.1, 19-21.
4. Richardson, L. F., 1920: Proc. Roy. Soc. L. A 97, 354-373.
5. Mellor, G. L., Yamada, T., 1974: J. Atmos. Sci., 31, 1791-1806.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЧВ В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК ПРИХАНКАЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Иваненко Н.В. ,

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,

г. Владивосток, Ivanenko_natalya@mail.ru

SOIL QUALITY ASSESSMENT IN SMALL RIVER BASINS OF THE KHANKA LAKE LOWLAND

Ivanenko N.V.

Vladivostok State University of Economics and Service,

Vladivostok, Ivanenko_natalya@mail.ru

Определены уровни содержания Fe, Mn, Cu, Zn, Ba, Cr, Co, Ni, Pb, As и Se в почвах отдельных районов Приханкайской низменности прилегающих к источникам водопользования. Проведено ранжирование почв по уровням содержания химических элементов и оценка возможного поступления токсичных элементов из почв в водоемы.

The concentrations of Fe, Mn, Cu, Zn, Ba, Cr, Co, Ni, Pb, As and Se in the soils of same areas of the Khanka lowlands located near the water bodies was determined. The ranking of soils according to the levels of concentration of chemical elements and the evaluation of potential ingress of toxic elements from soils into the water bodies were performed.

На качество почв районов Приханкайской низменности, где расположены водные объекты оз. Ханка, реки Спасовка, Кулешовка, влияют сельскохозяйственное производство (сплошная распашка земель), действующие предприятия ОАО «Спасскцемент», ОАО «Спасский комбинат асбестоцементных изделий», в отопительный период – котельные города. Согласно данным ПУГМС, значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха в городах Приморского края вносит автотранспорт. В исследуемом районе цементное производство является одним из источников выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd [3–5]. В почвах центральной части г. Спасска-Дальнего Приморского края концентрации Zn и Pb превышают допустимую в 1,5–2,5 раза [2].

За пределами города, в луговых ценозах, типичных для Приханкайской низменности, санитарно-гигиеническая оценка почв не проводилась. Тем не менее, Россельхознадзором установлены факты завоза в Приморье удобрений и пестицидов, в состав которых могут входить и токсичные элементы. Так, на территории коммерческого предприятия ООО «Примселькор» (расположенного вблизи с. Новосельское Спасского района) в мае 2009 г. было обнаружено 25 тонн полуразложившихся минеральных удобрений, а также изъято 400 кг неопознанных пестицидов. Владелец данного предприятия – гражданин КНР.

Поля Спасского района в последние годы активно осваивают китайские и корейские производители сельскохозяйственной продукции. Установить факт применения физическим лицом не допущенных к использованию в РФ ядохимикатов и удобрений практически невозможно из-за несовершенства процедуры контроля.

Кроме того, в Приморском крае отсутствует полигон для утилизации химических веществ. По этой причине на территории с. Гайворон Спасского района под открытым небом лежит 800 кг пестицидов. Такая ситуация неизбежно приводит к поступлению токсикантов в водоемы Приханкайской низменности.

Пробы почв были отобраны в черте г. Спасска-Дальнего по 8 румбам на расстоянии 1 км от

Новоспасского цементного завода и на границе заповедника Ханкайский Приморского края (приблизительно в 5 км от с. Воскресенка Спасского района). Отбор проб почвы проводился, согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Подготовку почвы к определению химических элементов проводили в соответствии с ИСО 11466. Определение элементов проводили методом ISP-MS на приборе Agilent-7500. В качестве стандартов применяли стандартные образцы растворов элементов, предназначенные для контроля правильности результатов анализа (ГСОРМ).

Для луговых почв Приханкайской низменности установлено повышенное содержание Mn и пониженные концентрации Cu, Cd, Ni относительно водосборов Восточного Сихотэ-Алиня, Амурского и Уссурийского заливов. Концентрации Mn в луговых почвах Приханкайской низменности соответствуют бурым лесным почвам кедрово-широколиственных лесов предгорьев Сихотэ-Алиня. Максимальные значения концентраций Mn характерны для почв с дерниной, густо пронизанной корнями (антропогенные луга с доминированием полевой).

Содержание Cr на всех станциях было ниже кларковой величины в 60–150 раз. Приханкайская низменность – это область муссонного, умеренного климата. Лето характеризуется высокой влажностью и большим количеством дождей (85–120 мм), с максимумом в августе (121 мм), когда на Приморье нередко выходят юго-западные циклоны и тайфуны. Известно, что в гумидных ландшафтах, преобладают соединения малоподвижного Cr^{3+} . В почвах могут наблюдаться процессы окисления Cr^{3+} до Cr^{6+} под действием соединений марганца. Это может быть причиной захвата растворимых хроматов растительностью или миграции подвижных форм с грунтовыми водами, чем объясняются низкие концентрации элемента в почвах Спасского района относительно кларка Cr для почв мира. Летние муссонные дожди создают обстановку, благоприятную для биологического круговорота. Энергичное разложение растительных остатков, поступление в почву CO_2 и органических кислот способствуют смещению реакции среды в сторону слабокислой и выносу многих химических элементов. Об этом свидетельствуют низкие концентрации Co, Ni, Cu, Zn относительно кларка.

Превышение концентраций Zn, Pb и Ba по отношению к другим станциям было отмечено в почвах, отобранных в районе промышленной разработки сырья (карьер). Средние концентрации элементов на этом участке превышали таковые в луговых глеевых почвах на границе заповедника Ханкайский, ранее не подвергавшихся распашке Zn – в 3,7 раза, Pb – 12, Ba – в 2,6 раза.

Уровни концентрации Cu, Cr, Ni, Pb и Zn в почвах пригорода Спасска-Дальнего были ниже, чем установленные ранее в сильно уплотненных, обедненных органическим веществом почвах центральной части города.

Выяснено, что содержание Se в луговых почвах Приханкайской низменности выше кларковых значений, но не выходит за рамки нормальных – $1 \cdot 10^{-6} \%$ (высоким содержанием Se в почвах считается $1 \cdot 10^{-3} \%$) [1].

Установлено, что концентрации химических элементов в почвах пригородной зоны Спасска Дальнего и почвах заповедника Ханкайский не превышают допустимых уровней. Содержание Pb в почвах отобранных вблизи карьера находится на уровне 1 ПДК (общесанитарный показатель) с учетом фона (кларка).

Рассчитывали суммарный индекс загрязнения почвы:

$$Z_c = \sum C_i / C_{пдкi} - (n - 1), \text{ где}$$

C_i – концентрация i-го вещества,

$C_{пдкi}$ – ПДК i-го вещества,

n – число суммируемых веществ.

Установлено, что степень загрязнения почв Спасского района тяжелыми металлами допустимая ($Z_c < 1$).

Таким образом, эколого-геохимическая характеристика почв в бассейнах водотоков, дренирующих Приханкайскую равнину и впадающих в самое крупное в Приморье реликтовое озеро Ханка условно благоприятная: значения концентраций химических элементов невелики относительно их природного уровня. Тем не менее, в связи с высокой степенью загрязнения вод озера Ханка химическими элементами (Fe, Cu, Zn и Al) эрозия почвенного покрова на сельскохозяйственных полях (содержание взвешенных веществ в водах озера Ханка с марта по октябрь достигает 300 мг/л) может привести к ухудшению экологической ситуации в водосборном бассейне при увеличении антропогенной нагрузки на территорию.

Литература

1. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238. с.
2. *Иваненко Н.В.* Химические элементы в почвах и растениях Спасского района Приморского края Материалы III международной конференции «Проблемы экологии и рационального природопользования Дальнего Востока России и стран АТР и пути их решения». – Владивосток: ДВГТУ, 2007. – С. 83–85.
3. *Коугия М.В.* Цементное производство и тяжелые металлы // Цемент. – 2000. № 3. – С. 30–33.
4. *Коугия М.В.,* Беляева В.И. редкие элементы в материалах цементного производства // Цемент. – 1999. – № 1. – С. 23–24.
5. *Хоботова Э.Б., Уханева М.И.,* Семенович Т.А., Махова О.Г., Пантелеева Н.М. Определение химического и дисперсного составов цементной пыли // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. – № 60. – С.119–123.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БОЛОТНЫХ ВОД

Инишева Л.И., Шинкеева Н.А.

Томский государственный педагогический университет, г.Томск, inisheva@mail.ru

FEATURES OF CHEMICAL COMPOSITION OF SWAMP WATER

Inisheva L.I., Shinkeeva N.A.

Tomsk state pedagogical university, Tomsk, inisheva@mail.ru

Рассмотрены характеристика и содержание в воде Васюганского болота органического вещества и микроэлементов.

Feature and contents of organic matter and microelements in water of Vasyugan mire are described in article.

Болотные воды имеют широкое распространение на территории Западно-Сибирской низменности и существенно влияют на формирование речного и подземного стоков [4]. С одной стороны, болотные экосистемы (БЭС) являются геохимическими барьерами, которые благодаря своей высокой сорбционной способности задерживают большой спектр загрязняющих веществ из атмосферы, выводя их из круговорота веществ. Но с другой стороны, сложный химический состав самих торфов, их физколлоидная структура формируют собственный гидрохимический состав болотных вод. Атмосферные осадки и грунтовые воды, питающие БЭС, проходят стадию болотного генезиса. В итоге образуются воды, обогащенные углекислотой, метаном, растворенными органическими веществами, железом, марганцем и другими болотными компонентами. Попадая в речные воды, болотные воды с высоким содержанием соединений гуминовой природы улучшают состояние биологических организмов в реках и блокируют пути миграции тяжелых металлов и других экотоксикантов в трофических цепочках.

Химический состав болотных вод как особой категории континентальных вод изучен слабо. Всего болота, занимая 4% суши, аккумулируют в себе около 4,3 тыс. км³ болотной воды. Из расчета, что ежегодный прирост торфяной залежи составляет от 0,4 до 1,0 мм в год, в ней на каждом квадратном километре площади консервируется еще 1000 т болотной воды. Например, в торфяниках Западной Сибири законсервировано около 1 тыс. км³ влаги, т.е. в среднем 1000 мм на единице заболоченной площади (1 млн. км²), это значительно превышает годовой сток рек (100-300 мм) в этом регионе.

Целью наших исследований было поставлено изучение условий формирования болотных вод и динамики их химического состава на территории Васюганского болота.

Исследования проводились в северо-восточной части Васюганского болота на стационаре Васюганье [1]. Географические координаты района исследований: 57°03' и 56°57' СШ, 82°22' и 82°42' ВД. В качестве модельного объекта для исследований была принята трансект-катена на территории верхового болота (отроги Васюганского болота), пролегающая вдоль заболоченного водосбора, площадью 58 км² с сопряженным рядом биогеоценозов олиготрофного типа. Трансект катена позволяет рассмотреть геохимические закономерности распределения органического вещества (ОВ), начиная с автономной части (п. 5) через транзитную (п. 3) до ее трансаккумулятивной части (п. 2), выполняющей роль геохимического барьера. Торфяные залежи трансект-катены по химическому составу болотных вод относятся к олигомезотрофному типу торфообразования.

Стационарные исследования за динамикой гидрохимического состава болотных вод и рек ведутся на объекте с 1994 года и подробно описаны в ряде работ [2, 3]. Болотную воду на анализ

отбирали в колодцах каждого болотного фитоценоза на трансект-катене (пп. 2-5), в р. Ключ, в р. Бакчар до впадения в нее р. Ключ. Макрокомпоненты анализировались по общепринятым методам, гуминовые и фульвокислоты по [5]. ИК-спектры сняты на спектрометре «Specord-80» в таблетках КВг. микроэлементы по аттестованной методике количественного атомно-эмиссионного анализа, разработанной для торфов. Наблюдения за стоком р. Ключ на оборудованном гидрометрическом посту. Вынос элементов со стоком р. Ключ со всей водосборной площади рассчитывался по суточным интервалам. В данной работе остановимся на характеристике органического вещества и микроэлементного состава болотных вод.

Торфяные залежи БГЦ трансект-катены характеризуются кислой реакцией и высокой активностью микрофлоры. Природная вариабельность численности и конкуренции микроорганизмов выявлена по всей стратиграфии, но более четко она проявляется в деятельном ее слое. Запасы микробной биомассы в изучаемых БГЦ варьируют от 0,18 до 1,42 кг/м² в метровом слое и мало уступают аналогичным БГЦ ЕТР. Следует отметить, что запасы микробной биомассы в торфяной залежи осоково-сфагновой топи в 4 раза выше, чем в залежи низкого яряма.

По соотношению основных компонентов микробной биомассы различаются деятельные и инертные слои. Если в первых преобладает мицелий грибов (43-83%), то в инертных – грибные споры и клетки дрожжей (57-93%). В последних становятся высокими не только доля спор, но и доля бактериальных клеток (9-42%). Таким образом можно констатировать наличие активных биохимических процессов по всему торфяному профилю, но направление процессов различается. В деятельном слое процессы направлены на образование водорастворимых соединений; в инертном - происходит полимеризация и образование трудногидролизуемых соединений. Отсюда можно высказать предположение, что в миграции веществ по трансект-катене участвует в основном деятельный слой торфяной залежи. Полученные результаты по биохимической активности подтверждаются значениями Eh, которые в слое 0-50 см превышают величину 200 мВ. В слое 50-100 см господствуют восстановительные условия, свидетельствующие о преобладании в торфяной залежи окислительно-восстановительных систем типа: $\text{SO}_4 \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}$ (Eh 200 – /-350/ мВ) и $\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4$ (Eh /-200/ – /-500/мВ). Такие условия благоприятствуют миграции подвижных веществ с автономной части трансект-катены в сторону трансаккумулятивной ее позиции.

Углерод в форме растворимых карбогидратных, фенольных, альдегидных, карбоксильных соединений, а также фульвовых (ФК) и гуминовых (ГК) кислот присутствует в болотной воде верховых болот по разным авторам в пределах 20-105 мг/л. Содержание водорастворимого углерода в исследуемых водах верховых болот в своих максимальных значениях изменяется от 145,6 (в трансаккумулятивной части) до 80,5 мг/л (в автономной части катены). Превышение содержания ФК в исследуемых водах составляет 5-20 раз, чаще до 10. Главной миграционной формой многих элементов в речных водах являются прочные растворимые высокомолекулярные фульватные комплексы анионного типа. Комплексообразование с природными лигандами объясняет механизм самых разнообразных процессов, происходящих в зоне гипергенеза. Подвижные соединения органического вещества и серы (Eh не снижается до значений 350 мВ) выносятся мигрирующим потоком в направлении с открытой топи к заболоченному лесу. Именно здесь происходит окончательное формирование состава болотной воды, которая поступает в водоприемники – рр. Ключ и Бакчар. Перераспределение водорастворимых соединений в деятельном аэробном слое наблюдается по всей трансект-катене с наибольшим содержанием в трансаккумулятивной ее части, что подтверждает наличие процесса латерального сноса веществ.

Сравнительное исследование в торфах и осадках болотных вод ландшафтного профиля ИК-спектров и их спектральных коэффициентов позволило выявить структуру мигрирующих водорастворимых органических веществ (ОВ). Как правило, количество гидроксильных, фенольных гидроксидов, карбоксильных групп и ароматических фрагментов повышается в молекулах водно-

растворимых веществ в августе, сентябре, что объясняется высокой микробиологической активностью прогретого до 15-20 °С метрового слоя и высокой активностью биохимических процессов в системе: торфяная залежь – болотные воды.

В болотной воде автономной части катены соотношение оптических плотностей гидроксильных групп D_{3400}/D_{1460} колеблется от 0,89 до 1,49, фенольных гидроксидов $D_{1270}/D_{1460} - 0,78-0,86$, карбоксильных групп $D_{1720}/D_{1460} - 1,16-1,28$ и ароматических фрагментов $D_{1620}/D_{1460} - 1,20-1,85$. В водорастворимых веществах транзитной и трансаккумулятивной частей повышается доля фенольных гидроксидов D_{1270}/D_{1460} до 0,96 и карбоксильных групп $D_{1720}/D_{1460} - 1,73$ по сравнению с автономной частью. В реках Ключ и Бакчар для водорастворимых веществ характерно незначительное содержание перечисленных функциональных групп вследствие разбавления мигрирующего потока поверхностными водами, стекающими с территории иной гидрохимической характеристики.

Высокое содержание углерода отмечается в реках Ключ и Бакчар. Отмеченная закономерность проявляется и в показателях окисляемости.

В связи с тем, что интенсивность процессов разложения торфа на верховом болоте возрастает от центра к окрайкам (автономная и трансаккумулятивная части профиля), это приводит к увеличению содержания всех компонентов геохимического стока в этом направлении. Был рассчитан вынос углерода, который составил 6945 кг/га или 6,9 г м²г⁻¹

Специфичность органоминерального типа болотных вод проявляется и в элементном составе. Известно, что торфяная залежь содержит значительное количество рассеянных элементов, выполняя роль глобального сорбента. В меньшей степени микроэлементы концентрируются в верховых торфах. Поэтому содержание элементов в болотных водах осоково-сфагновой топи (п. 5), сложенной с поверхности верховым сфагновым торфом слабой степени разложения, меньше чем на периферии болота (п. 2, высокий рям). Исключение составляют соединения Ti и Sr, содержание которых одинаково по всем геохимически сопряженным ландшафтам трансект-катены бассейна реки Ключ. Общий объем выноса химических элементов за период стока составил: Pb – 2,253х10⁻³, Mn – 317,29х10⁻³, Zn – 41,191х10⁻³, Ni – 8,151х10⁻³, Ti – 29,651х10⁻³ кг/км².

Таким образом, Западная Сибирь отличается большой заболоченностью и активным проявлением торфообразовательного процесса, который, безусловно, оказывает влияние на формирование химического состава речных вод. Сток с заболоченного водосбора формируется не только за счет атмосферных осадков, как это полагают некоторые исследователи, а прежде всего, за счет трансформационных процессов в самой торфяной залежи. Роль ОВ как наиболее распространенного в процессах миграции и концентрирования элементов на заболоченных территориях с проявлением торфогенеза очевидна и требует дальнейшего развития и детализации при исследованиях.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№№ 09-05-00235, р-офи 09-05-99007) и федерального агентства по науке и инновациям (Госконтракт № 02.740.11.0325).

Литература

1. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета, – Томск, 2010.
2. Васюганское болото – Томск, 2003
3. Распределение органических веществ в системе геохимически сопряженных болотных ландшафтов, Геохимия, 2005, № 2, с.1-9
4. Рассказов Н.М., Удодов П.А., Назаров А.Д., Емельянова Т.Я. Болотные воды Томской области. Изв. ТПИ, т. 297, с. 102-117
5. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 358 с.

РЕКОНСТРУКЦИИ ЕЖЕГОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И УРОВНЯ ГОРНЫХ ОЗЕР СИБИРИ ПО ГЕОХИМИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Калугин И.А.¹, Дарьин А.В.¹, Бабич В.В.¹, Смолянинова Л.Г.¹,

¹Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, ikalugin@uiggm.nsc.ru,

²Вологина Е.Г. ²Институт земной коры СО РАН, Иркутск,

³Птицын А.Б. ³Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита,

⁴Овчинников Д.В. ⁴Институт леса СО РАН, Красноярск,

⁵Рогозин Д.Ю. ⁵Институт биофизики СО РАН, Красноярск,

RECONSTRUCTION OF CLIMATE AND LAKE LEVEL ANNUAL VARIABILITY FOR MOUNTAIN LAKES IN SIBERIA BY GEOCHEMISTRY OF BOTTOM SEDIMENTS

Kalugin I.A.¹, Daryin A.V.¹, Babich V.V.¹, Smolyaninova L.G.¹,

¹Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, ikalugin@uiggm.nsc.ru,

²Vologina E.G., ²Institute of Earth Crust SB RAS, Irkutsk

³Ptitsyn A.B., ³Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita

⁴Ovchinnikov D.V., ⁴Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

⁵Rogozin D.Yu., ⁵Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk

Анализ донных отложений Сибирских и Монгольских озер (Телецкое, Кучерлинское, Байкал, Шира, Арахлей, Телмен, Хотон-Нур) позволил реконструировать измеряемые параметры природной среды: температуру, количество атмосферных осадков, уровень озер, твердый сток, индекс прироста древесины, атмосферное давление, ветровой режим и т.д. на годичной шкале.

Study of bottom sediments from Siberian and Mongolian lakes (Teletskoye, Kucherla, Baikal, Shira, Arachlei, Telmen, and Hoton Nuur) allows reconstructing of measured environmental parameters such as air temperature, precipitation, lake level, runoff, tree ring growth index, pressure, wind direction and others on annual scale.

Высокоразрешающие реконструкции представляют собой временные ряды природных параметров на годичной шкале. Они пригодны для сравнения колебаний природной среды в прошлом с современными тенденциями в сопоставимом масштабе, давая таким образом возможность ближнего прогнозирования. В настоящее время исследования древесных колец, донных отложений озер и ледовых кернов дают согласованные реконструкции в континентальных районах Центральной Азии [1]. Озерные записи принципиально не ограничены по времени, их длина и детальность определяются уже техническими возможностями отбора и анализа керна. Современные методы субмиллиметрового анализа донных осадков позволяют получить исходные временные ряды содержания нескольких элементов, отражающих изменения среды [2]. Тем самым обеспечиваются необходимые условия для калибровки и вычисления эмпирических функций интересующих природных (целевых) параметров в зависимости от колебаний состава и свойств отложений. Схема количественной реконструкции, основанной на датировке осадочных слоев и калиброванной на интервале времени инструментальных измерений (calibration in time), состоит в следующем.

Исходные данные – элементный состав и рентгеновская плотность донных осадков, измеренные по керну *in situ* с шагом от 0.1 мм на стационарной установке РФА СИ в ИЯФ СО РАН [2].

Поддерживающими данными, проясняющими природу изменчивости элементного состава являются литологические, химические и физические характеристики, измеряемые, как правило, выборочно или в макропробах из нарезанного керна (с шагом 5-10 мм и более) [3, 4]. К ним относятся содержание влаги, углерода, азота, серы, валовый химический состав, рентгенофазовый минеральный состав, стабильные изотопы С и О, магнитная восприимчивость, гранулометрический состав, потери при прокаливании и др.

Построение временных рядов исходных данных – нормирование содержаний элементов, рентгеновской плотности, переход с линейной шкалы на временную через массовую скорость накопления с учетом плотности каждой пробы. Базовым условием для построений является корректная временная модель осадконакопления, которая создается по изотопным измерениям ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{14}C , по подсчету годовичных слоев, по историческим сведениям о катастрофах и др. событиях, распознаваемых в осадках.

Инструментальные данные используются для калибровки трансферной функции для перевода геохимических данных в искомый (целевой) параметр. Обычно это помесечные и ежегодные временные ряды гидрометеорологических данных, взятые из литературных источников.

Калибровка – обучение с одинаковым предварительным сглаживанием исходных данных и инструментальных, в т.ч. климатических рядов. Результат – получение решающего правила, или трансферной функции, в виде уравнения множественной регрессии или более сложной функции с помощью искусственных нейронных сетей.

Построение реконструкции – экстраполяция решающего правила на всю длину измерений керна. Сравнение результатов, полученных разными методами. Проверка статистических гипотез о воспроизводимости и значимости (разброса) полученных результатов.

Анализ периодичности и повторяемости – выявление трендов и периодических колебаний, в том числе на разных временных интервалах полной реконструкции: гармонический спектральный анализ, вейвлет-анализ, автокорреляция и др. Повторяемость событий, также как и обнаруженные периодичности служат для сопоставлений с другими территориями и для использования в моделях регионального и глобального климата.

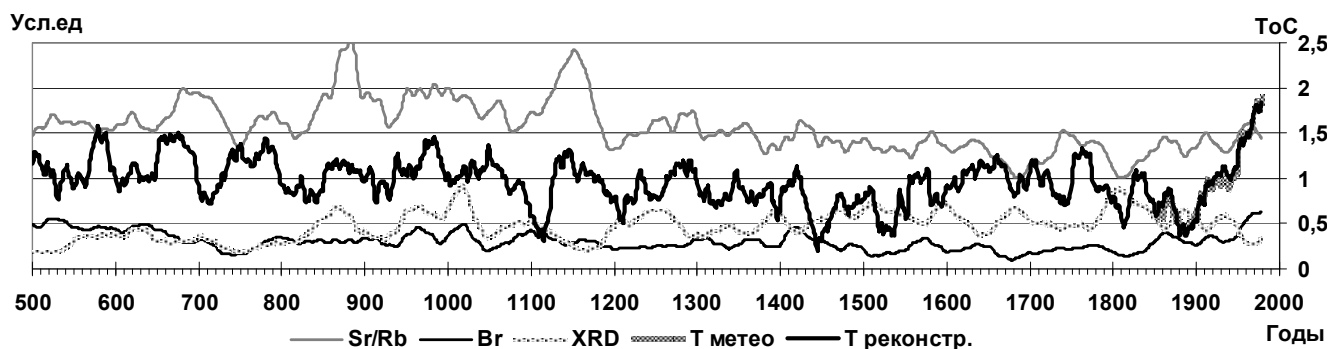


Рисунок 1. Реконструкция среднегодовой температуры воздуха (Т реконстр.) по донным осадкам Телецкого озера и исходные геохимические ряды (Sr/Rb, Br, XRD – рентгеновская плотность), геохимические параметры осадка приведены в условных (нормированных) единицах

Реконструкция годовичных колебаний температуры приземного воздуха показана на примере донных осадков из глубоководной впадины Телецкого озера (Рис.1). Опробован керн станции Tel 02_04 с координатами $51^{\circ} 42,9' \text{ СШ}$, $87^{\circ} 39,5' \text{ ВД}$, глубина отбора 325 м. Шаг элементного анализа методом РФА СИ составил 0,2-1 мм. Для реконструкции палеотемпературы использовались рентгеновская плотность осадка (XRD), Sr/Rb отношение и содержание Br. XRD отражает

фоновый твердый сток реки Чулышман, дающей 70% водопритока в озеро. Sr/Rb отношение характеризует долю невыветрелой обломочной фракции в осадке и связано с температурой, определяющей динамику таяния снега в прибрежной высокогорной зоне. Содержание Br отражает биопродуктивность на водосборе и прямо связано с температурой [1]. Исходные данные были приведены к годичной временной шкале с использованием изотопных датировок по ^{137}Cs и ^{14}C (две точки 990 и 1600 лет до н.в.) и сглажены окном 25. Скорость осадконакопления принята в пределах 0,9-0,5 мм в год. Реконструкция выполнена методом искусственных нейронных сетей с обучением функции по метеоданным станции Барнаул за 1840-2004 гг.

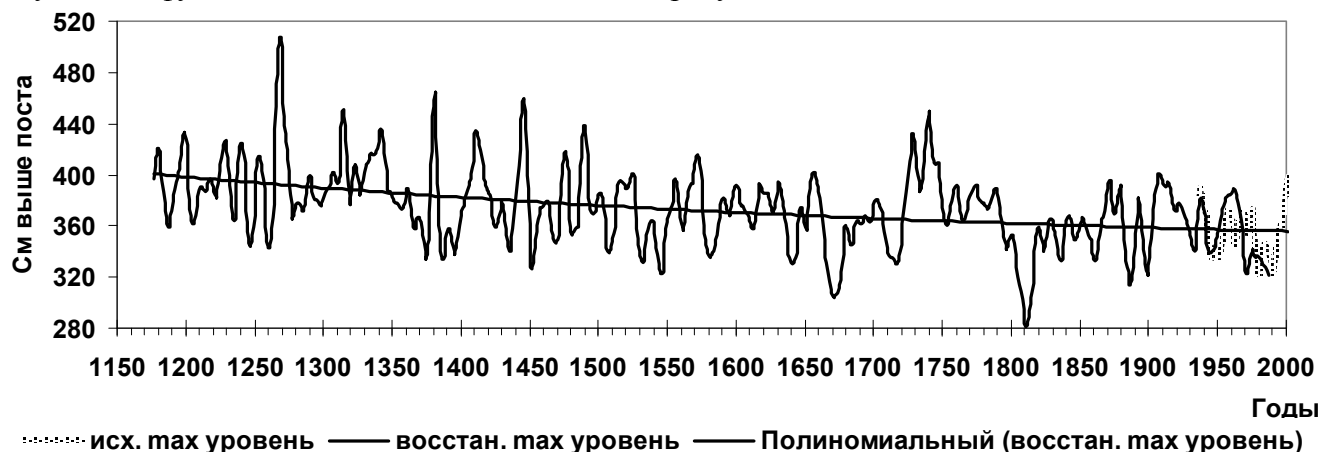


Рисунок 2. Реконструкция паводкового уровня Телецкого озера; сглаживание окном 10; вычислено уравнение множественной регрессии: тах уровень = $163,558\text{Sr/Rb} - 21,118\text{Br} - 861,436\text{XRD} + 317,58713$; коэффициент корреляции с исходными данными на инструментальном интервале обучения 1930-2004 гг. $r = 0,50$

Спектральный Фурье анализ сглаженного температурного профиля выявил периоды 336, 97, 70, 50 и 40 лет, а без сглаживания – также 33, 25, 20-22 года и более короткие периоды.

Корреляция исходных и реконструированных параметров показала значимый уровень связей (Таблица).

По тем же исходным данным восстановлен уровневый режим Телецкого озера, контролирующей речной сток в верхнем течении р. Обь (Рис. 2). Принципиальная возможность использования одних и тех же аналитических данных для реконструкции различных параметров заключается в двойственной природе осадочной записи, контролируемой одновременно температурным и гидрологическим факторами [1].

Спектральным анализом на уровневом профиле выявлены периоды 44, 35, 27, 23 и 16 лет.

Таблица

Коэффициенты корреляции исходных и реконструированных параметров

	Sr/Rb	Br	XRD	T метео*
Br	0,36	1		
XRD	-0,28	-0,39	1	
T метео*	0,71	0,87	-0,84	1
T реконстр	0,33	0,34	-0,42	0,98

Примечание. В полном ряду – 1504 точек, *для T метео – количество 126 точек.

Литература

1. Калугин И.А., Гольдберг Е.Л., Федорин М.А., Дарьин А.В., Золотарев К.В., Воробьева С.С., Смолянинова Л.Г. Высокоразрешающая хронология осадконакопления в Телецком озере за последние 800 лет - отклик на климатически обусловленные вариации твердого притока. Глава 6 в монографии "Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя Сибири". Новосибирск. Изд-во Сиб. Отд. РАН. 2008. 373-405.
2. A.V. Daryin, I.A. Kalugin, N.V. Maksimova, L.G. Smolyaninova, K.V. Zolotarev. Use of a scanning XRF analysis on SR beams from VEPP-3 storage ring for research of core bottom sediments from Teletskoe Lake with the purpose of high resolution quantitative reconstruction of the last millennium paleoclimate. 2005. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 543 255–258.
3. I. Kalugin, A. Daryin, L. Smolyaninova, A. Andreev, B. Diekmann, O. Khlystov. 800 year long annual records of air temperature and precipitation over Southern Siberia inferred from high-resolution time-series of Teletskoye Lake sediments. Quaternary Research 67 (2007) 400-410
4. M. Schwikowski, A. Eichler, I.Kalugin, D. Ovchinnikov, T. Papina, Past climate variability in the Altai. PAGES News • Vol.17 • No 1 • January 2009. P. 44-45.

ВОДНАЯ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА)

Л.М.Киприянова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Новосибирск, kibr@iwep.nsc.ru

AQUATIC AND NEAR-SHORE VEGETATION OF THE NOVOSIBIRSK WATER RESERVOIR (THE CURRENT STATE AND SOME POSSIBILITIES OF RESOURCE POTENTIAL USE)

L.M.Kipriyanova

Institute for Water and Environmental problems SB RAS, Novosibirsk, kibr@iwep.nsc.ru

Дана характеристика современного состояния водной и прибрежно-водной растительности Новосибирского водохранилища. Сделана предварительная оценка ежегодной продукции макрофитов водохранилища (около 40 000 тонн надземной фитомассы в год). Представлены некоторые рекомендации по использованию ресурсного потенциала макрофитов.

The characteristic of a current state of aquatic and near-shore vegetation of the Novosibirsk Reservoir is given. The tentative estimation of macrophytes' annual production (at about 40 000 tons a year) is made. Some recommendations about the use of resource potential of macrophytes of Novosibirsk reservoir are presented.

Водная и прибрежно-водная растительность при массовом развитии способна обеспечить высокую степень устойчивости водоемов к эвтрофирующим воздействиям окружающей среды и ускорить самоочищение водоемов от нефтепродуктов, ядохимикатов и тяжелых металлов. Однако при массовом развитии возможно отрицательное влияние зарослей макрофитов на качество вод вследствие вторичного загрязнения. Поэтому актуальными являются задачи, связанные с изучением современного состояния водной и прибрежно-водной растительности Новосибирского водохранилища и оценкой ее возможного влияния на качество вод водохранилища.

В ходе гидробиотических исследований 2007-2009 гг. отмечено, что в связи с относительно невысокой прозрачностью вод Новосибирского водохранилища потенциально доступными для произрастания макрофитов являются глубины до 2 м, в разной степени зарастающие водной и прибрежно-водной растительностью. По совокупности важных для произрастания макрофитов гидрологических условий были выделены следующие основные типы мелководий Новосибирского водохранилища.

1. Открытые мелководья, подверженные влиянию течения или волнобоя с подвижными грунтами, макрофитами практически не зарастают.

2. Речные заливы (частично зарастают макрофитами).

3. Частично защищенные (как правило, островами) от влияния волновой деятельности и течения мелководья открытых водных пространств (Крутихинское, Ирменское), в значительной степени зарастающие макрофитами.

4. В существенной степени защищенные от влияния волновой деятельности и течения мелководья (Шарапское мелководье), имеющие местами сплошной характер зарастания.

В целом, Новосибирское водохранилище, имеющее очень большую акваторию, по интенсив-

ности зарастания, по классификации В.Г. Папченко [4], относится к слабо зарастающим водоемам. Зарастание водоема неравномерное. К особенно слабо зарастающим относятся глубокие прибрежные участки вдоль обрывистых берегов и приплотинный участок.

К факторам, ограничивающим развитие водной и прибрежно-водной растительности на Новосибирском водохранилище, относятся: слабая изрезанность берегов; высокие значения ветроволновой активности, вследствие чего велика протяженность абразионных берегов; низкая прозрачность вод (0,5-1,5 м). Это привело к тому, что, хотя площадь мелководий (с глубинами менее 2 м) составляет 16% от общей площади водохранилища, макрофитами зарастает не более 5% акватории водохранилища.

К факторам, благоприятствующим развитию водной и прибрежно-водной растительности относятся: богатая флора затопленной поймы Оби; благоприятные температурные условия лесостепной зоны; стабильный в течение периода вегетации уровень воды (поддерживается НПУ с июня по сентябрь). Это привело к тому, что там, где условия для макрофитов благоприятные, они имеют высокие показатели видового и ценотического богатства и высокую продуктивность зарослей.

Основными ценозообразователями Новосибирского водохранилища, создающими большую часть фитомассы, являются 2 вида: тростник южный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) и рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.). Экологический оптимум этих видов приходится на лесостепные и степные зоны Евразии, вследствие чего в лесостепной зоне Новосибирской области они имеют высокие значения продуктивности. Максимальная надземная фитомасса тростника в условиях Новосибирского водохранилища составляет 193,5 ц/га сухой массы, рогоза узколистного – 62,5 ц/га [3], причем, продуктивность подземной фитомассы превышает продуктивность надземной в 2-4 раза. Часто формирующий пояс плавающих растений болотноцветник щитолистный (*Nymphoides peltata* (S. G. Gmel) O. Kuntze) производит фитомассу до 18,7 ц/га. Из погруженных растений наиболее обширные заросли создают рдест блестящий (*Potamogeton lucens* L.), максимальная фитомасса которого 1,2 ц/га, и рдест стеблеобъемлющий (*Potamogeton perfoliatus* L.) – 3,9 ц/га (Мальцева, 1981). Все эти виды, являющиеся доминантами растительного покрова Новосибирского водохранилища, рекомендуются для организованного изъятия части растительной фитомассы, которое может быть весьма целесообразным не только для целей сельского хозяйства (как корм для скота и птицы), но и с целью производства биотоплива, что весьма перспективно, учитывая возобновимость данного ресурса.

Для точной оценки продукции макрофитов Новосибирского водохранилища необходимо проведение картирования водной и прибрежно-водной растительности. По предварительной оценке, продуктивность левобережных участков верхней части водохранилища составляет 34 000 т/год. Продуктивность Шарапского залива, по оценке Т.В.Мальцевой [3] – 429,5 т. Продукция остальных зарастающих участков мелководий Новосибирского водохранилища составляет, по нашей оценке, не более 5000 т/год. Таким образом, по самой предварительной оценке продуктивность макрофитов Новосибирского водохранилища составляет около 40 000 тонн сухой надземной фитомассы в год.

По данным многих исследователей, распад значительных количеств водных растений оказывает неблагоприятное воздействие на санитарно-гидрохимические качества воды. Повышение концентраций фосфатов и аммонийного азота в воде водохранилища в весенний период [2], несмотря на разбавление талыми водами, является вполне вероятным следствием массового разложения макрофитов, причем концентрации аммонийного азота в зимний и весенний периоды превышают ПДК почти в два раза. Отмечена [2] тенденция постепенного накопления в воде водохранилища минеральных форм азота и фосфора, что свидетельствует о постепенном эвтрофировании водохранилища. Одним из механизмов эвтрофирования водохранилища является ежегодное накопление в фитомассе макрофитов огромных количеств азота и фосфора и ежегодное отмирание фитомассы осенью с последующим разложением. При этом заросли макрофитов являются сво-

еобразными ловушками биогенов в короткий период вегетации с июня по сентябрь, усваивая их из протекающей воды. Весной при заполнении водохранилища происходит сочетание двух факторов: быстрое установление режима проточности в верховьях водохранилища, где развитие макрофитов наибольшее, с выносом разлагающейся мортмассы с Крутихинского мелководья в русловую часть. И второй фактор – относительно медленное отрастание макрофитов на мелководьях Крутихинского плеса – основных перехватчиков биогенов вторичного загрязнения. В результате значительные количества биогенов попадают из мелководий верхней части в лимнион водохранилища. Исходя из величин содержания в тканях макрофитов фосфора (0,7-0,8%) и азота (5-6%), и предварительной оценки продуктивности макрофитов Новосибирского водохранилища (около 40000 тонн сухой надземной фитомассы в год), ежегодная аккумуляция в макрофитах составляет 320 тонн фосфора, 2400 тонн азота которые в результате разложения фитомассы поступают в воды водохранилища, увеличивая концентрации соединений фосфора и азота в воде в зимний и весенний периоды. Таким образом, организованное частичное изъятие части растительной фитомассы для целей сельского хозяйства (как корм для скота и птицы) и производства биотоплива, имело бы еще один позитивный аспект – улучшение качества воды за счет уменьшения вторичного загрязнения.

Развитие растительности на мелководьях оказывает влияние на общую продуктивность водохранилищ. Так, в зарослях мелководий развивается особая фитофильная фауна, которая является кормовой базой для личинок и молоди рыб. Общее количество беспозвоночных животных на защищенных зарастающих мелководьях на 1 м² водной поверхности в десятки раз больше, чем на глубоководных участках. Кормовой зообентос в зарослях погруженной растительности на мелководьях днепровских водохранилищ измеряется величинами от сотен миллиграммов до сотен граммов на 1 м², а биомасса зоопланктона колеблется в пределах 10-25 г/м³, достигая в некоторых местах 500-600 [1].

Большое значение мелководий в биопродуктивности водохранилищ имеет для размножения большинства фитофильных рыб, развитие и нагул их молоди. Мелководья являются основной рыбопродуктивной зоной водохранилищ, с которой в различные периоды жизни связаны почти все виды рыб. Исследования П. Г. Сухойван, А. Ф. Ляшенко [5] и других авторов показали, что в пределах этой зоны воспроизводится 85-90% и более общих рыбных ресурсов равнинных водохранилищ.

Многолетними исследованиями установлено, что для обеспечения нормального икрометания, и нагула молоди фитофильных видов рыб и взрослых фитофильных и нефитофильных рыб площадь зарастающих мелководий должна составлять в среднем до 10% общей площади водохранилища [5]. Таким образом, для воспроизводства рыбных ресурсов Новосибирского водохранилища в настоящий момент условия не являются оптимальными, поскольку площадь зарастающих мелководий не превышает 5% и т.о. требуется разработать комплекс мер по их улучшению.

Литература

1. Буторин Н.В. Абиотические факторы продуктивности водохранилищ // Биологические ресурсы водохранилищ. М.: Наука. 1984. С. 8-41.
2. Васильев О.Ф., Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Тарасенко С.Я., Попов П.А., Хабидов А.Ш. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сиб. экол. журн. 2000. Т. VII. № 2. С. 149-163.
3. Мальцева Т. В. Водная растительность Шарапского залива Новосибирского водохранилища // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. н., Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. 1981. С. 62-69.
4. Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. – Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 200 с.
5. Сухойван П.Г., Ляшенко А.Ф. Значение мелководий для воспроизводства рыбных запасов в днепровских водохранилищах // Тез. докл. к Совещ. по комплекс. использованию мелководий водохранилищ в нар. хоз-ве. М. 1970. С. 25-27.

ФАКТОРЫ И ПОКАЗАТЕЛИ САМООЧИЩЕНИЯ РЕКИ ОБИ

*Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Яныгина Л.В.,
Третьякова Е.И., Кириллова Т.В. Котовщиков А.В.,
Ермолаева Н.И., ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, vkirillov@iwep.asu.ru*

THE FACTORS AND CHARACTERISTICS OF SELF-PURIFICATION FOR OB RIVER

*Kirillov V.V., Bezmaternykh D.M., Yanigina L.V.,
Tretyakova E.I., Kirillova T.V., Kotovshchikov A.V.,
Ermolaeva N.I., IWEP SB RAS, Barnaul, vkirillov@iwep.asu.ru*

На основе гидрологических, гидрохимических и гидробиологических данных, в том числе полученных в 2009 г. комплексной экспедицией ИВЭП СО РАН, установлено, что река Обь в период открытой воды на всем протяжении течения характеризуется высокими потенциалом и интенсивностью самоочищения.

The hydrological, hydrochemical and hydrobiological data, including the field research results of IWEP SB RAS in 2009, were analysed. High potential and rate of self-purification along the full length of Ob River during ice-free period were determined.

Самоочищение вод – совокупность природных процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водного объекта [3]. Факторы самоочищения, показатели его интенсивности и эффективности можно разделить на три группы: физические, химические и биологические.

К физическим факторам самоочищения водоемов относятся: разбавление (уменьшение концентрации загрязнителей вследствие перемешивания и диффузии), ультрафиолетовое излучение Солнца (дезинфицирующий эффект), температура воды и седиментация взвешенных веществ. Физические факторы самоочищения зависят от гидрологических свойств водного объекта, главным образом от расхода воды, при этом минимальный потенциал самоочищения наблюдается в меженный период и в маловодные годы.

Из химических факторов самоочищения водоемов первостепенное значение имеет окисление органических и неорганических веществ. Химическое самоочищение в основном определяется окислительными свойствами растворенного в воде кислорода.

Для оценки биологического потенциала самоочищения исследуют состав и уровень развития гидробионтов, пространственное распределение и динамику биоценозов, продуктивность и благополучие водных экосистем, характер и степень экологических модификаций.

Реки как системы выноса с территории продуктов водной и ветровой эрозии а также отходов человеческой деятельности локализируют влияние естественных и антропогенных факторов на гео- и гидросистемы. Кроме общепринятого разделения рек на участки по морфометрическим и гидрологическим признакам уместно рассматривать и генезис качества воды вдоль по течению. Неоднородность характеристик и наибольшие изменения физических характеристик, химического состава воды и биоценозов по длине реки наблюдаются в случае, когда река пересекает различные природные зоны, то есть преимущественно у рек, текущих в меридиональном направлении [1]. Ярким примером такой реки является главный водоток Западной Сибири – река Обь, которая по величине нормы годового стока, согласно [2], на всем протяжении относится к категории

«большие».

В соответствии с методикой выявления гидравлического фактора самоочищения определяются два показателя: условия самоочищения поверхностных вод за счет трансформации загрязняющих веществ и интегральные условия самоочищения поверхностных вод [7,8].

Первый показатель рассчитывается путем пространственного сопоставления данных по среднемноголетним температурам воды за три летних месяца и интенсивности перемешивания воды. Интенсивность перемешивания рассчитывается на основе подразделения рек: равнинные (абсолютные высоты до 500 м) – слабая интенсивность перемешивания; предгорные – средняя; горные (абсолютные высоты свыше 1000 м) – сильная.

Для выделения классов рек применяется матрица с градацией значений температуры и интенсивности перемешивания воды [7]. Учитывая, что на большей части своего течения (ниже устья Чарыша) р. Обь имеет равнинный характер и среднюю за лето температуру воды около 17 °С, река по этой классификации относится к среднему классу условий самоочищения.

Классы рек по интегральным условиям самоочищения воды выделяются на основе значений расходов воды и условий трансформации загрязняющих веществ. Условия разбавления рассчитываются на основе данных по нормам среднегодовых расходов воды. Для р. Оби начиная от места слияния рек Бия и Катунь, этот показатель составляет более 1000 м³/с, что соответствует очень крупным рекам и, следовательно, интегральные условия самоочищения воды р. Оби на всем ее протяжении соответствуют 3 классу – «относительно благоприятные».

Количество растворенного в воде кислорода в реке Оби в период открытой воды соответствует существующим нормативам и свидетельствует о значительном потенциале самоочищения. Однако известно, что в период ледостава на участке реки ниже устья р. Чулыма наблюдаются заморы рыбы, что позволило В.И. Жадину [4] выделить Обь в особый в биогидроценотический тип.

Интенсивность биохимических процессов самоочищения с участием гидробионтов, включая микроорганизмы, напрямую зависит от температурного режима водного объекта. Чем выше температура, тем быстрее протекают процессы самоочищения, что обуславливает неравномерность протекания этого процесса в различные сезоны года. Общую характеристику температурных условий протекания процессов самоочищения дает *Показатель природного потенциала самоочищения воды* (ППС_{Н₂О}), который рассчитывается по формуле: $ППС_{Н_2O} = \left(\frac{A}{365}\right) \cdot J$, где А – число дней в году со среднесуточной температурой воды 16°С и более; J – эмпирический индекс максимальной цветности воды [5]. Показатель природного потенциала самоочищения воды позволяет в универсальной форме оценить интегральные признаки самоочищения и сравнить между собой различные водные объекты, на разных участках реки, а определение этого показателя за ряд лет позволяет выявить его изменения за выбранный расчетный период.

Участок реки Оби протяженностью 1883 км был обследован комплексной экспедицией ИВЭП СО РАН с 21 августа по 8 сентября 2009 г. Пробы р. Оби отбирали на 15 створах: от с. Дубровино (Новосибирская обл.), до п. Карымкары (Ханты-Мансийский АО). Также были исследованы створы в устьевых участках основных притоков Оби: р. Томь, р. Чулым, р. Кеть, р. Васюган, р. Вах, р. Иртыш.

По данным экспедиционных исследований содержание кислорода в воде Оби изменялось от 7,68 до 10,0 мг/л. Значительные изменения цветности (от 11,2 у с. Дубровино до 146 градусов в устье р. Иртыша) и величин перманганатной и бихроматной окисляемости показали увеличение при движении вниз по течению реки количества органических веществ. Величина (ППС_{Н₂О}), составляющая около 0,7 для большей части исследованного участка реки Оби, также как и другие рассмотренные выше показатели, свидетельствует о среднем потенциале ее самоочищения.

Если расширить понятие трофности за пределы его первоначальной формулировки как основы классификации озерных систем, то в реке тоже можно выделить олиго-, мезо- и эвтрофные участки по мере продвижения вниз по течению. Изменение трофности как характеристики уровня развития живых организмов, интенсивности потока вещества и энергии вдоль по реке, происходит по естественным причинам. Но оно может резко сдвигаться как в сторону увеличения (в случае поступления в реку аллохтонных органических и биогенных веществ), так и в сторону уменьшения (в случае поступления токсических и загрязняющих веществ). Вслед за трофностью изменяется и биологический потенциал самоочищения реки.

По результатам экспедиционных исследований 2009 г. наблюдалось изменение состава биоценозов при сохранении уровня развития планктона и бентоса при движении вниз по течению реки.

Исследованный участок средней Оби в период летне-осенней межени 2009 г. характеризовался высоким содержанием хлорофилла *a*: средние по створам значения составили 14-31 мг/м³, наиболее часто встречающиеся – 10-20 мг/м³, что соответствует мезотрофным и эвтрофным водотокам. Качество воды в соответствии с классификацией [6], по содержанию хлорофилла *a* соответствовало II и III классам (вполне чистая – слабозагрязненная). Пространственное распределение концентрации хлорофилла в Средней Оби было достаточно однородно за исключением створов, расположенных в районе впадения рек Чулым и Иртыш. Повышение уровня развития фитоценозов на этих участках может быть обусловлено поступлением биогенных веществ и фитопланктона с водами притоков. Пределы колебаний, средние и наиболее часто встречающиеся значения концентрации основного фотосинтетического пигмента, полученные в 2009 г., близки к соответствующим показателям в 1999-2001 гг., что свидетельствует о стабильности уровня трофности и состояния экосистемы р. Обь в среднем и нижнем течении.

В 2009 году отмечено существенное увеличение видового богатства (в 2-3 раза), численности и биомассы зоопланктона (на 1-2 порядка) по сравнению с соответствующими показателями в 1999-2001 гг. Изменения индекса сапробности Пантле и Букка в 2009 году (1,56 - 1,73) не вышли за пределы интервала значений для предыдущих исследований.

Бентосные сообщества средней Оби имели низкий уровень развития, что, вероятно, было обусловлено преобладанием подвижных песчаных грунтов. По видовому разнообразию бентосных водорослей, численности и биомассе фитобентоса, а также таксономическому составу зообентоса, встречаемости олигохет и величине индекса Гуднайта-Уитли исследованные участки русла средней Оби можно разделить на два района с границей в месте впадения р. Кеть, это соответствует ранжированию реки по содержанию органических веществ в воде: средние значения перманганатной окисляемости воды р. Обь на участке от Новосибирского водохранилища до устья р. Кеть составили $3,6 \pm 0,4$ мгО/л, от устья р. Кеть до п. Карымкары – $17,8 \pm 1,1$ мгО/л.

Таким образом, по условиям самоочищения за счет разбавляющей способности, интенсивности трансформации загрязняющих веществ, температуре и цветности воды, уровню развития планктона и бентоса, а так же по содержанию растворенного в воде кислорода, биогенных и органических веществ, результатам биоиндикации р. Обь в период открытой воды на всем протяжении течения характеризуется высокими потенциалом и интенсивностью самоочищения вследствие взаимодействия физических, химических и биологических процессов. Наблюдается снижение интенсивности самоочищения в подледный период, особенно в условиях поступления с заболоченного водосбора на участке средней Оби вод, обогащенных органическими веществами, что определяет дефицит кислорода и значительные изменения экосистемы реки, включая заморы рыб.

Литература

1. *Алекин*, Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970.- 444 С.
2. ГОСТ 17.1.1.02-77. Классификация водных объектов.
3. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения
4. *Жадин В.И.* Жизнь в реках // Жизнь пресных вод СССР/ Под ред. *Е.Н. Павловского и В.И. Жадина*. Т. 3. – М.-Л.: АН СССР, 1950.
5. Гигиенические основы решения территориальных проблем (на примере КАТЭКа) / *А.А. Добринский, Н.Р. Косибород, В.М. Пивкин, Е.М. Трофимович, и др.* – Новосибирск: Наука, 1987. – 249 с.
6. Комплексная экологическая классификация поверхностны вод суши / *О.П. Оксийук, В.Н. Жукинский, П.Н. Брагинский и др.* // Гидробиол. журн. – 1993. – № 4. – С. 62-76.
7. *Скорняков В.А., Даценко Ю.С., Масленикова В.В.* Картографирование условий самоочищения природных вод // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. – 1997. – №5. – С. 62-66.
8. *Стурман В.И.* Основы экологического картографирования: учеб. пособие. – Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1995. – 221 с.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И КАЧЕСТВА ВОД В КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.В. Колмакова^{1,2}, А.В. Кураев^{2,3}, Е.А. Захарова^{2,3},

В.А. Земцов¹, С.Н. Кирпотин^{1,2}, Н.М. Моньяр^{2,4}

¹Томский государственный университет, Томск, Россия

²Университет г. Тулузы; Университет Поль Сабатье (OMP-PCA),
LEGOS, F-31400 Тулуза, Франция

³Государственный Океанографический Институт,
Санкт-Петербургское отделение, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴CNES; LEGOS, F-31400 Тулуза, Франция
maria.kolmakova@legos.obs-mip.fr

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF HYDROLOGICAL REGIME AND WATER QUALITY IN THE CRYOLITHOZONE OF WESTERN SIBERIA

Maria V. Kolmakova^{1,2}, Alexei V. Kouraev^{2,3}, Elena A. Zakharova^{2,3},

Valeriy A. Zemtsov¹, Sergey N. Kirpotin¹, Nelly M. Mognard^{2,4}

¹Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Université de Toulouse; UPS (OMP-PCA), LEGOS, F-31400 Toulouse, France

³State Oceanography Institute, St. Petersburg branch, St. Petersburg, Russia

⁴CNES; LEGOS, F-31400 Toulouse, France
maria.kolmakova@legos.obs-mip.fr

В данной работе анализируется изменчивость гидрологических процессов, характеризующие природные условия избыточно увлажненных зон Западной Сибири с использованием полевых и спутниковых данных. Методом спутниковой альтиметрии была оценена величина и изменчивость площади затопляемых и переувлажненных территорий в бассейнах рек Полуй, Надым, Пур и Таз (ПНПТ). Использован набор данных с альтиметрических спутников (ENVISAT, TOPEX/Poseidon) в сочетании с полевыми измерениями гидрохимических показателей воды в озерах и болотах субарктики Западной Сибири и высокогорьях Алтая.

We present results about the variability of hydrological processes in the Western Siberian region at different temporal (from multi-year to seasonal) and spatial (from local to regional) scales. This is based on a multidisciplinary approach using in situ and remote sensing data such as radar altimetry (TOPEX/Poseidon, ENVISAT) and other satellites. In situ data is based on measurements of the hydrochemical water parameters in lakes and bogs of subarctic and high mountain zones.

Субарктика Западной Сибири

Западно-Сибирская равнина является одной из крупнейших аккумулятивных равнин земного шара. Умеренно-континентальный климат и плоский рельеф равнины определяет характер ее гидрографической сети и большого количества водных объектов: крупных и малых рек, водотоков, пойменных водоемов, озер и болот.

Несмотря на то, что реки Обь и Енисей являются основными водными артериями на территории Западно-Сибирской равнины, в данной работе рассматриваются небольшие реки севера Западной Сибири, такие как Полуй, Надым, Пур и Таз (рис.1). По сравнению с Обью и Енисеем, имеющими сложный полизональный режим, бассейны ПНПТ характеризуются более однородными природными условиями, что делает их надежным и очень важным индикатором климатической изменчивости субарктической части Западной Сибири [1].

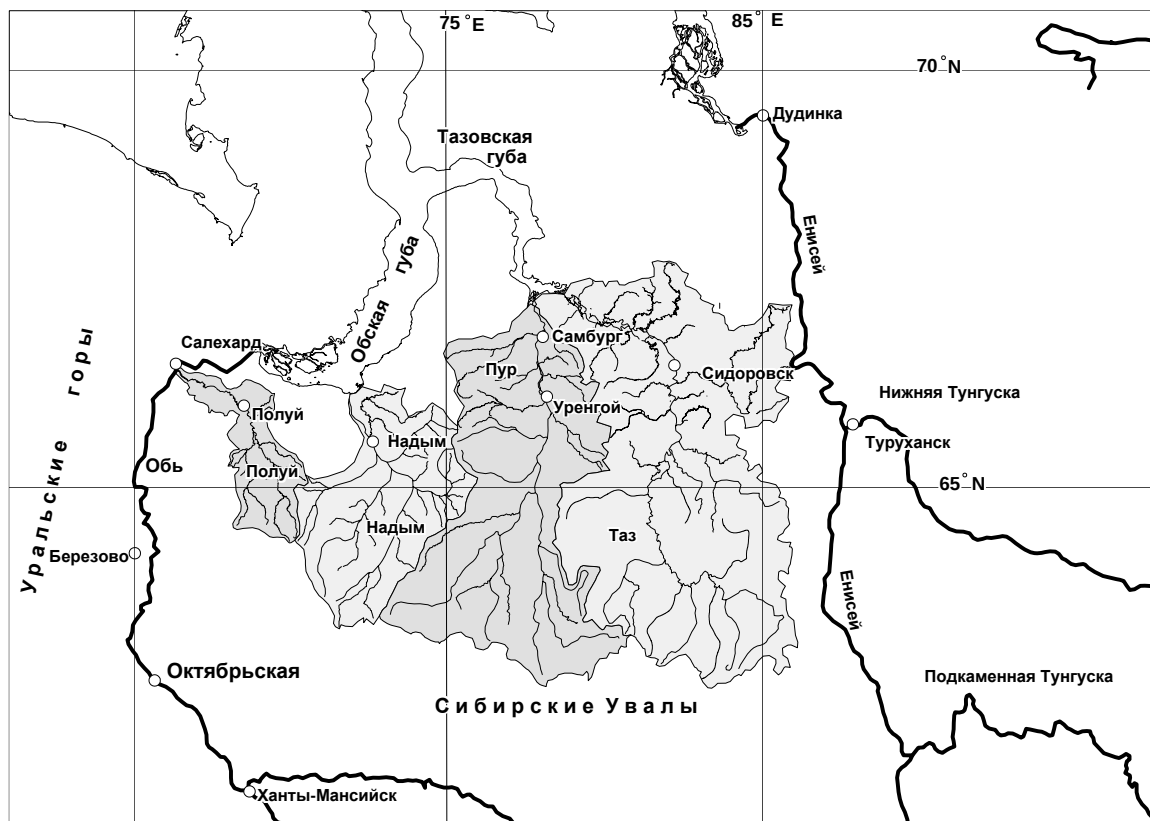


Рис. 1 Карта северо-западной Сибири. Водосборы рек Полуй, Надым, Пур, Таз.

Водосборы рек ПНПТ отличаются довольно плоским, но расчлененным рельефом заболоченных междуречий, разделенных большим количеством речных долин. Климат территории характеризуется континентальным режимом с коротким летом и суровой долгой зимой. Среднегодовая температура -9.3°C , средняя температура января $-25 - 28^{\circ}\text{C}$ [2].

Многолетняя мерзлота на в бассейнах рек ПНПТ возрастает с юга на север – от прерывистой (5-10%) до сплошной мерзлоты. Мощность деятельного слоя (глубина протаивания) для тундровых ландшафтов изменяется в пределах 20-25 см на севере и 80-90 см на юге, а в зоне тайги – до 2 м.

Обводненные территории и радарная альтиметрия

Пассивные и активные спутниковые измерения позволяют получить надежные регулярные данные по характеристикам земной поверхности. Одним из способов оценки обводненности поверхности является анализ отраженного сигнала в децибелах (дБ) с помощью активных микроволновых инструментов, таких как РЛС, скатеррометр, радарный альтиметр и др. РЛС бокового обзора и скатеррометры успешно применяются для изучения влажности почвы и поверхности открытой воды [1].

В данной работе используются данные альтиметрического спутника ENVISAT, запущенного в ноябре 2002 г. Период его вращения составляет 35 дней, при частоте регистрации данных 18 Гц обеспечивается пространственное разрешение 380 м вдоль трассы. Таким образом, трассы

ENVISAT обеспечивают равномерное покрытие водосборов ПНПТ. Среднее количество наблюдений 35-ти дневного спутникового цикла для Полуя составляет 3000 точек, 9000 – для Надыма, 15 000 – для Пура и 25 000 – для Таза. Поскольку открытая вода дает более сильный отраженный сигнал, чем земная поверхность, при его анализе было использовано пороговое значение. По выбранному пороговому значению Ки-диапазона в 20 дБ были выделены сигналы альтиметрических наблюдений более 20 дБ, которые классифицировались как открытая вода. Для сравнения водосборов разных размеров было посчитано количество таких альтиметрических измерений в процентах от общего числа наблюдений в каждом цикле для каждого водосбора. Эта величина далее рассматривается как коэффициент обводненности.

Полученные результаты представлены графически на рис. 2, он отражает временную изменчивость обводненности водосборов ПНПТ, которая ежегодно характеризуется двумя максимумами: весенним и осенним, с минимумом между ними. Зимой территория покрыта снежным покровом, и коэффициент был равен нулю. Первый максимум связан с весенним половодьем, которое наступает обычно в июне, со значением коэффициента обводненности до 85% для всех рек, кроме Таза (66%). Низкий процент обводненности, вероятно, связан с более расчлененным рельефом в пределах Пур-Тазовской возвышенности, где условия затопления менее благоприятны.

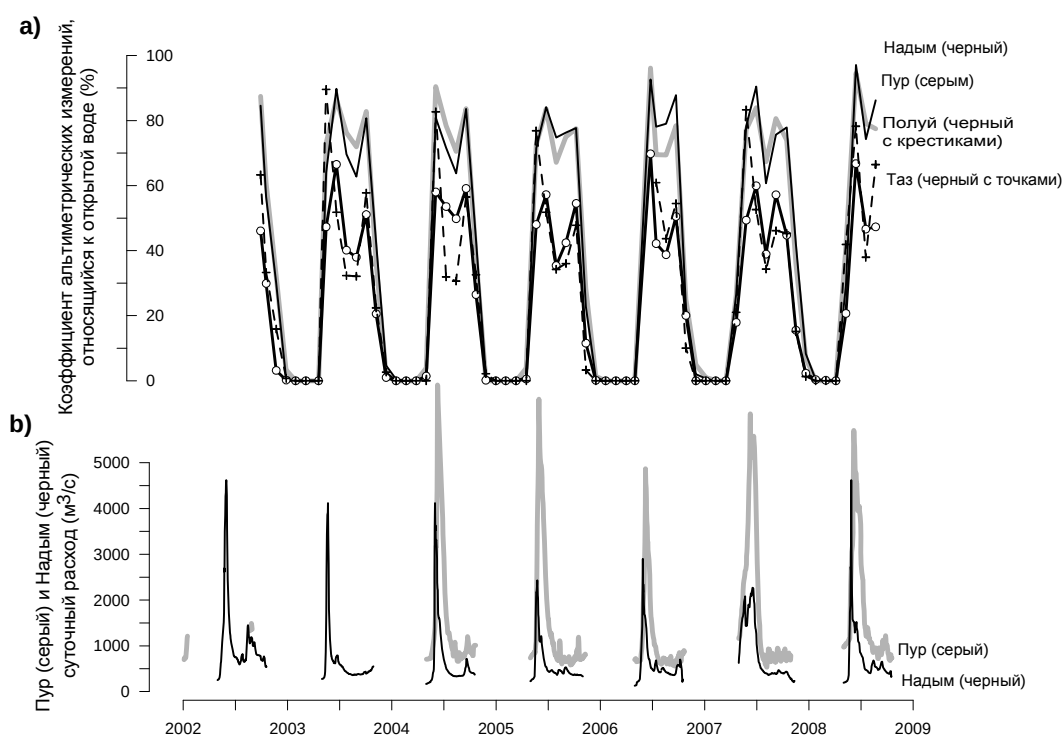


Рис. 2 Временная изменчивость (а) зон затопления / влажных зон (измерения альтиметрического спутника ENVISAT классифицированные как вода, в % от общего количества наблюдений) (б) суточный расход для рек Пур в Самбурге и Надым в Надыме ($\text{м}^3/\text{с}$).

Второй максимум приурочен к осенним паводкам, наблюдаемым в сентябре, также с высокими значениями коэффициента обводненности: до 81% – для Надыма, 79% – для Пура, 56% для Полуя и 52% для Таза. Следует отметить, что весенний и летне-осенний периоды характеризуются почти одинаково высокими значениями обводненности, хотя водность рек существенно ниже в период летне-осенних паводков по сравнению с половодьем. Это связано с тем, что даже незначительное повышение разности осадков и испарения на водосборной площади ведет к существенному обводнению поверхности и увеличению влажности почвы.

Летний минимум для всех рек наблюдается в августе со значениями коэффициента обводненности 35% – для Полуя, 68% – для Надыма, 70% – для Пура и 42% – для Таза. Таким образом, спутниковая альтиметрия дала возможность оценить величину и изменчивость площади затопляемых и переувлажненных территорий на водосборах ПНПТ. Сезонная изменчивость обводненности варьирует в пределах 20% – для Пура, Надыма, Таза и 40% – для Полуя. Часть воды расходуется в виде поверхностного и подземного стока, а часть испаряется. Потепление климата может усилить интенсивность этих процессов.

Мерзлые бугристые болота высокогорий Горного Алтая

В связи с исследованиями болотных экосистем субарктики Западной Сибири, особый интерес представляют сравнительные исследования мерзлотных горных болот юга Западной Сибири [3].

В августе 2009 года с целью детального изучения изменений, происходящих в озерно-болотных системах, проведено комплексное болотоведческое исследование района, расположенного в Горном Алтае, в урочище Ештыколь вблизи р. Чуи, пересекающей Курайскую межгорную котловину с юго-востока на северо-запад.

Климат территории характеризуется резко континентальным режимом. Лето короткое и засушливое, а зима продолжительная и суровая с незначительным снежным покровом. Количество осадков составляет 100-150 см в год с максимум в летний период года. Зимы здесь особенно суровые (абсолютный минимум -62°C), а высотные температурные инверсии являются причиной возникновения здесь прерывистой толщи многолетнемерзлых грунтов [4].

Для экспресс-измерения физических, химических и биологических показателей качества воды использован прибор YSI 6600 Sonde.

Наблюдениями были охвачены следующие объекты (таб.2) озерно-болотной системы: прибрежная заболоченная часть оз. Джангысколь (точки 1 и 2), прибрежные участки основной акватории озера (точки 5, 6, 8), лагуна – относительно изолированная часть озера (точка 7), центральная часть акватории озера (точка 11), мелкие водоемы, расположенные в депрессиях на участке бугров пучения (точки 4, 9, 10).

Для сравнения были выполнены измерения озер севера Западно-Сибирской равнины, находящиеся в Ямало-Ненецком автономном округе, между реками Пур и Надым, в зоне типичной лесотундры и тундры с ландшафтом мерзлых бугристых болот (пальзы). В точках 12-14 замеры проведены в поверхностном слое воды в центре термокарстового озера и у берега зарастающего термокарстового озера с зарослями макрофитов в прибрежной зоне.

Анализ результатов показывает, что эволюция оз. Джангысколь направлена в сторону его дальнейшего эвтрофирования, чему способствует использование прилегающей к водоему водосборной площади для пастбищного животноводства, усиливающееся в течение последних лет. В воду поступают биогенные вещества, способствующие эвтрофированию.

Таким образом, хозяйственная деятельность стала весьма важным фактором, определяющим эволюцию озерно-болотных комплексов урочища Ештыколь. Однако очевидны и изменения природных условий, связанные с потеплением климата в последние несколько десятилетий: деградация многолетней мерзлоты, активизация термокарстовых процессов и др. Результаты действия всех этих факторов тесно взаимосвязаны, что затрудняет количественную оценку роли каждого из них.

Озера районов распространения многолетней мерзлоты на севере Западно-Сибирской равнины, как и все водоемы с замедленным водообменом, тоже имеют тенденцию к эвтрофированию. Однако здесь в большей степени выражена периодичность их развития, связанная с сукцессией (мерзлый бугор – мочажина – термокарстовое озеро – спущенное озеро хасырей – молодой хасырей – старый хасырей), накладывающаяся на общую тенденцию, определяемую современной деградацией мерзлоты.

Таблица 1

**Данные измерений физических, химических и биологических показателей
качества вод в исследуемых водоемах криолитозоны**

Точки измерения	Темп. воды, °С	Удельн. электропроводность, мСм/см	Электропроводность, мСм/см	Сопротивление, кОм/см	Концентрация раств. веществ, г/л	Соленость, ppt	Раств. кислород, % от насыщения на данной высоте местности	Раств. кислород, концентрация, мг/л	Eh, мВ	pH	Мутность, NTU	Хлорофилл, % FS	Хлорофилл, мкг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15
1	14,3	0,12	0,10	10,2	0,08	0,06	64,2	6,58	-90,2	6,57	3,40	2,35	9,84
2	9,4	0,11	0,08	12,7	0,07	0,05	37,4	4,29	-74,1	6,47	5,72	2,33	9,71
3	16,4	0,14	0,12	8,43	0,09	0,07	139	13,6	-65,8	6,98	2,25	1,53	6,49
4	13,6	0,04	0,03	210	0,03	0,02	131	13,7	-50,7	7,02	2,35	4,48	18,7
5	16,8	0,10	0,08	12,3	0,06	0,04	75,8	7,37	-93,9	7,94	896	8,58	35,8
6	15,9	0,08	0,07	15,5	0,05	0,04	119	11,8	-80,0	8,73	8,26	2,28	9,53
7	15,9	0,08	0,07	14,9	0,05	0,04	132	13,1	-78,5	9,28	0	0,83	3,50
8	15,7	0,08	0,06	15,8	0,05	0,04	130	12,9	-83,1	9,34	0	0,62	2,60
9	13,0	0,44	0,34	2,94	0,29	0,21	12,4	1,31	-200	8,27	16,4	21,6	90,1
10	14,1	0,47	0,37	2,69	0,31	0,23	79,8	8,21	-170	8,07	125	133	555
11	15,4	0,08	0,07	15,3	0,05	0,04	109	10,9	-92,1	9,03	8,21	1,13	4,66
12	13,3	0,01	0,01	175	0,01	0,00	80,3	8,25	-33,3	8,47	3,55	1,40	5,85
13	17,2	0,02	0,02	62,0	0,01	0,01	56,3	5,32	8,87	8,39	25,3	50,4	210
14	20,3	0,03	0,03	36,8	0,02	0,01	141	12,7	-17,0	6,71	0	2,73	11,4

Литература

1. Zakharova E.A., Kouraev A.V., Kolmakova M.V., Mognard N.M., Zemtsov V.A., Kirpotin S.N. (2009). The modern hydrological regime of the Northern Western Siberia from in situ and satellite observations // International Journal of Environmental Studies, 66:4, 447-463.
2. Еришов Е.Д. Геоэкология СССР. Западная Сибирь. М.: Недра, 1989, стр. 454
3. Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., Van der Knaap W.O., Ammann B. The role of pingos in the development of the Dzhangyskol lake-pingo complex, central Altai Mountains, southern Siberia / Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2008. № 257. Pp. 404-420.
4. И.И. Волкова, И.В. Волков, Н.П. Косых, Н.П. Миронычева-Токарева, Л.В. Кирпотина, В.А. Земцов, М.В. Колмакова, А.В. Кураев, Е.А. Захарова, С.Н. Кирпотин. Горная озерно-болотная система урочища Ештыкель (Горный Алтай) // Вестник Томского государственного университета. № 1 (9). 2010

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ АМУР

Кондратьева Л.М., Шунькова Н.Н., Андреева Д.В.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск,

E-mail: kondrlm@rambler.ru

FEATURE OF TRANSFORMATION OF ORGANIC MATER IN BOTTOM SEDIMENTS IN THE AMUR RIVER

Kondratyeva L. M., Shunkova N. N., Andreeva D. V.

Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk,

E-mail: kondrlm@rambler.ru

Обсуждается роль донных отложений в формировании качества воды в р. Амур в зоне влияния крупных притоков и промышленных центров. Рассматриваются особенности трансформации органических веществ при лимите кислорода, которые сопровождаются процессами денитрификации и сульфатредукции.

The role of bottom sediments in formation of water quality in Amur river under influence of the chief tributaries and industrial centers are discussed. Feature of transformation of organic mater in the limit of oxygen, which are accompanied by processes of denitrification and sulfate reduction are considered.

Одной из актуальных экологических проблем Приамурья является хроническое загрязнение поверхностных вод. Особое место занимают органические вещества (ОВ), которые поступают в водные экосистемы с поверхностным стоком, с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами, а также со стоком крупных притоков.

Известно, что легкодоступные ОВ подвергаются деструкции в толще воды планктонными микроорганизмами. Однако, основная масса трудноминерализуемых ОВ в составе взвешенных веществ мигрирует на длительные расстояния, в результате седиментации аккумулируется на различных участках реки в донных отложениях (ДО).

Индикационная роль ДО состоит в их геохимической «консервативности» [1], которая отражает их способность накапливать стойкие органические соединения, токсичные элементы и хранить информацию о характере поступающих загрязнений. В тоже время в ДО присутствует довольно мобильная составляющая - специализированные бентосные микробные комплексы. Благодаря их ферментативной активности ДО становятся источником поступления в водную среду продуктов трансформации и деструкции ОВ различного генезиса.

В донных осадках происходят различные этапы практически всех природных циклов: углерода, азота, фосфора и серы. Завершенность этих циклов и вероятность накопления тех или иных промежуточных продуктов зависит от окислительно-восстановительных условий. Серьезные нарушения в балансе круговорота веществ, обеспечивающего самоочищение водных экосистем, происходят под влиянием антропогенных факторов, при поступлении большого количества органических веществ и токсичных элементов, негативно влияющих на многие естественные процессы. Вовлечение ОВ во внутриводоемные процессы, сопровождается активным потреблением кислорода и его дефицитом в придонных слоях воды и донных отложениях. При лимите кислорода в иловых отложениях активизируются процессы сульфатредукции и дени-

трификации, которые осуществляются специализированными группами микроорганизмов: сульфатредуцирующими (СРБ) и денитрифицирующими бактериями (ДНБ).

Хроническое загрязнение р. Амур связано с трансграничным поступлением азотсодержащих и ароматических органических веществ со стоком р. Сунгари, бассейн которой расположен в Китае. Ниже устья р. Сунгари загрязнение азотсодержащими органическими веществами увеличивается вдоль правого берега (по сравнению с левым берегом) в поверхностных водах в 26 раз, а в придонных водах – в 50 раз. При их деструкции в водную среду поступают ионы аммония, нитриты и нитраты, и возрастает вероятность образования канцерогенных нитрозоаминов. Однако при больших объемах органических веществ и дефиците кислорода альтернативой процессам аммонификации и нитрификации выступает денитрификация. При участии ДНБ происходит восстановление нитратов до нитритов, далее до газообразных оксидов и молекулярного азота.

Летом 2009 г. были проведены исследования активности бентосных микробных комплексов в устьевых зонах трех крупных притоков р. Амур: двух левобережных – реки Зея, Буря, на которых построены ГЭС и функционируют разновозрастные водохранилища; правобережного – р. Сунгари.

Для микробиологических исследований использовали поверхностный слой донных осадков (0-5 см). Культивирование денитрифицирующих микроорганизмов проводили на среде Гильтая. Активность денитрификации оценивали по положительной реакции с реактивом Грисса. Численность сульфатредуцирующих бактерий определяли методом глубинного посева на среде Постгейта. Численность бентосных бактерий выражали в колонии образующих единицах (КОЕ) на 1 г сырого веса ДО. Интенсивность сульфатредукции оценивали по положительной реакции с ацетатом свинца. Для приготовления инокулята 1 г ДО помещали в 100 мл стерильной дистиллированной воды и встряхивали в течение 1 часа на качалке (100 об/мин). Активность микробных комплексов определяли на КФК-52М при длине волны 490 нм.

Наиболее активные процессы денитрификации были отмечены в пробах донных отложений, отобранных ниже устья р. Сунгари (Рисунок), хотя численность денитрифицирующих бактерий на этом участке реки была сопоставимой с численностью в донных отложениях ниже устья р. Буря. Существенные различия в численности бактериобентоса в зоне влияния рек Зея и Буря обусловлены качественным и количественным составом поступающих органических веществ из разновозрастных водохранилищ. Зейское водохранилище было создано в 1975 г., а Бурейское водохранилище начали заполнять в 2003 г., поэтому до настоящего времени оно является источником поступления в р. Буря водорастворимых и взвешенных ОБ из затопленных почв и

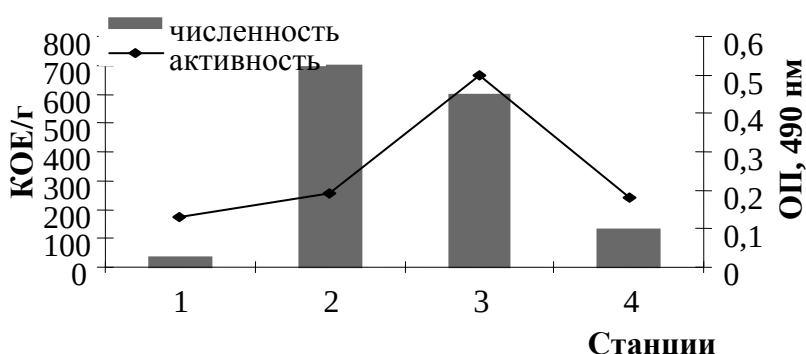


Рисунок. Численность и активность бентосных денитрифицирующих бактерий р. Амур в зоне влияния крупных притоков (июль, 2009 г.): 1 – ниже устья р. Зея; 2 – ниже устья р. Буря; 3 – ниже устья р. Сунгари; 4 – выше г. Хабаровск.

Предпосылкой такой активности бактериобентоса является поступление азотсодержащих веществ со стоком р. Сунгари. В период высокой водности и отсутствии лимита кислорода деструкция ОВ сопровождается высокой численностью аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий в толще воды и донных отложениях. Однако при дефиците кислорода и высоких концентрациях органических веществ, их окисление происходит с привлечением таких акцепторов электронов, как нитраты и сульфаты, которые восстанавливаются при участии денитрифицирующих и сульфатредуцирующих микроорганизмов.

Богатые органическими веществами муниципальные и сельскохозяйственные стоки, двуокись серы, образующаяся при сгорании органического топлива, и летучие органические сульфиды, поступающие со сточными водами целлюлозно-бумажных и металлургических предприятий, являются основными факторами, провоцирующими развитие сульфатредуцирующих бактерий. Самая высокая численность СРБ также была обнаружена в донных отложениях, отобранных ниже устья р. Сунгари и ниже китайского города Фуюань, расположенного на правом берегу в 65 км выше г. Хабаровска. Эти два источника поступления ОВ и биогенных элементов значительно повышают уровень эвтрофирования р. Амур. Основная масса взвешенных веществ поступающих из р. Сунгари распространяется вдоль правого берега. За счет их седиментации ниже по течению формируются зоны аккумуляции органических веществ, которые вовлекаются в окислительно-восстановительные процессы. Для сравнения ниже стока рек Зeya и Бурея численность сульфатредуцирующих бактерий была ниже в 8 и 6 раз, соответственно. Активизация процессов сульфатредукции в зоне влияния р. Сунгари обусловлена хроническим загрязнением воды сульфатами. В результате экспериментального моделирования с бактериобентосом было показано, что активная сульфатредукция происходит при широком диапазоне концентраций сульфата железа (8-20 мг/л).

Вклад российских городов в загрязнение р. Амур ОВ определяли в зоне влияния стоков Амурско-Комсомольского урбо-промышленного комплекса. Для сравнения были использованы донные отложения, отобранные выше и ниже городов Амурск и Комсомольск-на-Амуре у левого (ЛБ) и правого (ПБ) берегов. В качестве субстратов для определения активности СРБ использовали лактат кальция и ацетат натрия – важнейшие промежуточные продукты анаэробного распада органических соединений. Считается, что в пресноводных экосистемах преобладают СРБ, потребляющие лактат, менее широко распространены бактерии, метаболизирующие ацетат [2].

Эти города расположены на левом берегу, однако максимальная активность сульфатредукции была отмечена в донных отложениях, отобранных у правого берега (Таблица). Такой эффект может быть связан с влиянием сточных вод г. Хабаровска, расположенного выше по течению, и распространением вдоль правого берега сунгарийских вод с высоким содержанием взвешенных веществ особенно в период высокой водности на р. Сунгари. В донных осадках на участке Амурск – Комсомольск-на-Амуре можно прогнозировать активизацию процессов сульфатредукции. В летнее время в районе формирования сероводородных зон существует потенциальный риск гибели рыбы.

Таким образом, к прогнозируемым экологическим угрозам для гидробионтов р. Амур относится риск вторичного загрязнения воды за счет поступления из донных отложений продуктов трансформации и деструкции органических веществ. Образующиеся в результате денитрификации и сульфатредукции летучие токсичные вещества (нитриты, нитрозоамины, сероводород) влияют на органолептические показатели качества воды, изменяют экологическую обстановку в контактной зоне «вода-дно», могут вызывать токсикологические эффекты у планктонных и бентосных организмов. Выделяющийся сероводород в сочетании с другими неблагоприятными абиотическими факторами (высокие температуры, низкие концентрации кислорода) может стать причиной гибели рыбы и водоплавающих птиц, гнездящихся в пойме и на речных террасах.

Активность сульфатредуцирующих бактерий в донных отложениях Нижнего Амура

Место отбора проб ДО	Активность, ОП 490 нм	
	Лактат кальция	Ацетат натрия
Выше г. Амурск, ЛБ	0,15	0,015
Выше г. Амурск, ПБ	0,24	0,01
Ниже г. Амурск ЛБ	0,22	0,03
Ниже г. Амурск , ПБ	0,31	0,02
Выше г. Комсомольск, ЛБ	0,26	0,02
Выше г. Комсомольск, ПБ	0,38	0,02
Ниже г. Комсомольск, ЛБ	0,18	0,015
Ниже г. Комсомольск, ПБ	0,4	0,01

Работа выполнена при поддержке ПФИ РАН проект № 09-1- ОНЗ 04

Литература

1. Опекунов А.Ю. Аквальный техноседиментогенез. Тр. ВНИИ Океанологии. МПР РФ. Т.208. СПб: Наука, 2005. 278 с.
2. Пашкаускас Р., Кучинскене А., Жвикас А. Сульфатредуцирующие бактерии в озерах гипсового карста на севере Литвы // Микробиология. 2005. Т.74. №6. С.823-830.

РЕЧНОЙ ЛЕД КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА

Кондратьева Л.М., Фишер Н.К.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, fisher@ivep.as.khb.ru

RIVER ICE AS RESEARCH OBJECT OF WATER QUALITY DURING FREEZING-OVER PERIOD

Kondrarieva L.M., Fisher N.K.

Institute of water and ecological problems FEB RAS, Khabarovsk, fisher@ivep.as.khb.ru

В статье приведены результаты исследования льда рек Амур и Сунгари с использованием микробиологических методов.

The article shows the results of microbiological research of the Songhua and the Amur Rivers ice.

При замерзании воды речной лед из водной среды захватывает органические вещества (ОВ) природного и антропогенного происхождения. Поэтому исследования льда позволяют определить качество воды и характер загрязнения реки в зимний период. Наиболее информативным является послойное исследование льдов. Это позволяет проанализировать не только динамику качества воды в период ледостава, но и зафиксировать случаи аварийных поступлений токсичных веществ, вероятность их миграции и трансформации не только в водной среде, но и непосредственно в толще льда.

Ярким примером может служить послойное исследование льда р. Сунгари (правобережный приток р. Амур) после техногенной аварии в г. Цилинь (КНР), которая произошла в ноябре 2005 г., когда в р. Сунгари поступило около 100 т нитробензола и других летучих производных бензола.

Во время прохождения загрязненных водных масс по р. Сунгари ледовое покрытие у г. Харбин еще отсутствовало. Лед начал формироваться на нижерасположенных участках между городами Цзямусы и Тунцзян. Нар. Амур (ниже устья р. Сунгари) толщина льда уже составляла около 30-40 см.

Наиболее информативными индикаторами загрязнения водных экосистем являются микробоценозы. Микробоценозы льда – криомикробоценозы (КМЦ) – играют специфическую роль в миграции биогенных элементов и изменении химического состава.

Цель данных исследований состояла в анализе численности и структуры КМЦ во льдах рек Амур и Сунгари для определения качества воды и оценки характера загрязнения вод в период ледостава.

Объекты и методы исследования.

Пробы льда для комплексных исследований р. Амур были отобраны в феврале 2006 г. на двух створах: с. Нижнеспасское и выше г. Хабаровск (рис. 1). Микробиологические исследования проводили только с нижним слоем льда (8-10 см), контактирующим с водой. В марте 2006 г. во время совместного российско-китайского мониторинга пробы льда в р. Сунгари отбирали у левого и правого берегов выше городов Харбин, Цзямусы и Тунцзян. Микробиологические исследования льда р. Сунгари проводили послойно, толщина слоя в среднем составляла 20 см.

Определение численности отдельных физиологических групп КМЦ проводили путем посевов на агаризованные селективные среды методом предельных разведений. Определяли общую

численность жизнеспособных гетеротрофных бактерий (ОЧГБ), аммонифицирующих бактерий (АМБ), нитрифицирующих бактерий (НБ) и группу фенолрезистентных и фенолоксиляющих бактерий (ФРБ/ФОБ).



Рис. 1. Карта схема мест отбора проб льда.

Результаты и обсуждение

Исследования льда р. Сунгари выявили чрезвычайно высокую численность КМЦ, которая свидетельствует о концентрировании различных ОВ, поступающих со сточными водами населенных пунктов и промышленных предприятий, расположенных в провинции Хэйлунцзян.

В районе г. Харбин нитробензол начал фиксироваться 25 ноября 2005 г., когда лед на р. Сунгари только начал формироваться. На данном участке реки нитробензольное загрязнение проходило преимущественно вдоль правого берега, однако максимальная численность КМЦ во всех слоях льда отмечена у левого берега (таблица). Это говорит о том, что возле левого берега в течение всего зимнего периода перемещались водные массы, загрязненные азотсодержащими и фенольными соединениями. Особенно следует отметить высокую численность группы ФРБ/ФОБ (8740 КОЕ/мл) в слое 20-40 см, это свидетельствует об интенсивном загрязнении водных масс фенольными соединениями в период формирования данного слоя льда.

Полученные данные по различному послойному распределению КМЦ во льдах, отобранных у левого и правого берега выше г. Харбин, свидетельствует о неоднородности загрязнения водных масс при формировании льдов как в пространстве, так и во времени. Исследование содержания ОВ, определяемых по химическому потреблению кислорода (ХПК), на данном участке реки не позволили выявить различий в загрязнении между льдом, отобранным у левого и правого берега [1]. Однако микробиологическими методами были получены данные, отражающие особенности загрязнения воды в период формирования различных слоев льда у левого и правого берегов.

Численность КМЦ во льду р. Сунгари в марте 2006 г.

Место отбора проб		Слой, см	АМБ	ОЧГБ	НБ	ФРБ/ФОБ
г. Харбин	Левый берег	0-20	300	1200	250	100
		20-40	15000	32000	20000	8740
		40-60	4333	23000	8000	245
		60-80	100	1500	0	0
	Правый берег	0-20	6333	4667	2333	607
		20-40	0	100	20	0
		40-60	300	0	0	10
		60-80	1000	100	0	1270
г. Цзямусы	Левый берег	20-40	0	0	0	0
		40-68	0	-	100	0
		68-76	0	300	0	0
	Правый берег	0-20	19000	43350	40600	2400
		20-40	423000	1752000	320000	48000
		59-75	1700	1000	300	60
г. Тунцзян	Левый берег	0-20	100	150	600	50
		80-100	200	150	450	20
	Правый берег	0-20	30700	34150	98200	7820
		46-69	100	450	350	0

Примечание: “-” данные отсутствуют.

Выше г. Цзямусы нитробензольное загрязнение было зарегистрировано 10 декабря 2005 г. В это же время были отмечены и максимальные расходы воды, которые за 5-6 дней увеличились в 2-3 раза, в результате чего загрязненная нитробензолом вода пошла по льду и образовался наледный лед мощностью до 40 см [2]. Микробиологические исследования льда у правого берега позволили выявить чрезвычайно высокую численность исследуемых физиологических групп КМЦ (таблица). Максимальная их численность отмечена в слое 20-40 см, который образовался во время прохождения нитробензольного загрязнения, он был мутным и имел резкий запах. Такая высокая численность бактерий во льду была зафиксирована впервые. Особенно высокой была численность индикаторов фенольного загрязнения. У левого берега в районе г. Цзямусы в таком же слое льда бактериальное сообщество отсутствовало. Таким образом, на данном участке реки нитробензольное загрязнение проходило преимущественно вдоль правого берега и не достигало левого берега.

При исследовании содержания ОВ во льдах выше г. Цзямусы по показателю ХПК также было отмечено их максимальное содержание (до 40 мг О/л) у правого берега в слое 20-40 см [1], концентрация аммонийного азота в нем составляла 0,093 мгN/л, фосфатов – 0,180 мг/л [2].

В низовье р. Сунгари в районе г. Тунцзян численность КМЦ во льдах снижалась, но по-прежнему оставалась максимальной у правого берега. Это связано с прохождением загрязненных водных масс после техногенной аварии преимущественно вдоль правого берега. Особенно следует отметить высокую численность бактерий-индикаторов фенольного загрязнения, которая составляла 7820 КОЕ/мл.

Исследования льда р. Амур показали, что численность индикаторных групп бактерий была значительно ниже, чем во льду р. Сунгари. В районе с. Нижнеспасское распространение загряз-

няющих веществ проходило вдоль правого берега и на середине реки (рис. 2). Бактерии – индикаторы фенольного загрязнения во льду у левого берега отсутствовали. У правого берега их численность была довольно низкой – 10 КОЕ/мл.

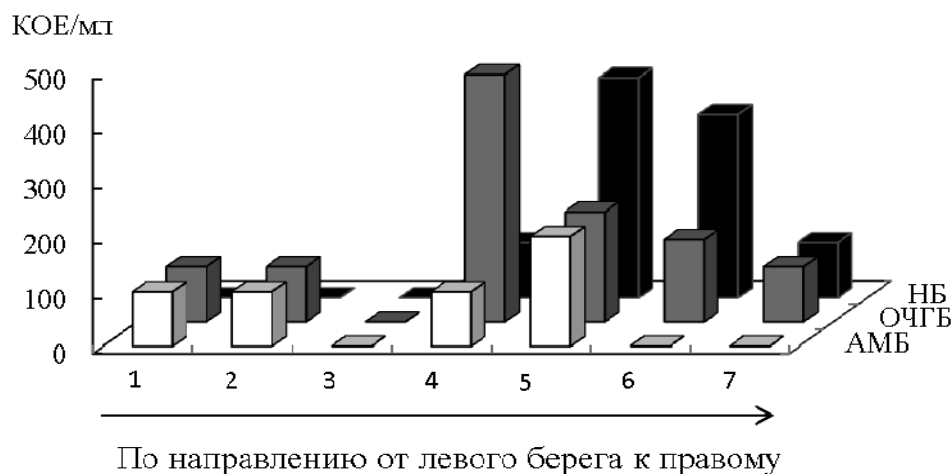


Рис. 2. Численность криомикробоценозов в нижнем слое льда р. Амур в районе с. Нижнеспасское в феврале 2006 г.

В районе г. Хабаровска в нижнем слое льда КМЦ были малочисленными и равномерно распределены по поперечному профилю реки. Эти данные согласуются с ранее полученными результатами исследований контактной зоны вода-лед, когда в феврале отмечается минимальное количество КМЦ за период ледостава.

Выводы

Впервые проведенные микробиологические исследования льда р. Сунгари показали, что происходит постоянное поступление в р. Сунгари как азотсодержащих органических веществ, так и фенольных соединений, которые в зимний период вмерзают в лед, а во время ледохода вновь поступают в водную среду. Лед р. Амур в феврале 2006 г. характеризовался меньшим загрязнением.

Послойное исследование льда позволяет выявить распределение загрязняющих веществ в пространстве и во времени. Полученные данные говорят в пользу смены методологии мониторинга в зимнее время. При исследовании формирования качества воды в различных типах водных экосистем (реки, озера, водохранилища) в период ледостава лед может служить чрезвычайно показательным объектом исследования распределения загрязняющих веществ во времени.

Литература

1. Левшина С.И. Содержание и динамика органического вещества в водах Амур и Сунгари // География и природные ресурсы, 2007, № 2, с. 44-51.
2. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Фомина Ю.А., Ри Т.Д. Характеристика химического состава воды и льда р. Сунгари (КНР) в зимнюю межень // Природные ресурсы Забайкалья и проблемы геосферных исследований: Материалы научной конференции. Забайкал. гос.гум.-пед. университет, Чита, 2006, с. 281-282

ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА РЕКИ ОБИ В СТВОРЕ Г. БАРНАУЛА ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Кошелева Е.Д. ИВЭП СО РАН, Барнаул, edk@iwep.asu.ru

CHANGE OF THE DRAIN OF THE RIVER OB IN CROSS-SECTION AT BARNAUL UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES

Kosheleva E.D. IWEP SB RAS, Barnaul, edk@iwep.asu.ru

Статистическим анализом установлено, что под влиянием климатических изменений произошло нарушение однородности рядов речного стока р. Оби в створе г. Барнаула на временной границе 1978 г. Для двух периодов выполнен сравнительный анализ внутригодового распределения стока, выявлены характерные закономерности.

By the statistical analysis it is established that under the influence of climatic changes there was an infringement of uniformity of numbers of a river drain of Ob in cross-section at Barnaul on time border of 1978. For two periods the comparative analysis of in annual distribution of a drain is made, characteristic laws are revealed.

Для России изменение приземной температуры воздуха за период с 1976 по 2006 гг. (30 лет) составило 1,4°C. Применяя комплексный статистический анализ динамики весеннего, летне-осеннего и зимнего стока, Государственный гидрологический институт установил факт неоднородности гидрологических рядов наблюдений до 1977 г. и после 1978 г. для речного стока крупных, средних и малых рек на территории России, вызванный потеплением климата. Для азиатской части РФ за последние 28 лет по сравнению с предшествующим многолетним периодом выявлены следующие закономерности [1].

1. Наиболее значимо зимний сток вырос у Тобола и других левобережных притоков Иртыша (на 40-70%). Незначимые положительные тренды отмечаются в бассейне Лены (10-30%), в бассейне Енисея и в Забайкалье (10-20%).

2. Летне-осенний сток рек изменился не столь однозначно, за исключением увеличения стока у левобережных притоков Иртыша (на 25-50%), рек бассейна Лены (на 10-20%) и рек северо-востока (на 15-30%).

3. Сток весеннего половодья уменьшился в бассейне Оби на 10-30%, на реках Забайкалья на 5-15% и увеличился на притоках Тобола и Иртыша на 15-25%, в ряде притоков Лены на 19-20%.

В связи с вышесказанным, в рамках государственного контракта № 08/20 ИВЭП СО РАН «Исследование современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах Оби и Иртыша» выполнен анализ рядов наблюдений стока р. Оби в створе г. Барнаула на предмет подтверждения и уточнения установленных закономерностей.

Оценка репрезентативности выбранных рядов наблюдений определялась с помощью расчёта, построения и анализа сокращенной интегральной кривой стока. При наличии данных с 1921 по 2008 гг. репрезентативным рядом является ряд наблюдений с 1922 по 2006 гг., т.к. наличествует шесть полных циклов водности.

При делении ряда на две части учитывались два критерия: с одной стороны, соответствие

условию репрезентативности данных (критерий парности многоводных и маловодных фаз), с другой стороны – год, ближайший по времени к 1978 г. Этим критериям соответствует 1973 г.

Для целей подтверждения и уточнения установленных закономерностей при дальнейшем анализе ряда на однородность выполнялись расчеты для двух способов деления ряда: во временных точках «1973» и «1978» годы.

Оценка однородности выбранных рядов проводилась при помощи критериев Фишера и Стьюдента (таблица 1).

Таблица 1

Оценка однородности рядов наблюдений среднегодовых расходов р. Оби в створе г. Барнаула

Периоды	n	Qср	σ	Cv	Cs	Критерии			
						Фишера		Стьюдента	
						F	$\frac{0,05}{0,01}$	t	$\frac{0,05}{0,01}$
1 ряд: Полный период с 1921 по 2008 гг.									
1921-1977	57	1470,70	286,82	0,195	0,647	2,1023	>1,747	0,154	<2,988
1978-2008	31	1479,68	197,81	0,134	-0,062		<2,221		<2,634
2 ряд: Репрезентативный период с 1922 по 2006 гг.									
1922-1977	56	1471,61	289,33	0,197	0,632	2,299	>1,778	0,386	<1,989
1978-2006	29	1494,83	191,44	0,128	-0,029		>2,280		<2,582
3 ряд: Репрезентативный период с 1922 по 2006 гг. с репрезентативным делением рядов									
1922-1973	52	1476,92	294,51	0,199	0,633	2,295	>1,719	0,115	<1,989
1974-2006	33	1483,64	194,42	0,131	-0,129		>2,168		<2,636

1 ряд. Гипотеза о неоднородности дисперсий среднегодовых расходов может быть принята при уровне значимости 0,05.

2 ряд. Гипотеза о неоднородности дисперсий среднегодовых расходов может быть принята при уровне значимости 0,05 и 0,01. На стандартном и уверенном уровне значимости ряды не однородны.

3 ряд. Гипотеза о неоднородности дисперсий среднегодовых расходов может быть принята при уровне значимости 0,05 и 0,01. На стандартном и уверенном уровне значимости ряды не однородны.

Во всех трех случаях критерий Фишера подтверждает гипотезу о неоднородности рядов, поэтому оценку с помощью критерия Стьюдента далее не производят. Различия в многолетней изменчивости водных ресурсов реки Оби в створе г. Барнаула до (CV = 0,197) и после 1978 г. (CV = 0,128) составляют минус 35 %.

Анализ внутригодового распределения стока выполнен для периода с 1922 по 2006 гг. с репрезентативным делением рядов на границах 1973 г. и 1978 г. Установлено, что качественная картина изменения гидрографа одинакова для обеих границ. Внутригодовое распределение стока для деления по временной границе «1978 г.» приведено на рисунке 1, а гистограмма относительных изменений среднемесячных расходов – на рисунке 2.

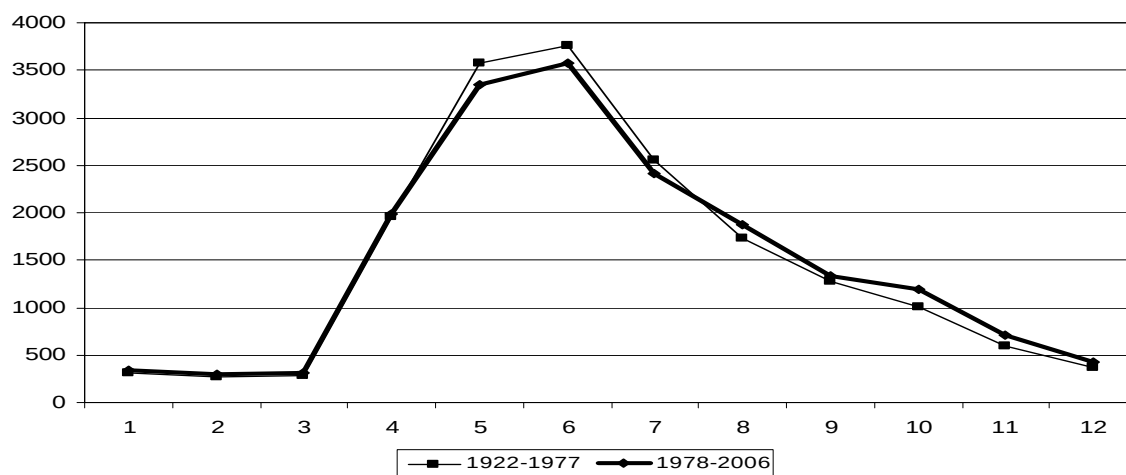


Рисунок 1 – Внутригодовое распределение стока р. Оби – г. Барнаул по среднемесячным значениям расходов ($\text{м}^3/\text{с}$) за два периода: до и после 1978 г.

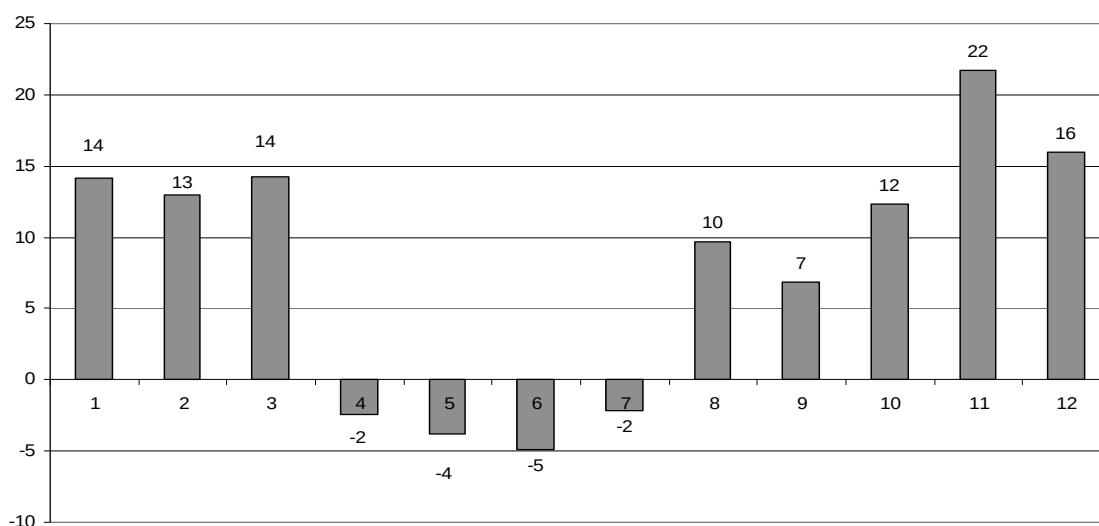


Рисунок 2 – Изменение среднемесячного стока р. Оби (г. Барнаул) за период с 1978 по 2006 гг. по отношению к среднемесячным значениям за период с 1922 по 1977 гг., %

Для дальнейшего более детального анализа использовались построенные тренды многолетних среднемесячных расходов.

Выводы.

1. За период с 1978 по 2006 гг. по сравнению с периодом до 1978 г. произошло увеличение водности р. Оби в створе г. Барнаула в августе-марте и уменьшение водности в апреле-июле. Максимальное увеличение среднемесячных расходов наблюдается в ноябре (22%). Пик весенне-летнего половодья уменьшился на 5 %.

2. Среднегодовое значение расхода за последний период увеличилось на 1,72%, в абсолютном выражении – на $25 \text{ м}^3/\text{с}$.

3. Анализ трендов изменения среднемесячных расходов р. Оби в створе г. Барнаула за период с 1922 по 2006 гг. дает следующую картину: практически постоянная водность для мая-июля; положительные незначимые тренды для августа-апреля; максимальный тренд увеличения водности характерен для ноября.

4. Установленный факт неоднородности рядов наблюдений среднегодовых и среднемесячных расходов р. Оби в створе г. Барнаула приводит к необходимости расчета эмпирических и аналитических кривых распределения гидрологических характеристик отдельно для каждой однородной совокупности и расчета общей кривой распределения вероятности в соответствии с пунктом 5.12 СП 33-101-2003 [2].

Литература

1. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И.А. Шикломанова. – СПб: Государственный гидрологический институт, 2009. – 600 с.
2. СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: свод правил по проектированию и строительству // ГОССТРОЙ России. – М., 2004. – Режим доступа: <http://libgost.ru/sp/>.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЯХ

Курбацкий А.Ф.г., Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирский государственный университет; Новосибирск, kurbat@nsu.ru

Курбатская Л.И., Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; Новосибирск, L.Kurbatskaya@ommgp.ssc.ru

THE EFFICIENCY OF VERTICAL TURBULENT MIXING IN STABLY STRATIFIED FLOWS

Kurbatskiy A.F., Khristianovich Institute of theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk State University; Novosibirsk, kurbat@nsu.ru

Kurbatskaya L.I., Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, ; L.Kurbatskaya@ommgp.ssc.ru

Спадающий тренд обратного турбулентного числа Прандтля Pr_t^{-1} и потоковое число Ричардсона R_f (также известное как эффективность перемешивания) как функции градиентного числа Ричардсона Ri_g воспроизведены в устойчиво стратифицированном пограничном слое с помощью улучшенной RANS модели турбулентности в согласии с данными измерений.

The decreasing trend of inverse turbulent Prandtl number Pr_t^{-1} and the flux Richardson number R_f (also known as the mixing efficiency) for the stably stratified boundary layer have been reproduced as the functions of the gradient Richardson number Ri_g with use of the improved RANS turbulent model in comparison the measurement data.

В условиях устойчивой стратификации турбулентность может генерироваться сдвигом и разрушаться под действием отрицательной плавучести и вязкости. Относительная важность разнонаправленных эффектов сдвига и стратификации может быть представлена безразмерным отношением, так называемым градиентным числом Ричардсона

$$Ri_g = N^2 / S^2, \quad (1)$$

где $N^2 = -g(\partial \rho / \partial z) / \rho_0$ - частота Брента-Вайселя, S - вертикальный сдвиг горизонтальной скорости, ρ - плотность жидкости, g - ускорение силы тяжести, ρ_0 - стандартное значение плотности и z - вертикальная координата. Градиентное число Ричардсона есть мера относительной интенсивности градиента плотности в устойчиво стратифицированных течениях. Основываясь на этом критерии, в ранних исследованиях полагалось, что турбулентность полностью затухает, если градиентное число Ричардсона превышает некоторое критическое значение Ri_{gc} ($0,25 < Ri_{gc} < 1$). Однако данные прямых измерений последних лет в атмосфере и водных средах ставят под сомнение эвристическую ценность числа Ri_{gc} , как критерия существования турбулентности устойчиво стратифицированных течений. Действительно, данные измерений обратной величины турбулентного числа Прандтля ($Pr_t^{-1} \equiv K_h / K_m$, где K_m и K_h - коэффициенты турбулентной вязкости и турбулентной теплопроводности, соответственно) показывают ясно выраженный тренд убывания Pr_t^{-1} с ростом градиентного числа Ричардсона, что свидетельствует о тур-

булентном перемешивании и при числах $Ri_g \gg 1$. Для равновесной турбулентности фундаментальное уравнение баланса кинетической энергии турбулентности (КЭТ) $E = \overline{u_i u_i} / 2$

$$K_m S^2 - K_h N^2 = e, \quad (2)$$

где e - диссипация энергии турбулентности, вводит в рассмотрение единственный физически корректный критерий существования турбулентности устойчиво стратифицированного течения - потоковое число Ричардсона, R_f , определяемое отношением

$$R_f = Ri_g Pr_t^{-1}. \quad (3)$$

Критическое потоковое число Ричардсона, R_{fc} , не может превосходить единицу ($R_{fc} \leq 1$). С увеличением стратификации, при возрастающем числе Прандтля Pr_t , число Ri_g также растет, достигая значений больших единицы, что и обеспечивает выполнение условия $R_f \leq R_{fc}$, вытекающего из уравнения баланса КЭТ (2). Так, например, данные измерений в устойчиво стратифицированном атмосферном течении [1] фиксируют максимальное значение числа $R_f \approx 0,5$.

Градиентное число Ричардсона широко используется для представления данных измерений устойчиво стратифицированных течений. Это связано с простотой измерения градиентов скорости и температуры по сравнению с измерениями турбулентного потока плавучести и порождения турбулентности сдвигом.

Принимая во внимание зависимость вертикального турбулентного переноса скаляра (температуры) от частоты Брента-Вайсяля N , установленную в [2], можно сформулировать анизотропные алгебраические параметризации коэффициентов турбулентного переноса импульса и скаляра для устойчиво стратифицированных течений, корректно учитывающие анизотропию и воздействие плавучести на вертикальный турбулентный перенос. При этом масштаб времени t_{pq} скалярного поля должен быть функцией частоты Брента-Вайсяля N с конкретной функциональной зависимостью вида

$$t_{pq} = \frac{t}{1 + a \cdot t^2 N^2}. \quad (4)$$

В (4) $\tau = E / \varepsilon$ - динамический масштаб турбулентности, $a = 0,04$ если $N^2 > 0$, и $a = 0$, если $N^2 \leq 0$. Физический аргумент в пользу демпфирующего фактора в знаменателе (4) может основываться на том, что в устойчиво стратифицированных течениях вихри совершают работу против сил плавучести и теряют кинетическую энергию, которая переходит в потенциальную энергию. Выражение (4) предположительно учитывает воздействие внутренних волн на вертикальный перенос импульса в сильно устойчивых условиях стратифицированного течения жидкости (внутренние гравитационные волны могут переносить импульс, но не тепло [3]).

Выражения для турбулентных потоков импульса и тепла имеют вид:

$$(\langle uw \rangle, \langle vw \rangle) = -K_m \left(\frac{\partial U}{\partial z}, \frac{\partial V}{\partial z} \right), \quad (5)$$

$$\langle wq \rangle = -K_h \frac{\partial \Theta}{\partial z} + g_c, \quad (6)$$

$$K_m = Et S_m, \quad K_h = Et S_h, \quad (7)$$

где ‘функции устойчивости’ S_m и S_h являются функциями только безразмерного градиента температуры: $S_m = S_m(G_h)$, $S_h = S_h(G_h)$, $G_h = (\tau N^2)$. (Подробности вывода анизотропных выражений для турбулентных потоков импульса и скаляра (5)–(7) можно найти в [3]).

Зависимость $Pr_t^{-1} - Ri_g$, вычисленная в работе [3] для квазиустановившегося состояния устойчиво стратифицированного арктического пограничного слоя с использованием (4)–(7), показана на рис. 1 вместе с данными измерений в атмосфере [1] и в устойчиво стратифицированном свободном сдвиговом слое течения жидкости [4] для сравнения. Рис. 1 показывает, что без учета эффекта внутренних гравитационных волн на вертикальный турбулентный перенос согласно (4), турбулентное число Прандтля остается практически постоянным с ростом термической устойчивости течения (штриховая линия).

На рис. 2 сплошными линиями нанесены зависимости $R_f - Ri_g$, вычисленная в устойчиво стратифицированном пограничном слое с помощью трехпараметрической RANS-модели турбулентности [3] и анизотропных выражений для турбулентных потоков импульса и тепла (4) – (7). Кроме трех наборов данных натурных измерений в атмосферном пограничном слое (VTMX и TA-6) и в стратифицированном сдвиговом слое жидкости [5], на рис. 2 представлены также упрощенные параметризации [6, 7]. Модель [3] с включением эффекта внутренних гравитационных волн на вертикальный перенос импульса воспроизводит режим возрастания потокового числа Ричардсона R_f с увеличением градиентного числа Ричардсона. В режиме перехода пограничного слоя к устойчивому состоянию фиксируется немонотонное поведение R_f (на рис.2, линия, соответствующая 18 часам вечера). Однако, начиная с полуночи (24:00), ‘эффективность перемешивания’ стремится к значению, $R_f \approx 0,35$. Немонотонная зависимость $R_f - Ri_g$ в условиях сильной стратификации ($Ri_g > 1$) зафиксирована, например, при DNS моделировании турбулентного струйного течения в тропопаузе в [8, фиг. 4a].

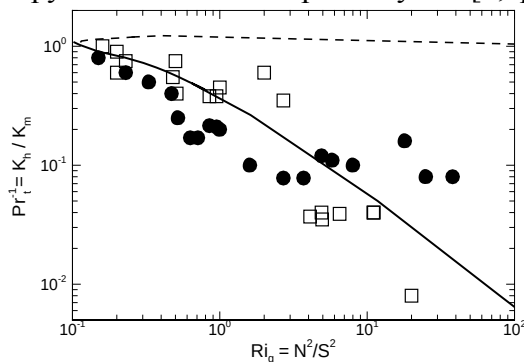


Рисунок 1. Обратное турбулентное число Прандтля $Pr_t^{-1} = K_h / K_m$ как функция $Ri_g = N^2 / ((\partial U / \partial z)^2 + (\partial V / \partial z)^2)$. Сплошная линия – вычисление по улучшенной трехпараметрической модели турбулентности с включением эффекта внутренних гравитационных волн. Штрихпунктирная линия – вычисление без учета эффекта внутренних волн. Символами показаны данные измерений: ● – [1], □ – [4]. Вычисления соответствуют сильно устойчивому ночному атмосферному пограничному слою.

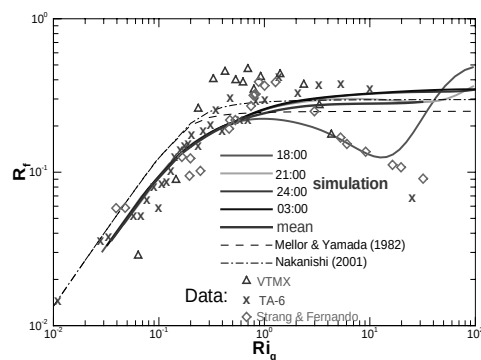


Рис. 2. Эффективность перемешивания (R_f) как функция градиентного числа Ричардсона (Ri_g). Данные измерений: Δ – VTMX; x – TA-6; ◇ – [4]. Сплошные линии – результаты, полученные по улучшенной трехпараметрической модели турбулентности с включением эффекта внутренних гравитационных волн при моделировании суточной эволюции атмосферного пограничного слоя. Штриховая линия – параметризация [6], штрихпунктирная линия – параметризация [7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 09-05-00004a) и Интеграционного проекта №23 Сибирского Отделения РАН.

Литература

1. Monti P, Fernando H.J.S, Princevac M, Chan W.C, Kowalewski T.A, Pardyjak E.R. Observations of flow and turbulence in the nocturnal boundary layer over a slope // *Journal of Atmospheric Sciences*. 2002. V. 59. No. 17. P. 2513-2534.
2. Weinstock J. A theory turbulence transport // *Journal of Fluid Mechanics*. 1989. V. 202. P. 319-338.
3. А.Ф. Курбацкий, Л.И. Курбацкая. О турбулентном числе Прандтля в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2010. Т. 46, №2. С. 40-49.
4. Strang E.J, Fernando H.J.S. Vertical mixing and transport through a stratified shear layer // *Journal of Physical Oceanography*. 2001. V. 31. P. 2006-2048.
5. E. R. Pardyjak, P. Monti and H. J. S. Fernando. Flux Richardson number measurements in stable atmospheric shear flows // *J. Fluid Mech*. 2002. V. 459. P. 307-316.
6. Mellor G.L. & Yamada T. Development of a turbulent closure model for geophysical fluid problems // *Rev. Geophysical. Space Phys*. 1982. V. 20. P. 851-875.
7. Nakanishi M. Improvement of the Mellor-Yamada turbulence closure model based on large-eddy simulation data // *Boundary-Layer Met*. 2001. V. 99. 349-378.
8. Mahalov A., Nicolaenko B., Tse K.L., Joseph B. Eddy mixing in jet-stream turbulence under stronger stratification // *Geophys. Res. Lett*. 2004. V. 31: L23111.

КАЛИБРОВКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕКИ МЕТОДОМ МНОГОМЕРНОГО ПОИСКА ФИБОНАЧЧИ

Левит-Гуревич Л.К.

Институт Водных Проблем РАН, г. Москва, Lev-Gur@Yandex.ru

CALIBRATION OF HYDRAULIC MODEL OF THE RIVER BY MULTIDIMENSIONAL FIBONACCI SEARCH

Levit-Gurevich L.K. the senior scientific researcher

Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow,

Калибровка коэффициентов шероховатости для модели гидравлических расчетов по реке формализуется в виде задачи минимизации квадратичной функции, которая вычисляется по программе гидравлических расчетов. Эти вычисления трудоемки, поэтому ставится проблема минимума вычислительных экспериментов. Использован метод многомерного поиска Фибоначчи.

The choice of a roughness factors at construction of the river hydraulic model is formalized in the form of minimization of the square-law function calculated under hydraulic computations program. Such computations are rather laborious, the minimization problem of these computing experiments therefore is put. The method of multidimensional Fibonacci search is used for this purpose.

Проблема. При подготовке компьютерной гидравлической модели реки для расчетов установившегося и неуставившегося движения воды в базу данных используемого программного комплекса вводятся геометрия реки и пойм, поперечные сечения, коэффициенты шероховатости, граничные и начальные условия по уровням и расходам, ряд других данных, позволяющих затем применять модель для прогнозных и оперативных расчетов. Прекрасно показали себя программные комплексы расчетов гидравлики естественных русел рек: MIKE (датского института гидравлических исследований), SOBEK (голландская программа), HEC-RAS (американские военные инженеры) и др. Широкие возможности программ выгодны при постоянной эксплуатации гидравлической модели реки, но сама ее подготовка достаточно трудоемка. Значительная доля сложной подготовки модели состоит в оценке, выборе и вводе в модель коэффициентов шероховатости (по Маннингу или Н.Н. Павловскому). При этом процедура должна повторяться через несколько лет, поскольку меняются условия на реке: появляются новые гидротехнические сооружения, происходят изменения в русле и на пойме. Постоянно действующая гидравлическая модель должна отслеживать все эти изменения. Это и предусмотрено процедурой *калибровки* модели, основное по трудоемкости содержание которой заключается в определении и фиксации коэффициентов шероховатости.

Анализ литературы по гидравлическим моделям рек показал, что несмотря на указание в необходимости проведения калибровки гидравлических моделей, определение некоторых условий и требований [2], формализация процесса калибровке не описана, а многочисленные примеры подготовки конкретных гидравлических моделей не проясняют дела. Калибровке гидравлических моделей посвящена глава в [3], где рассматривается калибровка модулей расхода по поперечным сечениям реки, т.е. в комплексе коэффициента шероховатости и площади сечения. Даны ценные практические приемы калибровки для разных условий потока, однако авторы не рассматривают

проблему в виде общей расчетной модели, позволяющей единообразно подходить к калибровке гидравлических моделей в целом. Существуют расчетные модули разных программных комплексов, по которым по створам можно определить коэффициенты шероховатости, зная фактические уровни (обратная задача гидравлики). Но это не заменяет строгого описания метода калибровки. Существуют сложные моменты расчетов, поскольку реальных наблюдений уровней по всем расчетным створам нет и не каждое наблюдение можно использовать. С другой стороны, таких наблюдений бывает излишне много на отдельных створах. Представляется, что исследований в области калибровки мало, поскольку, во-первых, это разовая и не основная работа в отношении к самим гидравлическим расчетам и, во-вторых, формализация калибровки основывается на непростой математической проблеме. Нам удалось продвинуться в решении этой проблемы и применить её для задачи калибровки. Калибровка коэффициентов шероховатости проводится не часто, но качество её значительно влияет на адекватность и успех гидравлических расчетов.

Постановка задачи. Дан участок реки (разветвленный или нет), по длине его указаны створы гидравлических расчетов (с номером i) на расстояниях $L_{i,i+1}$ друг от друга. По ним определены профили русла, левой и правой пойм, для которых ищутся коэффициенты шероховатости n_i^c, n_i^l, n_i^r . Часть створов – это створы j , по которым есть наблюдения фактических уровней Z_j^{fact} при определенных расходах Q_i в створах в определенные моменты времени – посты наблюдений. Обозначим процедурой $Z_i = H(Q_i)$ вычисление уровней при заданных расходах на створах i . Она представляет собой гидравлический расчет с помощью используемого программного комплекса на основе калибруемой модели участка реки. Калибровку следует проводить по расчету установившегося движения воды, чтобы исключить влияние динамических изменений уровней. Калибровка при неустановившемся движении воды также, но намного более трудоемка. На реке по данным наблюдений выявляется ряд интервалов времени с установившимся, примерно, движением таким образом, чтобы совокупность гидравлических режимов охватывала широкий диапазон расходов.

Задача состоит в подборе коэффициентов шероховатостей с минимумом суммы отклонений рассчитанных и фактических уровней постов наблюдений:

$$F = \sum_j (Z_j^{fact} - Z_j)^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

при определенных условиях распространения коэффициентов шероховатости, принимаемых для створов – постов наблюдений, на все промежуточные створы.

На створах между двумя постами наблюдений коэффициенты шероховатости можно принимать постоянными, равными шероховатости на нижнем или верхнем посту, или меняющимися по принятому закону (например, линейно) в зависимости от расстояний от створов до створов-постов. На отдельных створах коэффициенты шероховатости могут быть фиксированы. Указанные условия распространения коэффициентов шероховатости по участку реки должны отражать все необходимые нюансы и особенности гидравлики реки. В модели калибровки (1) ставится условие минимума, так как в принципе достичь строгих равенств $Z_j^{fact} = H(Q_i)$ нельзя: описание шероховатости ограниченным набором коэффициентов не гарантирует полного соответствия наблюдениям, - важно обеспечить приемлемую точность расчетов при эксплуатации модели.

Метод решения поставленной задачи основан на прямых методах оптимизации, они оперируют результатами самих гидравлических расчетов H . Функционал F определяется по серии расчетов. Пусть совокупность всех необходимых гидравлических расчетов H есть оператор R . Поскольку оператор R весьма трудоемок, важнейшее условие при решении задачи (1) состоит в минимизации числа обращений к нему. Прямые методы оптимизации с минимизацией числа

вычислительных экспериментов относятся к классу методов поиска оптимума Фибоначчи. Поиск Фибоначчи давно исследован для одномерного случая [5], для многомерных задач предлагаются другие методы, иногда в сочетании с поиском Фибоначчи на линейных отрезках.

Одномерная оптимизация унимодальной функции на отрезке проводится итерациями. На каждой из них точками эксперимента отрезок делится на два перекрывающиеся подотрезка, часть одного из них, где расположение искомой точки оптимума функции F невозможно, отбрасывается. На оставшемся подотрезке используется один предыдущий эксперимент и добавляется новый. Минимум экспериментов достигается, если их точки располагаются так, что делят отрезок на подотрезки в соответствии с числами Фибоначчи (используется отношение «золотого сечения», $\tau \approx 0.618$ [5]).

Сложность перехода от одномерной оптимизации к многомерной заключается в невозможности обеспечить таким же простым способом, как при одномерном поиске, отделимость части многомерного пространства на ряд подчастей с доказательством невозможности расположения искомого оптимума унимодальной функции в пределах отбрасываемых подчастей. В одномерном ($m=1$) случае точки эксперимента являются также границами подотрезков, при этом последовательность отношений длин подотрезков составляет возвратную последовательность Фибоначчи [4], на чем основана минимизация числа экспериментов. При многомерном ($m>1$) поиске это не так, последовательность отношений m -мерных объемов подчастей при минимизации экспериментов иная, зависит от конфигурации сужаемой m -мерной (Фибоначчи – частный случай). Кроме того, в m -мерном случае нельзя доказать отсутствие точки оптимума в пределах выделяемых неперспективных подчастей, основываясь только на свойстве унимодальности функции, поэтому не все неперспективные области сразу отбрасываются. В одномерном случае неперспективные и отбрасываемые подотрезки совпадают, в m -мерном случае – нет. В m -мерном объеме части выделяемых неперспективных подобластей отбрасываются по мере накопления экспериментов. Дополнительные свойства функции дают возможность быстрее отбрасывать эти части неперспективных подобластей.

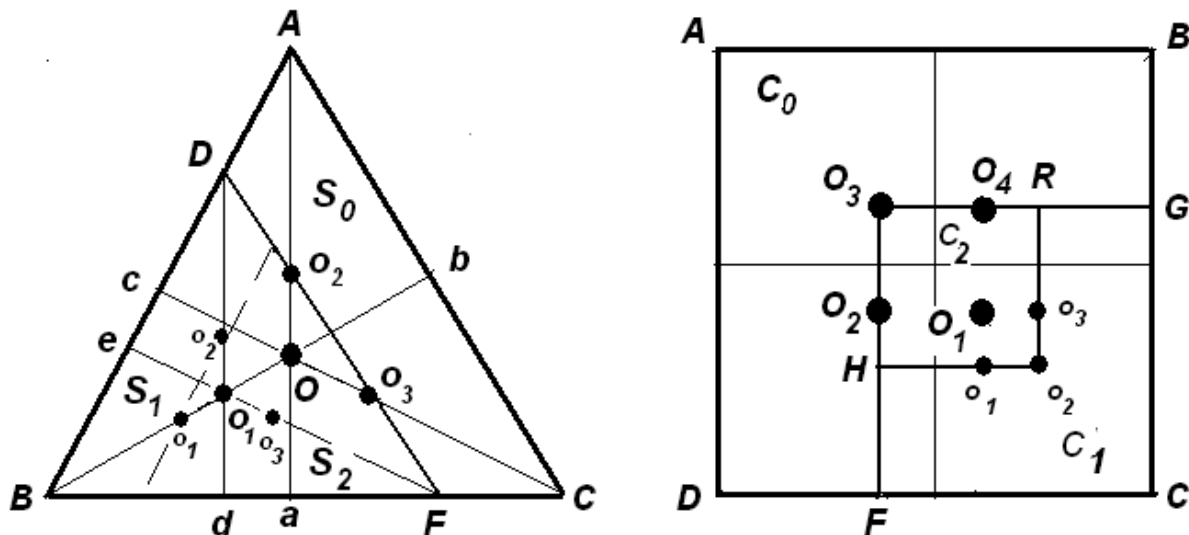


Рис. 1. Схемы поиска оптимума двухмерной унимодальной функции: сужение симплексов $S_0 \supset S_1 \supset S_2$, сужение кубов $C_0 \supset C_1 \supset C_2$, точки O, o – эксперименты.

Таким образом, картина сужения области поиска оптимума в одномерном и многомерном случаях различна при общих идеях минимизации числа экспериментов. На рис.1 показаны варианты поиска 2-мерного оптимума и расположения экспериментов (O, o), начиная с фигур, заведомо содержащих оптимум. Слева – вариант сужения системы многомерных симплексов, справа – вариант сужения системы многомерных кубов. В краткой статье практической направленности подробно разбирать алгоритмы и доказательства излишне.

В задаче калибровки коэффициентов шероховатости унимодальность F следует из монотонности изменения уровней Z_j в результате гидравлического расчета при монотонном изменении каждого коэффициента шероховатости n_j , $j=1,2,\dots$; существует лишь один экстремум на каждой координатной оси n_j , также при линейных зависимостях изменения n_j . Другим свойством является квазивыпуклость $F(N)$, где $N = \{n_j\}$ – множество принятых коэффициентов шероховатости: для любого F^* множество N выпукло при $F(N) \leq F^*$.

Компьютерная программа, разработанная по методам многомерной оптимизации, позволяет рассчитывать координаты экспериментов по заданной схеме расчетов. Начальной информацией являются крайние значения $n_j^{\min}, n_j^{\max}$, $j=1,2,\dots$ коэффициентов шероховатости, при которых результаты гидравлических расчетов заведомо неприемлемы. Программа выдает наборы коэффициентов, для которых рекомендуется провести гидравлический расчет. После серии экспериментов вводятся дополнительные данные: результаты расчетов, т.е. значения функции F . Программа предлагает новые наборы коэффициентов для следующей серии экспериментов. Все точки проведенных экспериментов с их результатами хранятся в памяти, что является материалом для выстраивания стратегии многомерного поиска. Развитие программы позволит использовать её как инструмент многомерной оптимизации в широком плане.

Практические расчеты калибровки коэффициентов шероховатости использовали схему сужения многомерных кубов с помощью указанной выше программы. Калибровка проводилась для участков реки Енисей ниже Саяно-Шушенской ГЭС до створа плотины Майнского водохранилища и от нижнего бьефа водохранилища до створа села Селиванихи выклинивания Красноярского водохранилища. Длина участков равняется 21,4 и 134,9 км. На первом участке намечено 11 створов, второй участок включает 29 створов, при этом постов наблюдений за уровнями и расходами на верхнем участке два – нижний бьеф Саяно-Шушенской ГЭС и Майнский гидроузел, на нижнем участке – четыре: нижний бьеф Майнской ГЭС, д. Никитино, с. Подсинее, створ Селиванихи. На верхнем участке выделены четыре коэффициента шероховатости как искомые переменные задачи на постах наблюдений для русла и для поймы, на промежуточных створах коэффициенты определялись линейной интерполяцией по расстояниям от постов наблюдений. В табл.1 показана часть результатов по некоторым вычислительным экспериментам сходящейся серии результатов. Даны два варианта гидравлических расчетов для расхода $Q=765$ м³/с с уровнем нижнего бьефа Саяно-Шушенской ГЭС $Z_{\text{факт}}=323,06$ м. и расхода $Q=3767$ м³/с, фактический уровень $Z_{\text{факт}}=325,57$ м. Минимизация суммы квадратов невязок.

На нижнем участке рассматривались по три коэффициента шероховатости на подучастках между постами наблюдений: для русла, левой и правой пойм. Расчеты на нижнем участке велись последовательно от нижнего до верхнего подучастка. Для определения коэффициентов шероховатости на подучастках осуществлялись вычислительные эксперименты: от 15 до 25 и более серий расчетов для каждого подучастка.

Анализ гидравлических вычислений участка Саяно-Шушенская – Майнская ГЭС

Даны: шероховатость n по створам:	Вариант 26		Вариант 27		Вариант 28	
	Русло	Пойма	Русло	Пойма	Русло	Пойма
Майнский створ	0,029	0,0415	0,02925	0,042	0,03	0,042
Саяно-Шушенский створ	0,024	0,029	0,02425	0,02925	0,025	0,03
$Z_{расч.}$, невязка ($Z_{расч}-Z_{факт}$)	322,78	-0,28	322,79	-0,27	322,82	-0,24
$Z_{расч.}$, невязка ($Z_{расч}-Z_{факт}$)	325,55	-0,02	325,58	0,01	325,68	0,11
Сумма квадратов невязок		0,0788		0,073		0,0697

Литература

1. Воробьев Н.Н. «Числа Фибоначчи». – М.: Наука, 1978. – 144с.
2. Грушевский М.С. «Неустановившееся движение воды в реках и каналах». – Л.: Гидрометеиздат, 1982. 288с
3. Кюнж Ж.А. Холли Ф.М., Вервей А. «Численные методы в задачах речной гидравлики. Практическое применение» - М.: Энергоатомиздат, 1985, 256с.
4. Маркушевич А.И. «Возвратные последовательности» - М.: Наука, 1950, 52 с.
5. Уайльд Д.Дж. «Методы поиска экстремума». - М.: Наука, 1967, 268 с.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ ПЛАНКТОНА КАК УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРЕДСТАВИТЕЛЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА ГИДРОСФЕРЫ

Леонова Г.А., Бобров В.А., Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, leonova @uiggm.nsc.ru)

GEOCHEMICAL ROLE OF PLANKTON AS UNIVERSAL REPRESENTATIVE OF LIVING SUBSTANCE OF HYDROSPHERE

Leonova G.A., Bobrov V.A., Sobolev Institute of Geology and Mineralogy
SB RAS, Novosibirsk, leonova @uiggm.nsc.ru

Впервые для континентального планктона водоемов Сибири выявлены общие закономерности концентрирования химических элементов на основе рассчитанных коэффициентов биологического накопления (относительно химического состава воды) и коэффициентов обогащения (относительно кларков глинистых сланцев). Проведены количественные расчеты планктонного и терригенного вкладов химических элементов в органическое вещество донных осадков малых бессточных озер.

For the first time, the general regularities of element concentration for the continental plankton of the Siberian reservoirs were determined on the basis of the bioconcentration factors and enrichment factors. The planktonic and terrigenous contribution of elements into the organic matter of the bottom sediments of the undrained lakes was calculated.

Великий натуралист и мыслитель В.И. Вернадский, пытаясь понять суть мира в целом, в 20-х годах прошлого века вводит понятие «живого вещества» как постоянно существующей планетарной совокупности организмов и рассматривает его как особую форму материи (Вернадский, 1923, 1926). Понятие это синтетическое, напоминающее такие понятия, как «средняя осадочная порода» или «средний состав литосферы» (Биогеохимия океана, 1983). За средний химический состав всего живого вещества Земли В.И. Вернадским (1940) и А.П. Виноградовым (1967) условно принят средний элементарный состав растительности суши.

Какое же место в понятии «живое вещество» В.И. Вернадский отводит планктону? Он определяет планктон Мирового океана как один из самых грандиозных биоценозов нашей планеты (Вернадский, 1923). Действительно, если учесть, что воды Мирового океана занимают две трети поверхности планеты, и водная толща до глубины около 500 м заселена планктонными организмами, становится вполне очевидным космополитический характер его распространенности и его биогеохимическая роль в общем обмене веществ в океане. Согласно биофильтрационной или биоседиментационной концепции «живого океана», предложенной академиком А.П. Лисицыным (1964, 2004), именно биогеохимические процессы с участием планктона контролируют формирование солевого состава океанической воды, потоки осадочного вещества в водной толще и абсолютные массы донных осадков. Фитопланктон – основной продуцент органического вещества в океане переводит из водной среды ряд макро- и микроэлементов в биогенную взвесь, которая, в свою очередь, служит пищей фильтрующим организмам зоопланктона. Питание зоопланктона по типу «безвыборочной» фильтрации воды приводит к удалению из водной толщи как биогенной, так и минеральной взвеси, что имеет большое значение для геохимии и биоседиментации большой группы микроэлементов. Органическое вещество отмершего планктона (детрит) благодаря значительным глубинам в океане, почти полностью минерализуется на пути к донному осадку,

и биогенные элементы, возвращаясь в воду, вновь включаются в биогеохимические циклы. В отличие от морей и океанов в континентальных водоемах, и, в частности, малых бессточных озерах, органическое вещество планктонного детрита по мере погружения на дно разрушается не полностью, что способствует при определенных условиях образованию метровых залежей озерных органогенных отложений – сапропелей (Кордэ, 1960).

Универсальное свойство живого вещества – постоянный и непрерывный обмен химическими элементами с окружающей средой – отражено в одной из его важнейших биогеохимических функций, названной Вернадским В.И. (1960) концентрационной. Концентрирование химических элементов живым планктоном мы оценивали с помощью *коэффициентов биологического накопления* K_b как отношение концентрации элемента в сырой массе планктона к его концентрации в воде. K_b -коэффициенты рассчитывали исключительно на органическое вещество планктона путем вычета доли терригенной компоненты каждого химического элемента из общей зольности планктонных проб.

Получены данные по коэффициентам биологического накопления химических элементов для зоопланктона крупных водохранилищ Сибири – Иркутского, Братского, Новосибирского, некоторых озер и Белого моря. По степени накопления в живом веществе планктона все рассматриваемые элементы ранжированы на следующие группы:

- 1) Сильно накапливающиеся элементы ($\lg K_b = 5-4$): это, в первую очередь, Р и Мп.
- 2) Значительно накапливающиеся элементы ($\lg K_b = 4-3$): халькофильные элементы (Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Sb, As) и металлы группы железа (Fe, Mn, Cr, Ni, Co).
- 3) Относительно слабо накапливающиеся элементы ($\lg K_b = 3-2$): щелочные и щелочно-земельные элементы (Cs, Rb, K, Na, Mg, Ca, Ba, Sr).

Выявлена общая закономерность снижения $\lg$ коэффициентов биологического накопления для элементов с относительно повышенной подвижностью. Поглощение щелочных и щелочно-земельных элементов с атомными номерами 37-56 (Rb, Cs, Sr, Ba) на порядок выше, чем элементов этих же групп с атомными номерами 11-20 (Na, K, Mg, Ca), т.е. планктон более интенсивно накапливает тяжелые по атомному номеру, но менее распространенные химические элементы по сравнению с более легкими. Наиболее контрастно это проявляется при накоплении ультранизких концентраций элементов с атомными номерами > 47 , т.е. халькофильных. Эту группу элементов планктон активно концентрирует не только в локальных участках водоемов, подверженных антропогенному и техногенному воздействию, но и в более широком региональном (глобальном) масштабе, прежде всего за счет загрязнения современной атмосферы этой группой элементов (Гавшин и др., 2003; Бобров, 2007).

Концентрационная функция планктона как живого объекта, отличающего его от донных осадков, была оценена нами с помощью коэффициентов обогащения (EF) путем нормирования химического состава планктона и осадков на содержание опорного элемента, нейтрального к биохимическим процессам – скандия. Были рассчитаны коэффициенты обогащения для планктона водоемов с разной соленостью воды: пресноводных озер и водохранилищ, эстуария р. Онеги в зоне маргинального фильтра, Белого моря, соленых озер Алтайского края. В целом, значения EF-коэффициентов пресноводного и галофильного планктона в фоновых водоемах для большинства элементов варьируют от первых единиц до 100, в водоемах же, подверженных техногенному воздействию, EF-коэффициенты для элементов-загрязнителей существенно выше.

На основе сравнительного анализа EF-коэффициентов выявлены общие закономерности обогащения континентального и морского планктона относительно кларков глинистых сланцев (Li, 1991): – диапазон вариации коэффициентов обогащения планктона химическими элементами выдерживается в пределах одного порядка, за исключением Na, Br и I, которыми в большей степени обогащен морской планктон. Второе место по значениям коэффициентов-EF занимают халькофильные элементы, третье – щелочные и щелочно-земельные элементы, т.е. главные катионы

солевого состава воды. Элементы-гидролизаты (редкоземельные, редкие) не накапливаются планктоном, их ЕF-коэффициенты близки к 1. Таким образом, нормирование химического состава планктона по Sc выявило устойчивый (универсальный) спектр химических элементов, которыми обогащен как континентальный, так эстуарный и морской планктон. В наибольшей степени планктон концентрирует биофильные элементы (P, Mn, Fe, Co, Mo, K) и халькофильные (Hg, Cd, Pb, Cu, As, Zn, Sb), что обусловлено биодоступными формами их нахождения.

Проведено сравнение среднего состава пресноводного планктона опробованных водоемов Сибири и Белого моря с кларками литосферы по (Ронов и др., 1990). Содержания химических элементов в континентальном и морском планктоне изменяются в пределах 6-7 порядков и уступают кларковым значениям в литосфере, не более, чем на 1-2 порядка (рис.1).



Рис. 1. Средние концентрации химических элементов в пресноводном планктоне водоемов Сибири, планктоне Белого моря и кларки литосферы по (Ронов и др., 1990)

Величина зольности сухого вещества планктона и сапропеля позволила нам произвести количественную оценку прямого вклада микроэлементов через «планктонный канал» в озерный осадок, приняв за основу «модель прямого унаследования» по (Юдович, Кетрис, 1990), согласно которой планктоногенное органическое вещество с первоначальными содержаниями микроэлементов непосредственно поступает в осадок (наследуется им). Такой подход вполне применим к условиям мелководных континентальных озер, где планктонный детрит достигает дна за короткое время, не успевая существенно изменить свой микроэлементный состав. Проведены расчеты планктонной поставки микроэлементов в сапропели двух озер, различающихся химическим составом вод и значениями pH. Воды оз. Кирек (Томская область, 56° 10' 93" с.ш., 84° 22' 94" в.д.) согласно классификации О.А. Алекина (1948), относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, pH – 8.2. Воды термокарстового ультрапресного оз. Очки (Байкальский биосферный заповедник, 51° 29' 56" с.ш., 104° 52' 78" в.д.) – к сульфатному классу, группе кальция, pH – 5.5.

По нашим расчетам высокие значения планктонного вклада микроэлементов в сапропель оз. Кирек имеют только Р и Вг (95 – 83%), для Zn – 54%, Pb – 38%, Sr, Ca, Cr, Cd – 30-22%, K, Mg, Ba – 1-16%. Низкий уровень планктонной поставки (не более 5 %) установлен для As, Mo, Mn, Co, Ni, Ti.

Формирование микроэлементного состава сапропеля оз. Очки определяется очень низкой минерализацией (~ 4мг/л) и рН (5,4) озерной воды, что обуславливает слабую эффективность планктонной поставки химических элементов. Об этом свидетельствует анализ EF-коэффициентов зоопланктона и верхнего горизонта сапропеля оз. Очки – отсутствует обогащенность сапропеля элементами, которыми в значительной степени обогащен планктон. Отмечаются относительно высокие биогенные вклады лишь для Hg (130%), Cd (58%), Br (43%) и Se (30%).

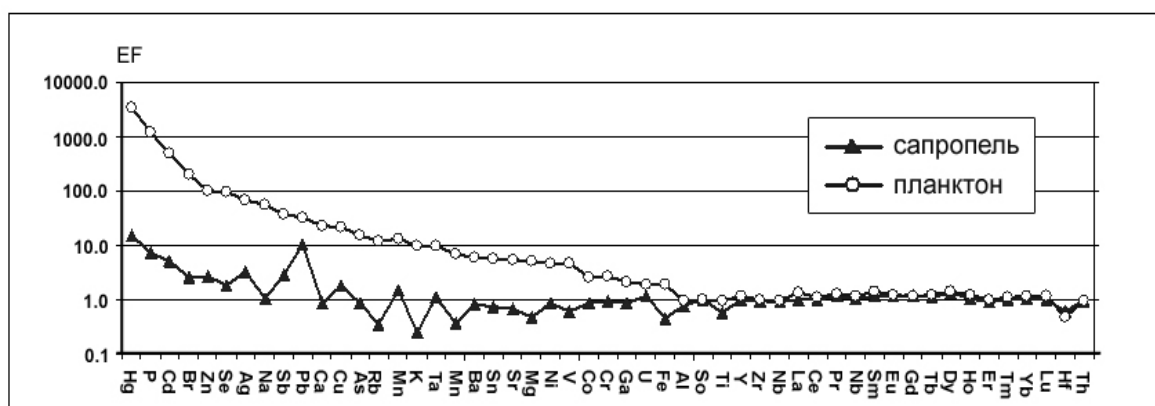


Рис. 2. Ранжирование химических элементов по значениям коэффициентов обогащения (EF) в зоопланктоне и сапропеле оз. Очки, нормирование проведено по Sc и кларкам глинистых сланцев

Таким образом, рассмотренный материал позволяет оценить значимость концентрационной функции планктона как фактора сингенетического обогащения современных озерных сапропелей микроэлементами и, в первую очередь, биогенным фосфором, а также группой халькофильных элементов. Выявлены два механизма планктонной поставки микроэлементов в органическое вещество осадков: 1) механизм «прямого унаследования» характерен для озер с обычным гидрокарбонатным классом вод и слабощелочным рН; 2) «механизм выщелачивания» – для озер с термальными водами сульфатного класса и кислым рН.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-05-00392).

К АНАЛИЗУ СТАТИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ

А.П. Лепихин, ГИ УрО РАН, г.Пермь, lepihin49@mail.ru

ABOUT THE ANALYSIS OF STATISTICAL DISTRIBUTION FUNCTIONS OF CHEMICAL INDICATORS OF WATER QUALITY

*A.P. Lepikhin, Mining Institute Ural Branch Russian
Academy of Sciences, Perm city, lepihin49@mail.ru*

На основе обработки материалов длительных гидрохимических наблюдений в створах показано, что распределение большинства гидрохимических показателей качества воды не описывается нормальным законом. Проведенный анализ формирования статистических функций распределения рассматриваемых показателей показал, что данные распределения характеризуются значительной асимметрией и «тяжелыми хвостами».

Based on the materials processing long hydrochemical observations in the cross-sections shows that the distribution of most hydrochemical indices of water quality can not be described by the normal law. The analysis of the formation of statistical distribution functions of these indicators showed that the data distribution should be characterized by significant asymmetry.

Принципиальное значение при решении широкого круга водохозяйственных задач имеет некорректность описания оценки гидрохимических показателей качества. Эта задача приобрела особую актуальность в связи с введением концепции НДВ, основанной в значительной мере на анализе естественного «фоновое» содержания рассматриваемых ингредиентов в воде водных объектов.

В достаточно общем случае описание изменения гидрохимических показателей в водных объектах может проводиться только на уровне характеристических функционалов.

Однако такой подход требует не только очень большого объема дополнительной информации, но и использование очень сложного математического аппарата. При решении практических задач рассматривается значительно более упрощенная постановка.

Контроль производится по отдельным точкам водного объекта, расположенных в фоновом и контрольном створах. Если при этом не учитывать нестационарное поступление загрязняющих веществ в водный объект и статистическую связь между отдельными ингредиентами, то задача сводится к эффективному заданию функций распределения для отдельных поллютантов.

В основе современной технологии статистического анализа гидрохимической информации, как правило, лежат параметрические методы, основанные на априорном допущении, что статистические распределения химических веществ в водных объектах описываются нормальным законом распределения. К сожалению, как показал опыт статистического анализа гидрохимической информации, большинство химических показателей качества воды, за исключением чаще всего, кислорода и кремния, имеют распределения, существенно отличающиеся от нормального.

В качестве примера в таблице представлены результаты статистической обработки материалов ежемесячных гидрохимических наблюдений за период 1974-2008 гг. по створам на р. Кама (верхняя часть Камского водохранилища), расположенных как вне зоны активного техногенеза (п. Тюлькино), так и в зоне активного техногенеза (г. Березники, створ ниже города).

Характерные значения показателей химического состава качества воды по створам Соликамско-Березниковского промузла

характеристика / элемент	магний	хлориды	аммоний-ион	нитриты	ХПК	железо	медь	цинк	кислород	марганец	фенолы	нефте-продукты	фосфаты	кремний
Фоновый створ пгт. Тюлькино														
среднее значение ($\bar{X}$)	4,69	13,0	0,22	0,002	24,65	1,07	0,003	0,03	8,68	0,13	0,004	0,27	0,02	2,49
медианное значение ($\hat{X}$)	4,60	9,85	0,19	0,002	24,5	0,97	0,002	0,01	8,82	0,10	0,002	0,06	0,01	2,6
среднеквадратическое отклонение (δ)	1,97	11,2	0,17	0,004	7,73	0,53	0,002	0,22	1,6-	0,09	0,01	0,83	0,06	0,56
коэфф. асимметрии (C_s)	1,53	7,00	27,4	15,7	1	3,96	10,7	91,2	--2	6,86	17,8	44,2	40,0	0,31
ошибка (δ_{C_s})														
параметр Шапиро-Уилка, W	0,98	0,86	0,70	0,64	0,95	0,96	0,83	0,08	-0,97	0,87	0,70	0,30	0,24	0,95
Контрольный створ ниже г. Березники														
среднее значение ($\bar{X}$)	6,70	99,5	0,46	7,49	36,38	6,20	1,03	0,01	8,51	11,2	0,008	4,00	8,06	2,58
медианное значение ($\hat{X}$)	6,10	76,3	0,29	0,02	33,15	0,87	0,00	0,01	8,48	0,12	0,003	0,05	0,01	2,45
среднеквадратическое отклонение (δ)	6,28	82,4	0,46	46,0	16,68	18,1	8,41	0,04	2,57	28,8	0,01	19,5	28,9	0,81
коэфф. асимметрии (C_s)	31,87	9,22	25,6	56,6	12,5	26,81	81,0	109	0,52	14,36	20,2	35,5	16,3	1,8
ошибка (δ_{C_s})														
параметр Шапиро-Уилка, W	0,20	0,88	0,71	0,15	0,846	0,35	0,10	0,13	0,99	0,43	0,69	0,19	0,30	0,95

Следует отметить, что критерий Шапиро-Уилка основан на отношении оптимальной линейной несмещенной дисперсии к ее обычной оценке методом максимального правдоподобия, и, по оценке [1], данный критерий является одним из наиболее эффективных критериев проверки нормальности случайных величин. Нулевая гипотеза нормальности распределения случайных величин отклоняется, если выполняется неравенство $W < W_{кр.N}(\alpha)$. При объеме выборки $N > 50$ и уровне значимости $\alpha \sim 0.05$ параметр $W_{кр.N}(\alpha) \sim 0.95$. Как следует из таблицы, распределение большинства рассматриваемых химических ингредиентов в створах, расположенных как вне зоны активного техногенеза, (р.Кама – п. Тюлькино), так и в зоне активного техногенеза (Камское водохранилище – г. Березники, ниже города), не описывается нормальным законом распределения. Исключение, как и было отмечено, составляет содержание в воде кислорода и кремния.

Данное обстоятельство имеет принципиальное значение. Так, согласно [2], в качестве расчетного фоновое значения гидрохимических показателей принимается верхний 5% доверительный интервал их среднеарифметических значений. В действующих методических указаниях по установлению НДВ [3] такая оценка положена в основу установления нормативов предельно-допустимых концентраций. Существенная асимметрия статистических распределений гидрохимических ингредиентов в значительной мере определяется генезисом формирования гидрохимического режима водотоков. Рассмотрим более подробно данный вопрос.

В простейшем случае содержание химического ингредиента определяется, в первую очередь, следующим соотношением:

$$C(t) = \frac{J(t)}{Q(t)},$$

где $J(t)$ – интенсивность поступления рассматриваемых ингредиентов в водный объект;
 $Q(t)$ – расход водотока- приемника.

Если известна функция распределения $P_J(J)$ и $P_Q(Q)$, то нетрудно определить функции распределения и $P_c(C)$, используя интеграл свертки:

$$P_c(C) = F(J/Q) = \int_0^{\infty} P_Q(Q) \cdot F_J(C \cdot Q) dQ. \quad (1)$$

Если $J(t)$ и $Q(t)$ описываются Гамма-распределением, то

$$P(C) = \frac{C^{u-1} \cdot (1+C)^{u+v}}{B(u+v)} \quad - \text{Бета-распределение второго рода. При } u=1, v=1,$$

оно вырождается в распределение Коши-Лоренца (рис. 1).

Если $J = G_0 \cdot Q^j$, в этом случае $C(Q) = \frac{G_0}{Q^\alpha}$, $\alpha = 1-j$.

При этом, как известно, $P(C) = \left| \frac{d\varphi^{-1}(C)}{dx} \right| \cdot P_Q(\varphi^{-1}(C))$.

$$\text{Соответственно, имеем} \quad P(c) = J_0^{\left(\frac{1}{(\alpha-1)}\right)} \cdot C^{\left(\frac{1}{(\alpha-1)}-1\right)} \cdot P_Q\left(\frac{C^{\left(\frac{1}{(\alpha-1)}\right)}}{J_0^{\left(\frac{1}{(\alpha-1)}\right)}}\right) \cdot \left(\frac{1}{(\alpha-1)}\right). \quad (2)$$

Как правило, для описания распределения расходов воды водотоков-приемников используется Гамма-распределение. Для данных условий характер функции плотности распределения $P(c)$ при различных значениях параметров α представлен на рис. 2.

В простейшем случае, при использовании достаточно характерной степенной аппроксимации $C(t)=q_0 / Q(t)^y$ (рис 3), а P_Q описывая нормальным законом распределением, имеем

$$P(C) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{\left(\frac{q_0}{C} - Q\right)^2}{\sigma_Q}\right) \frac{q_0^{1/y}}{\gamma_C} \cdot C^{\frac{1}{y}-1} \quad (3)$$

Характерной особенностью данного распределения является то, что оно характеризуется «тяжелым хвостом», т.е. вероятность экстремальных значений значительно повышена.

Очень высокая асимметрия рассматриваемых распределений обуславливает некорректное использование при анализе $C(t)$ параметрических оценок и, соответственно, расчетных зависимостей, положенных в основу как фоновых показателей, так и нормативов допустимых воздействий (НДВ).

Заключение

Лежащие в настоящее время в основе обработки гидрохимической информации параметрические методы статистического анализа не являются для решения рассматриваемых задач достаточно корректными. Так как распределение большинства гидрохимических показателей не описывается нормальным законом распределения, что подтверждается и многочисленными материалами гидрохимических наблюдений, и анализом формирования функций распределений гидрохимических показателей качества воды. В связи с этим представляется весьма актуальным корректировка методик расчетов как фоновых гидрохимических показателей, так и нормативов НДВ.

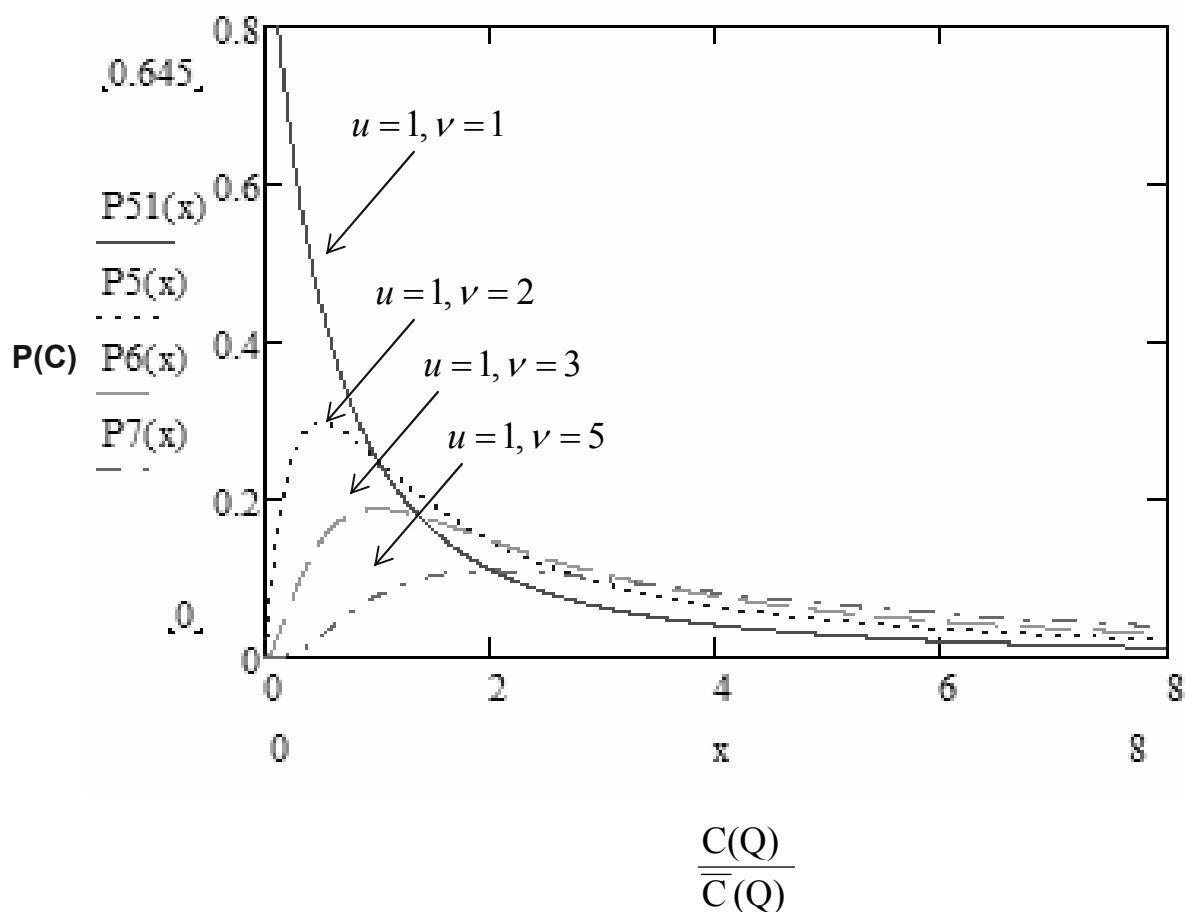


Рисунок 1. Характер функции распределения гидрохимических показателей при сочетании различных значений параметров u и v

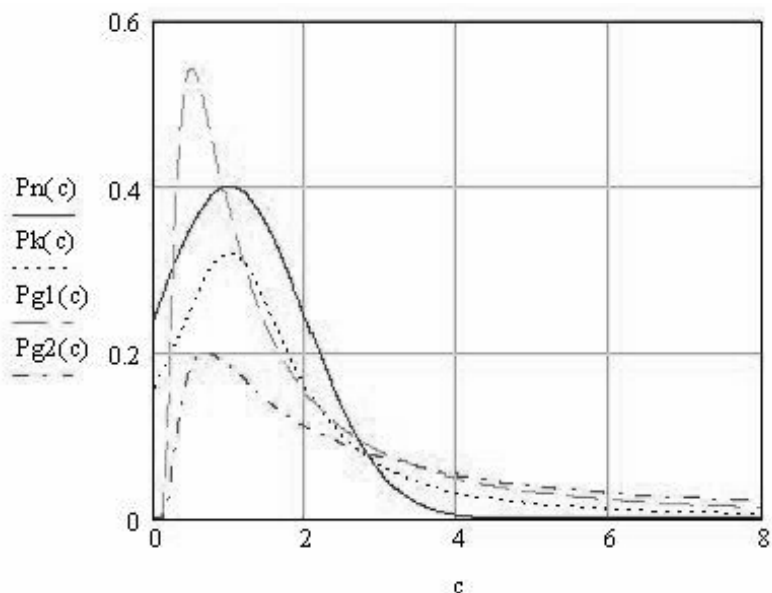


Рисунок 2. Характер поведения функций плотностей распределения при задании $\alpha=2$ и описания распределения расхода воды в виде Гамма-функции (при $C_v=1$ ($P_{g1}(c)$), $C_v=1,5$ ($P_{g2}(c)$)) в сопоставлении с нормальным распределением ($P_n(c)$) и распределением Коши ($P_k(c)$)

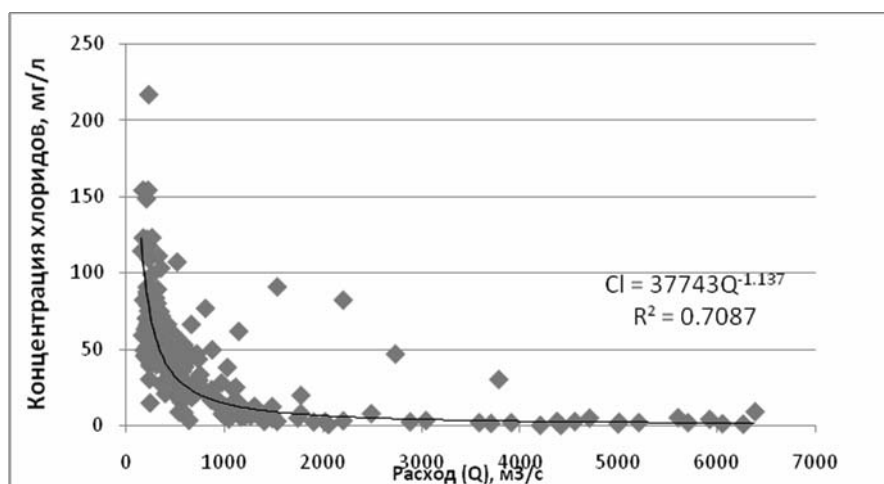


Рисунок 3. Зависимость содержания хлоридов от расхода водотока (р. Кама, г. Березники, выше города)

Литература

1. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика М., Физматлит, 2006..813с.
2. РД.52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. 36 с.
3. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утверждены Приказом МПР России от 12.12.2007 г. № 328.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НАФТАЛИНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Матрошилова О.Ю.¹, Ширишова Е.В.², Литвиненко З.Н.²

¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН г. Хабаровск,

²Дальневосточный государственный университет путей сообщения, microb@ivep.as.khb.ru

MICROBIOLOGICAL TRANSFORMATION OF NAPHTHALENE AT VARIOUS TEMPERATURES

Matroshilova O.Y.¹, Shirshova E.V.², Litvinenko Z.N.²

¹Institute for Aquatic and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk, ,

²Far East State Transport University, microb@ivep.as.khb.ru

В статье рассматривается активность планктонных и бентосных микробных комплексов, отобранных на различных участках реки Амур, по отношению к нафталину. В качестве абиотических факторов среды выступают различные температурные режимы культивирования, которые моделируют сезонные изменения температуры в природных экосистемах.

The activity of planktonic and benthic microbial complexes, selected from different parts of the Amur River, is considered in the article. The naphthalene is used as the sole source of carbon. The different temperature regimes of cultivation microorganisms are the abiotic environmental factors. They are simulate the seasonal temperature changes in natural ecosystems.

Трансформация стойких органических загрязнителей определяется комплексом разнообразных абиотических и биотических параметров. Среди абиотических факторов определяющих скорость трансформации и деструкции многих органических веществ (ОВ) природного и антропогенного происхождения особое место занимает температура. Прежде всего, от температуры зависит ферментативная активность микроорганизмов-деструкторов, а значит возможность полного разложения токсичных веществ. В практическом значении изучение влияния температуры связано с выявлением сезонных особенностей разложения ОВ. Известно, что температура выступает и важным экологическим фактором в самоочищении водных экосистем. Процессы разложения органических веществ также регулируются температурным режимом, т.к. определяются синтезом соответствующих микробных ферментов. Принимая во внимание, что стойкие ОВ разлагаются очень медленно, они вовлекаются в процесс трансформации, происходящий в течение разных сезонов года при изменяющемся температурном режиме. При этом влияние температуры бывает связано как со структурой микробных комплексов, скоростью их роста, так и с активностью ферментов [1].

Объекты и методы

Исследование микробиологической трансформации нафталина проводили с использованием природных микробных комплексов (МК), функционирующих в экосистеме р. Амур. Для модельного эксперимента использовали пробы донных отложений (ДО) и воды, отобранных летом 2009 г. во время экспедиции на р. Амур выше и ниже устья р. Сунгари.

Культивирование МК проводили на минеральной среде М9, содержащей (г/л): KH_2PO_4 – 1,33; K_2HPO_4 – 2,67; NH_4Cl – 1; Na_2SO_4 – 2; KNO_3 – 2; $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ – 0,001; $\text{MgSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ – 0,1. В колбы объемом 250 мл с горячей стерильной средой М9 добавляли нафталин в качестве един-

ственного источника углерода из расчета 100 мг/100 мл. В качестве инокулята планктонных МК в остывшую минеральную среду вносили 10 мл природной воды. Инокулят бентосных МК готовили следующим образом: 1 г ДО вносили в колбы со 100 мл дистиллированной воды и встряхивали на качалке в течение 20-30 мин. Затем 10 мл суспензии ДО добавляли к 100 мл минеральной среды.

Учитывая сезонность трансформации полиароматических углеводородов (ПАУ) в р. Амур, в модельном эксперименте культивирование МК проводили при различном температурном режиме: 1) в холодильнике при 2°C (имитация зимнего периода); 2) в термостате при 23°C (условия, приближенные к теплоте времени года, середина лета); 3) переходный температурный режим: (в течение первых 30 суток – при 2°C, затем при 23°C – имитация весенне-летнего периода). Активность микробных комплексов оценивали по изменению оптической плотности (ОП) и цветности культуральной жидкости (КЖ) на фотометре КФК-3-01 при 490 нм и 600 нм, соответственно.

Результаты и обсуждение

При оценке интенсивности микробиологической трансформации ПАУ наиболее показательными культуральными признаками являются изменение оптической плотности и цветности питательной среды. Изменение цветности при отсутствии увеличения ОП может происходить при трансформации ПАУ за счет участия экзогенных ферментов, выделяемых в КЖ. При этом промежуточные продукты деструкции не утилизируются и не используются в качестве источника углерода. Чаще всего в этом случае наблюдается токсикологический эффект и МК не развиваются. В другом варианте при одновременном изменении цветности и нарастании оптической плотности культуральной жидкости (КЖ) можно говорить о трансформации и последующей утилизации промежуточных продуктов разложения ПАУ.

Экспериментальные исследования показали, что наиболее яркая окраска КЖ при культивировании на нафталине МК с участка выше устья р. Сунгари наблюдалась при температуре 23°C. Учитывая потенциальные возможности МК трансформировать нафталин, можно предположить, что с выше расположенных участков реки регулярно поступают разнообразные ПАУ, в состав которых могут входить бициклические представители. Ниже устья р. Сунгари в связи с повышенным содержанием взвешенных веществ в воде МК развивались непосредственно на частицах субстрата.

Стоит отметить существенное влияние температуры на скорость образования цветных продуктов трансформации нафталина. Так, при температуре 2°C через 30 суток бактериопланктон с контрольного участка реки (выше устья р. Сунгари) практически не изменял цветность КЖ. Микробоценозы воды, которые подвергались влиянию стока р. Сунгари, даже при низкой температуре трансформировали нафталин с образованием продуктов, придающих КЖ желтую окраску. При 23°C за этот же промежуток времени накапливались цветные продукты при участии микробных комплексов, развивающихся как выше, так и ниже устья р. Сунгари. В последующие две недели происходило накопление цветных продуктов только при 23°C.

Показателем утилизации продуктов трансформации нафталина является рост оптической плотности в вариантах, где этот субстрат используется в качестве единственного источника углерода. Известно, что оптимальные и предельные температуры для микроорганизмов обычно соответствуют этим же температурным значениям для активности их ферментов. При температурах значительно более низких, чем оптимальные, активность большинства ферментов снижается или совершенно подавляется. Низкие температуры замедляют и даже вовсе останавливают рост микроорганизмов, однако в отличие от высоких температур они не оказывают такого сильного воздействия на жизнеспособность клеток [3].

Экспериментально установлено, что микробоценозы р. Амур, культивируемые при 2°C, развивались в первые 10 суток значительно медленнее, чем при 23°C. Максимальную биомассу на

нафталине в течение 30 суток накапливали МК из проб воды, отобранных ниже устья р. Сунгари при любом температурном режиме (рис. 1).

Первые изменения культуральных признаков в модельных системах с ДО были отмечены на 15 сутки при 23°C. Это выражалось в разрыхлении частиц нафталина и увеличении микробной массы в питательной среде. На 60 сутки установлено, что рост бентосных микробоценозов во всех вариантах составил не более 0,015 ед. оптической плотности (рис. 2), что более чем в 20 раз меньше значения ОП для планктонных МК за тот же промежуток времени. Через 90 суток от начала эксперимента изменение цветности КЖ во всех вариантах отмечено не было. Это свидетельствует о невысоком адаптационном потенциале бентосных МК приустьевых зон р. Сунгари по отношению к бициклическому нафталину.

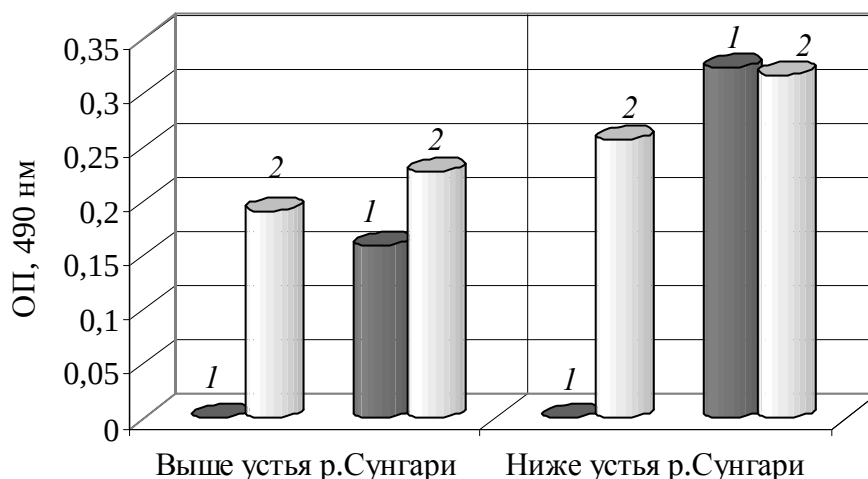


Рис. 1 Активность планктонных микробоценозов, культивируемых при различных температурах: 1 – при 2°C, 2 – при 23°C

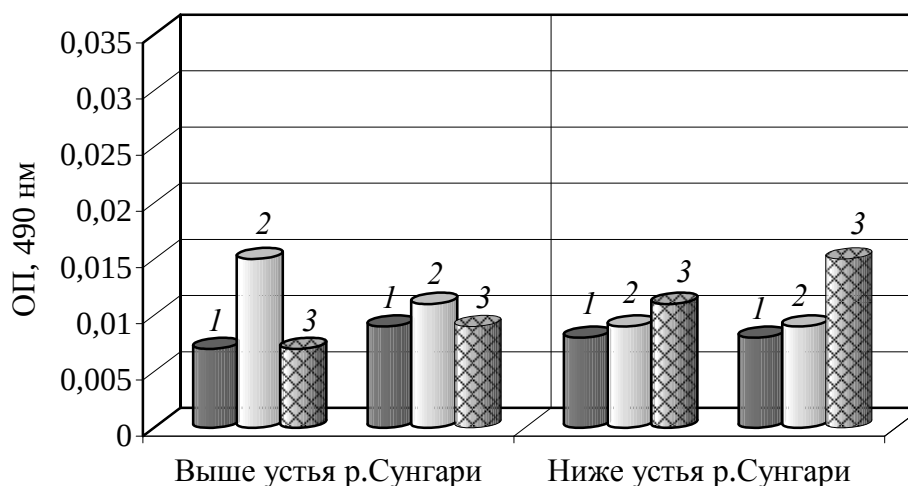


Рис. 2 Активность бентосных микробоценозов, культивируемых при различной температуре: 1 – при 2°C, 2 – при 23°C, 3 – при 2-23°C

Активность бентосных микробных комплексов, отобранных с участка ниже устья р. Сунгари и культивируемых при температуре 2-23°C, по сравнению с другими вариантами была выше. Это можно объяснить тем, что согласно правилу Вант-Гоффа, повышение температуры на 10° приво-

дит к ускорению химических реакций в 2-4 раза. Таким образом, при повышении температуры культивирования ускоряется потребление из среды энергетического субстрата, а это в свою очередь способствует увеличению продуктов реакции (биомассы и метаболитов) [2].

Таким образом, экспериментально показано, что исследованные планктонные МК проявляли более высокую активность по отношению к нафталину, чем бентосные микробоценозы. Это, вероятно, связано с высоким уровнем воды во время отбора проб донных отложений, в результате которого не происходило седиментации органических остатков на дно. Период повышенной водности на р. Амур (летом 2009) обусловил существенное разбавление концентраций загрязняющих веществ. Согласно проведенным исследованиям, скорость трансформации нафталина и накопление цветных продуктов зависели от структуры микробных комплексов, места отбора проб воды или донных отложений и изменения температурного режима культивирования.

Литература

1. *Кашнер Д.* Жизнь микробов в экстремальных условиях. – М.: Мир, 1981. – 521 с.
2. *Логинова Л.Г.* Современные представления о термофилии микроорганизмов // Л.Г. Логинова, Р.С. Головачева, И.Г. Головина и др. – М.: Наука, 1973. – 275 с.
3. *Фробишер М.* Основы микробиологии. – М.: Мир, 1965. – 668 с.

СОСТАВ, ОБИЛИЕ И ЗНАЧИМОСТЬ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ПЕЛАГИАЛИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ, РОССИЯ)

Митрофанова Е.Ю.

(г. Барнаул, Институт водных и экологических проблем СО РАН, emit@iwep.asu.ru)

COMPOSITION, ABUNDANCE AND SIGNIFICANCE OF DIATOM ALGAE IN THE LAKE TELETSKOYE PELAGIC ZONE (GORNYY ALTAI, RUSSIA)

Mitrofanova E. Yu.

(Barnaul, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, emit@iwep.asu.ru)

Представлены результаты многолетних исследований состава и обилия диатомовых водорослей в пелагиали глубокого Телецкого озера. Отмечено, что этот класс водорослей вносит основной вклад в численность и биомассу фитопланктона в отдельные гидрологические периоды. На основе данных электронной микроскопии уточнен состав диатомовых пелагического фитопланктона.

The diatom composition and abundance in pelagic zone of the deep oligotrophic Lake Teletskoye were considered. The composition of diatom algae in pelagic phytoplankton was specified due to electronic microscopic study. It was noticed that diatoms contribute greatly to phytoplankton number and especially biomass in some periods of the year.

В крупных глубоких озерах пелагиаль обычно хорошо развита и преобладает по площади над литоральными участками. Ввиду наличия в таких водоемах большого количества разных биотопов наблюдаются существенные различия в составе и количестве гидробионтов, обитающих в пелагиали и литорали. В полной мере это относится и к водорослям планктона. Отличительной особенностью пелагического фитопланктона глубоких озер является преимущественное развитие в нем диатомовых водорослей. Например, в Байкале в урожайные годы в пелагиали отмечают развитие в основном байкальских эндемиков из планктонных диатомей [3], в других озерах их место занимают широко распространенные как планктонные, так и бентосные формы. Телецкое озеро, глубокий водоем (323,3 м, [5]) на юге Западной Сибири (51°30' с.ш., 87°40' в.д.), имеет значительную по площади пелагиаль. Поэтому пелагический планктон, «продукт» собственно озера, является одним из основных компонентов экосистемы озера.

За период наблюдения 1989-1997 гг. в фитопланктоне Телецкого озера было выявлено 337 видов водорослей (395 разновидностей и форм, включая номенклатурный тип вида). В этом многообразии планктона более половины состава приходилось на диатомовые водоросли – 179 видов (231 разновидность и форма) или 53,1 (58,5)%. При дальнейшем исследовании водорослей планктона состав диатомовых пополнился до 243 видов.

Диатомовые составляют основу классового, порядкового, семейственного и родового спектров фитопланктона в толще воды озера. Среди классов выделяется *Pennatophyceae* (45,4% общего числа видов фитопланктона), существенно превышающий по числу видов классы, как из других отделов водорослей, так и центрических диатомей – *Centrophyceae* (7,7%). Отличительной особенностью состава диатомовых пелагического планктона является преобладание донных форм над планктонными ввиду постоянного перемешивания водных масс и привнесения в пелагическое сообщество донных диатомей и видов-обрастателей из литорали. Поэтому при выделении истинно планктонного ядра (группа водорослей, жизненный цикл которых проходит во взвешенном парящем состоянии) роль диатомовых заметно снижается при возрастании таковой зеленых и золотистых водорослей. Класс *Centrophyceae* (15,0%) и порядок *Thalassiosirales* (9,8) в структурных спектрах планктонного комплекса занимают уже третье ранговое место, а семейство

Stephanodiscaceae (15%) – второе. В группу одиннадцати ведущих по числу видов родов в истинно планктонном комплексе из диатомовых входит род *Cyclotella* (9 видов).

Диатомовые были той группой водорослей, которой больше всего уделяли внимание альгологи в течение истории изучения водорослей Телецкого озера. Поэтому их состав был выявлен наиболее полно [4] и пополнение его началось, главным образом, в результате мониторинга и электронно-микроскопического изучения материала [1], когда было выявлено большинство мелкоклоточных видов центрических диатомовых: *Cyclotella delicatula* Genkal, *C. atomus* Hust., *Thalassiosira pseudonana* Hasle et Heimdal, *T. guillardii* Hasle, *Stephanocostis chantaicus* Genkal et Kuzmina. Из комплекса альпийских видов, предпочитающих более холодные местообитания, был отмечен *Stephanodiscus alpinus* Hust. Детальное изучение планктонных пелагических проб в июне и сентябре 2009 г. с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi 3400N показало наличие по всему озеру, как этих, так и других отмеченных ранее видов, кроме того – нового для озера представителя мелкоклоточных диатомей *Stephanodiscus makarovae* Genkal.

Центрические диатомовые формируют ядро наиболее активных представителей фитопланктона, дающих основную долю численности и биомассы. Численно преобладают в первую очередь мелкоклоточные виды – преимущественно *C. delicatula* и *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cl. et Möller. Доля их в общей биомассе фитопланктона в основном невысокая. Так, например, в поверхностном слое пелагиали биомасса центрических диатомей в течение вегетационного периода (данные 1989 г.) достигала 197,1 мг/м³, причем максимум ее был отмечен в конце августа-начале сентября в разных точках пелагиали озера (рис.) и временами ее доля доходила до 67% в общей биомассе фитопланктона. Более высокие значения биомассы фитопланктона и значительная доля диатомей в ней приходились на более глубокие горизонты, где крупноклеточные формы могли давать большую часть биомассы, а диатомовые в целом в период весеннего нагревания – до 100%.

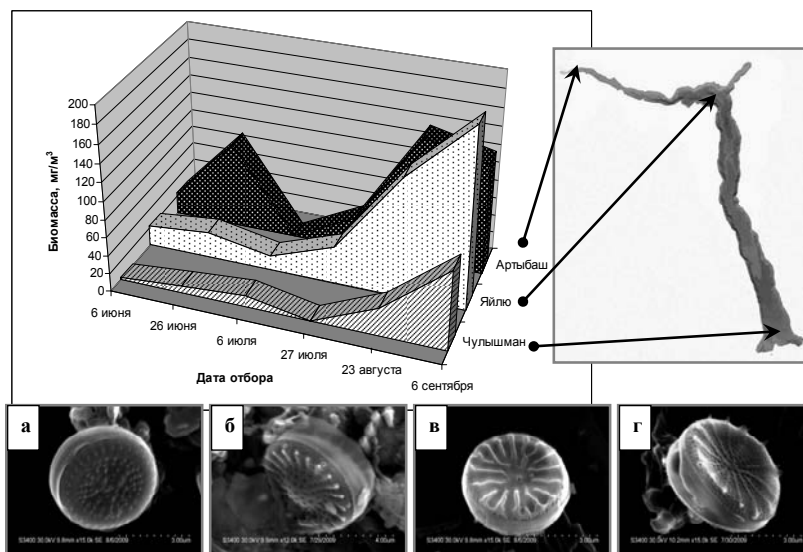


Рис. Изменение биомассы центрических диатомовых водорослей в пелагиали Телецкого озера в 1989 г. и мелкоклоточные доминанты фитопланктона: а) *Cyclotella delicatula* Genkal; б) *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cl. et Möller; в) *Stephanocostis chantaicus* Genkal et Kuzmina; г) *Stephanodiscus makarovae* Genkal.

Электронномикроскопическое исследование материала (Яйлю, пелагиаль, 2009 г.) показало, что число мелкоклоточных доминантов может быть не два, как отмечали ранее, а большим. Из 100 створок диатомей, обнаруженных в пробе, 44,3±1,3 % приходилось на долю *C. delicatula*, 25,3±1,7 % – *S. minutulus*, 19,3±0,9 % – *S. makarovae*, 1,7±0,3 % – *S. chantaicus*. Крупноклеточные центрические диатомей (*S. alpinus*,

Cyclotella bodanica Grun., *Aulacoseira subarctica* (O.Müll.) Haworth) имели незначительную долю в общей численности, но были значимы в общей биомассе фитопланктона озера. В меньшей степени это относится к *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in Cl. et Grun., доля которого в численности и биомассе обычно невелика.

Пеннатные, как шовные, так и бесшовные формы, также как и центрические входят в число наиболее распространенных видов, встречаясь во все сезоны. Среди бесшовных диатомей наиболее часто встречается основной компонент сетного планктона *Asterionella formosa* Hass. Другой представитель бесшовных, *Rhizosolenia eriensis* H.L.Sm., ввиду нежной структуры панциря очень часто может остаться незамеченным при подсчете водной пробы на светооптическом уровне. При подготовке препаратов для электронной микроскопии панцири *R. eriensis* разрушаются, поэтому в пробах встречаются ее многочисленные обломки. Так, в поверхностных пробах фитопланктона (02.09.2009 г.) части панциря *R. eriensis* присутствовали в разных точках пелагиали. Донные формы из родов *Navicula*, *Cymbella* и др. немногочисленны, но вносят существенный вклад в биомассу фитопланктона ввиду крупных размеров.

В сезонной сукцессии видов в фитопланктоне Телецкого озера можно выделить три фазы, соответствующие гидрологическим сезонам [2]. Преобладание диатомовых отмечено в периоды весеннего нагревания и осеннего охлаждения. Состав зимнего фитопланктона зависит от наличия и продолжительности ледостава, прозрачности льда. В отдельные годы при устойчивом ледоставе и прозрачном льде наблюдается развитие цианобактерий при минимальном вкладе диатомей (например, в январе-марте 1997 г.). Напротив, при продолжительном ледовом покрытии и толстом снежном покрове наиболее значимыми становятся диатомовые и криптофитовые водоросли, способные к гетеротрофному питанию в условиях пониженной освещенности. Такое наблюдали в марте 2006 г., когда фон планктона определяла мелкоклеточная центрическая диатомея *C. delicatula*. Она встречалась во всех точках и на всех горизонтах. Периодически ей сопутствовал *S. minutulus*. С увеличением глубины в фитопланктоне отмечены крупноклеточные центрические водоросли – *S. alpinus*, *C. bodanica* Grun. и *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Krammer. Виды рода *Aulacoseira* являются наиболее распространенными диатомеями в зимнем подледном фитопланктоне крупных глубоких озер мира. В Телецком озере пеннатные диатомовые водоросли в зимний период были зарегистрированы в фитопланктоне пелагиали на более глубоких горизонтах, как и крупноклеточные центрические формы. В некоторые годы роль диатомовых в фитопланктоне пелагиали озера снижается, и тогда они субдоминируют в доминантном комплексе фитопланктона криптофитовым водорослям.

В Телецком озере наблюдается один-два максимума количественных показателей фитопланктона, характерных для олиготрофного водоема – в конце зимы (подо льдом) или весной (в период весеннего нагревания) и в конце лета-начале осени (в период осеннего охлаждения). Основной вклад при этом в большей степени вносят именно диатомовые водоросли, составляя от 1 до 100% от общей численности и биомассы фитопланктона. Поэтому диатомовые водоросли, особенно их мелкоклеточные центрические формы из родов *Cyclotella*, *Stephanodiscus* и *Stephanocostis*, чей жизненный цикл и оборот продукции проходит быстрее, особенно значимы в поддержании стабильности экосистемы озера.

Литература

1. Генкал С.И. Материалы к флоре Bacillariophyta Телецкого озера (Алтайский край, Россия) / С.И. Генкал, Е.Ю. Митрофанова // Альгология. – 1995. – Т. 5, № 4. – С. 375-377.
2. Лепнева С.Г. Жизнь в озерах // Жизнь пресных вод СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – Т. 3. – С. 257-552.
3. Помазкина Г.В. Структура и динамика фитопланктона в Южном Байкале (Россия) / Г.В. Помазкина, О.И. Белых, В.М. Домышева, М.В. Сакирко, Р.Ю. Гнатовский // Альгология. – 2010. – Т. 20, № 1. – С. 56-72.
4. Порецкий В.С. Диатомовые Телецкого озера и связанных с ним рек / В.С. Порецкий, В.С. Шешукова // Диатомовый сборник. – Л.: Изд-во ЛГУ. 1953. – С. 107-173.
5. Selegei, V. Physical and geological environment of Lake Teletskoye / V. Selegei, B. Dehandschutter, J. Klerks, A. Vysotsky // Ann. Sciences Geologiques. Tervuren, Belgique. – 2001. – 105. – P. 1-310.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОРОСИТЕЛЬНЫХ ВОД ПО ВОДОРОДНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ

Мусаев А.И.

*Таразский государственный университет имени М.Х.Дулати,
г. Тараз, Республика Казахстан*

ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL EVALUATION OF IRRIGATION WATER BY pH VALUE

Musaev A.I.

*M.Kh. Dulati Taraz State University,
Taraz, Kazakhstan*

При оценке качества оросительной воды рассматривается водородный показатель как один из важных критериев, определяющих условия ее применимости для полива сельскохозяйственных культур.

Assessment of irrigation water quality was done taking into account hydrogen indicator as one of the important criteria defining conditions of water suitability for agricultural crops irrigation.

Дальнейшее развития орошаемого земледелия на юге Казахстана сдерживается рядом причин, главной из которых является возрастающий дефицит речной воды и ухудшение ее качества. Имеющиеся водные ресурсы поверхностных источников даже при рациональном их использовании и зарегулировании стока недостаточны для удовлетворения все возрастающих потребностей народного хозяйства. По этой причине на орошаемых землях региона ежегодно недополиваются десятки тысяч гектаров мелиоративно-подготовленных земель, что приводит к значительному недобору сельскохозяйственной продукции. Уменьшение оросительных норм на 15-20% снижает урожайность возделываемых культур на 35-50%.

Существенным фактором экономии оросительной воды наряду с соблюдением оптимальных режимов орошения и исключением непроизводительных потерь является повторное использование слобоминерализованных сточных и коллекторно-дренажных вод. Объем возвратных вод на оросительных системах доходит до 30-55% от водозабора и частичное их использование может повысить водообеспеченность орошаемых земель особенно в маловодные годы.

Повторное использование сточных и дренажно-сбросных вод на оросительных системах затрагивает еще такой важный вопрос, как охрана окружающей среды от загрязнения. Дренажно-сбросные воды оросительных полей содержат ядохимикаты, минеральные соли, их использование на оросительных системах сократит сброс вредных компонентов в реки и явится эффективной мерой по охране водных ресурсов от загрязнения, а также будет способствовать более полному использованию вносимых на поля удобрений. Применение таких вод без достаточного научного обоснования приводит развитию процессов засоления, содообразования и осолонцевания почв, нарушению микробиологического режима и, что очень важно, снижению качества сельскохозяйственной продукции до уровня непригодной.

Для ее решения необходима разработка критериев оценки качества оросительных вод и установленные допустимых пределов минерализации воды в зависимости от ее химического состава и условий. В конкретных природно-химических условиях территории для нормального функ-

ционирования агроэкосистем требуется вода, безвредная по содержанию химических веществ и болезнетворных микроорганизмов, биологически полноценная по составу макро- микроэлементов. Так от качества воды зависит стабильность агроэкосистем, плодородие почвы, норма водопотребления, на величину дренажного стока, урожайность и качество сельскохозяйственных культур, сохранность материалов сооружений гидромелиоративных систем и в целом социально-экономическое состояние территории. Следовательно, качество оросительной воды следует оценивать комплексно с учетом экологических, агрономических, природно-климатических, социально-экономических, технических и других требования. В мировой науке накоплен значительный теоретический, экспериментальный и научный производственный опыт по установлению основных показателей качества поливной воды [1-5 и др.].

Практика орошения как у нас в стране, так и ближнего и дальнего зарубежья показала, что оценка качества оросительных вод только по степени минерализации не является достаточной для оценки ее пригодности для орошения сельскохозяйственных культур. Требуется оценить эти воды также по химическому составу макро- и микроэлементов, и соотношением ионов санитарно-гигиеническим показателям с учетом типа почв, климатических, проектных, социально-экономических условий, а также применяемой агротехники и технологией полива, режима орошения и биологических особенностей возделываемых культур [5].

Результаты исследований показали, что в остро засушливых районах даже время суток имеет для полива огромное значение, так как во многих каналах днем в результате жизнедеятельности водорослей резко увеличивается щелочность, и полив такой водой может ускорить возникновение содового засоления почв. Кроме того, рН является одним из важнейших показателей, контролирующим присутствие в водном растворе большинства химических элементов и определяющих не только форму их нахождения в растворе, но и на их миграционную способность. Обычно для большинства природных вод рН изменяется в пределах 6,5-8,5. В кислой среде диссоциация слабых кислот прекращается полностью. С увеличением рН степень диссоциации слабых кислот возрастает, величина рН оказывает влияние и на миграционную способность. На миграционную способность элементов в значительной степени влияет температурный режим среды. Так например, повышение температуры на 10°C приводит к удвоению скорости большинства химических реакций и биологических процессов. Следовательно, в условиях жаркого климата южного Казахстана миграционная способность элементов может быть более высокой, чем в условиях низких температур, при этом повышение температуры поливной воды будет влиять на показатель активности рН и Са, что обусловлено растворимостью CO_2 при естественном нагревании вод и последующей трансформации бикарбонатного иона. Появление свободных карбонатных ионов приводит к резкому подщелачиванию низко минерализованных вод до рН = 8,5-8,9 при понижении активности кальция в воде и относительном росте активности натрия. А в щелочных растворах образуются легкорастворимые соединения.

Известно, что оросительная вода с рН 6,0-8,5 и температурой 15-30°C пригодна для орошения сельскохозяйственных культур на всех типах почв, а использование воды с рН <6 и рН >8,4 требует специального обоснования, так как поливная вода будет способствовать изменению реакции почвенного раствора. А изменение реакции почвы определяет условие элементов питания, что очень важно при использовании сточных вод в качестве поливной воды с целью почвенной доочистки. Установлено, что наибольшая активность микробиологических процессов в почве наблюдается при рН = 6-8, гумификация – при рН = 5-7,5, максимальная доступность азота при рН = 6-8, кальция и магния – 7-8,5 меди и цинка – 5-7, железа – 4-6,5, бора – 5-7. Когда рН превосходит 8, происходит развитие процесса ощелачивания и нарушаются нормальные условия развития сельскохозяйственных культур. Но в то же время следует отметить, что отзывчивость сельскохозяйственных культур на водородный показатель (рН) неоднозначна.

На рисунке приводятся оптимальные значения pH почвенного раствора для развития изучаемых нами сельскохозяйственных культур. Из представленных данных следует, что кукуруза наименее требовательна к значениям pH почвенного раствора.

Рассматриваемые городские сточные воды характеризуются карбонатной жесткостью и слабощелочной реакцией ($pH = 7,2-8,5$).

Нами исследовались сточные воды городов Южного Казахстана. Они по химическому составу и по своим качествам относятся к городским-хозяйственно-бытовым сточным водам, так как доля хозяйственных сточных вод преобладает в 2-3 раза над производственным.

Результаты наших исследований показали, что полив городскими сточными водами не снижает активности микробиологических процессов и гумификации в почве, а также доступности растениям элементов минерального питания. Использование данных сточных вод при поливе дожиданием возможен ожог листьев и корней сельскохозяйственных культур, особенно в жаркое дневное время. Следовательно, полив необходимо проводить поверхностным способом и желательно в ночное время.

	pH	Сильно-кислые	Среднекислые	Слабокислые	Очень слабокислые	Очень слабощелочные	Среднещелочные	Сильно-щелочные	pH			
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
Сельскохозяйственные культуры												
Кукуруза			5,0...7,0...8,5									
Картофель			5,3...8,0									
Люцерна							6,5...8,3					
Зерновые			6,6...7,5...8,5									

Рис.1- Оптимальные значения pH почвенного раствора для развития Сельскохозяйственных культур (по Л.М.Томпсону. Ф.Р.Троу)

Литература

1. Балюк С.А., Кукоба П.И., Ладных В.Я., Гауссова Л.А., Носоненко А.А. Новые критерии оценки качества оросительных вод. //МиВХ, 1993, №2, с 21-22.
2. Глазовский П.Ф. Геохимические проблемы мелиорации. //Почвоведение, 1986, №12, с 18-23.
3. Глухова Т.П. Влияние орошения минерализованными водами на почвы и растения. // МиВХ. 1989, №8, с 27-28.
4. Гоголев И.Н., Хохленко Т.Н., Августовская Е.А. Термодинамический принцип оценки оросительных вод и состояния почв.// МиВХ. 1989, №8, с 24-26.
5. Зимовец Б.А., Хитров Н.Б. Экологическая оценка качества оросительной воды // МиВХ. 1993, №5, с 30-33.

ГОРОДСКИЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА И ИХ ЭКОЛОГО-ИРРИГАЦИОННАЯ ОЦЕНКА

Мусаев А.И.

*Таразский государственный университет имени М.Х.Дулати,
г. Тараз, Республика Казахстан*

MUNICIPAL WASTE WATER IN SOUTH KAZAKHSTAN: ECOLOGICAL AND IRRIGATION EVALUATION

Musaev A.I.,

*M.Kh. Dulati Taraz State University,
Kazakhstan, Taraz*

Приведены результаты полевых и лабораторных исследований гидрохимического состава городских сточных вод по оценке их пригодности для орошения.

The major results obtained from the field and laboratory research on assessment of hydro chemical content of municipal wastewater and its suitability for irrigation purposes are presented in the article.

Состав используемых вод на орошение должен отвечать не только агрономическим и техническим требованиям, предъявляемым к поливным водам, но и обеспечивать санитарно-токсикологическое и зоотехническое условия по качеству получаемой продукции. В этих условиях состав поливной воды, главный показатель по которому оценивается ее пригодность для орошения сельскохозяйственных культур.

По качественному составу сточные воды городов рассматриваемых водохозяйственных бассейнов относятся к городским хозяйственно-бытовым водам, где преобладает доля бытовых вод 75-95% от всего количества. Загрязнены в основном физиологическими и другими хозяйственно-бытовыми отходами. По водородному показателю $pH=7-7,8$ характеризуется слабощелочной реакцией, карбонатной жесткостью преобладанием гидрокарбонатных ионов (табл.).

При HCO_3^- – 27-35% в экв. форме от суммы анионов, по классификации О. Алекина, относятся к первому типу вод – $HCO_3^- > Ca+Mg$, причем величина HCO_3^- не превышает порогового значения $HCO_3^- \leq 500$ мг/л и содержание величин Cl и SO_4 на уровне предъявляемых требований [1].

Содержание $Na+K$ составляет 22-47% от суммы катионов и соотношение $Ca/Mg=2,0-2,5$ не превышает пороговых значений и опасности натриевого и магниевое осолонцевания нет [3].

Показатель содержания в воде органических веществ и косвенный показатель бактериального загрязнения определяется величиной биологического потребления кислорода на 5 суточное (BPK_5) и полное окисление органических и других растворенных веществ (XPK) несколько превышают предъявляемым требованием для сброса ее в открытый водоем хозяйственно-бытового водопользования. По величине BPK они относятся к очень грязным водам. При этом в сточных водах г. Алматы после биологической очистки отношение BPK к XPK , равное 0,45-0,64, характеризует, что сточные воды смешанного типа с преобладанием хозяйственно-бытовых вод. Необходимую очистку целесообразно проводить биологическим путем на оросительных системах сточных вод.

Содержание в воде органических веществ (по BPK и XPK) не является лимитирующим фактором, так как загрязняющие вещества хорошо поддаются окислению, что создают благоприят-

ные предпосылки для их использования на орошение.

Оценку агромелиоративной характеристики сточных вод г.Алматы в накопителе Сорбулак произвели в 3-х характерных местах: отводной канал, малая чаша, большая чаша.

Таблица

Химический состав сточных вод г. Алматы, мг/л

Ингредиенты сточных вод	Отводной канал		Н.Сорбулак	
	среднее 1976- 1979гг.	среднее 1986- 1991гг.	малая чаша	большая чаша
рН	7,6	7,9	7,0	8,5
Взвешенных частиц	123	51,8	40,0	32,4
СО ₃	0,0	0,0	30,0	41
БПК ₅	136	*	*	*
Гидрокарбонаты	270	256	188	200
Хлориды	96	58,0	206	277
Сульфаты	79,16	64,3	226	355
Кальций	48,2	50,0	60,0	67,6
Магний	15,0	8,0	30,0	28,0
Натрий + калий	130	75,4	198,0	315,0
Фосфор общ.	8,9	6,11	6,80	7,0
Азот общий	34,0	29,2	26,8	27,2
Азот аммиачный	18,1	11,0	*	*
Нитриты	*	2,4	*	*
Нитраты	*	0,60	*	*
Калий	14,0	12,6	13,4	13,0
минерализация	640	512	938	1283,6

Примечание. * – не определено

Сточные воды после очистки (у водосбора Бурундайский) характеризовались слабощелочной реакцией (рН = 7,6), невысокой минерализацией (640мг/л); и низким содержанием органических веществ (БПК₅ = 136 мг/л О₂). Тип химизма - гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатный.

В последние 10-12 лет существенных изменений в составе сточных вод после механической и биологической очистки не произошли. Они по составу и сухому остатку относительно стабильные (во времени) с минерализацией 0,350-0,512 г/л при гидро-карбонатно-сульфатном химизме. Обладают нейтральной реакцией (рН=7,0). Отличаются небольшим содержанием органических и растворимых веществ, невысокой удобрительной ценностью: в 1000 м³ объеме воды количество

азота в среднем 29,2 мг/л, фосфора – 6,11 и калия – 12,6 мг/л.

С попаданием воды в накопитель Сорбулак (малая чаша) сточные воды меняются на слабощелочную, появляется сода (CO_3): от 0,6 до 2 мг -экв/л, химизация трансформируется в сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатную, минерализация колеблется от 0,8 до 1,0 г/л.

Минерализация воды в конечной части большой чаши доходит до 1,2 и 1,3 г/л в северной части. В большой чаше сточные воды характеризуются преимущественно хлоридно-сульфатным составом, щелочной реакцией ($\text{pH}=8,3-9,1$). Содержание CO_3 колеблется в интервале 0,2-2,2 мг×экв/л. Минимальное содержание отмечено ранней весной и в холодные периоды года, а максимальное – в конце лета. Сезонные колебания в воде соды убеждают в биогенности ее происхождения.

Таким образом, состав воды в накопителе отличается от состава воды в отводном канале. Это, прежде всего, объясняется растворением реликтовых запасов солей, отложившихся на поверхности депрессии. Результаты наблюдений за составом воды, ведущиеся облсанэпидстанцией, Казводоканалпроектом, Семиреченской бассейновой инспекцией и управлением Алматинского водопровода и канализации показывает, что в первые годы эксплуатации минерализация воды в накопителе достигала до 4,2 г/л, с увеличением объема воды происходило ее разбавление и уменьшение сухого остатка, минерализация составляла 1,8 г/л, а в настоящее время – 1,2-1,3 г/л. Существенных изменений состава сточных вод накопителя Сорбулак в течение вегетационного периода не происходит. Аналогичное можно отметить и после очистных сооружений.

Концентрация большинства микроэлементов в воде отводного канала выше в 1,5-3 раза, чем в накопителе. Различия объясняются самоочищающейся способностью воды в озере, переработкой одних элементов (например, железо) микроорганизмами и осаждением других (цинка, меди, хрома, железа) в щелочной среде карбонатами кальция, находящимися в воде.

Сточные воды г. Шымкента, проходящие механическую и биологическую очистку имеют нейтральную реакцию ($\text{pH}=7,0-7,40$) и характеризуются бикарбонатно-сульфатным составом. Общая минерализация в районе водозабора в среднем составляла 0,845 г/л, обладает средней удобрительной ценностью. С каждым 1000 м³ объемом воды в почву может поступать азота 27 кг, фосфора – 16 и калия – 15 кг.

Сточные воды г. Кызылорда, проходящие очистку через несколько секции полей фильтрации и горизонтальных отстойников, характеризуются бикарбонатно-сульфатно-хлоридным составом с общей минерализацией 0,85-1,242 г/л.[4].

Данные показывают, что за последние 8-9 лет в составе сточных вод г. Шымкента произошли некоторые изменения. Минерализация воды увеличилась от 0,845 до 0,952 г/л. Сточные воды из бикарбонатно-сульфатного состава перешли на бикарбонатно-хлоридно-сульфатный состав, резким увеличением хлоридов, от нейтральной реакции – к щелочной. Среди катионов доминирует натрий – 333 мг/л, несколько уменьшилось содержание фосфора, общий азот – 32 мг/л, калий – 17 мг/л. Удобрительная ценность их несколько лучше, чем в сточных водах Тараза и Алматы.

При оценке поливной воды на основании количественного и качественного состава растворенных солей обращает внимание, прежде всего, возможность засоления почвы и осолонцевание. По сумме солей сточные воды г.Тараз и Шымкента относятся к удовлетворительной.

Одним из важных показателей качества оросительной воды, как считают большинство авторов, является отношение содержания в ней ионов натрия к сумме ионов кальция и магния.

Следует иметь в виду, что все методы оценки воды разработаны на почвах суглинистого механического состава, что соответствует районам развития орошения на базе сточных вод Жамбылской в Шымкентской областей. А в районе накопителя Сорбулак Алматинской области преобладают песчаные и супесчаные почвы. С очень низкой емкостью поглощения и адсорбцией. Поэтому,

соли, поступающие с поливной водой, в том числе и сода, не образуют сложных соединений с коллоидным комплексом почвы, а находятся на поверхности элементарных частиц в виде пленки. В связи с этим возможность осолонцевания песчаных почв носит теоретический характер, засоление же легко ликвидировать созданием промывного режима орошения.

Ирригационная оценка, проведенная методами различных авторов показывает, что сточные воды г.Тараз, Алматы, Шымкента, Кызылорды по минерализации, по соотношению ионов натрия к сумме катионов пригодны для орошения.

Метод Можейко А.М., Воротник Т.К.[2] и по методу Ричардса [2] и по содержанию хлора, гидрокарбоната магния и по водородному показателю пригодны для орошения сельскохозяйственных культур. По методу М.Ф.Буданова [2] все сточные воды городов Южного Казахстана не пригодны для полива. Но общая жесткость воды более стабильна и колеблется в незначительных пределах 3,16 - 7,3 мг-экв/л.

Содержание элементов минерального питания в сточных водах городов колеблется в пределах: азота 20-30 мг/л, фосфора 6-12 мг/л и калия 15-18 мг/л.

Удобрительные качества этих вод не могут оказать существенного влияния на повышение плодородия почв. Орошение городскими сточными водами рекомендуется сочетать с обязательным внесением необходимых норм органических и минеральных удобрений.

Все рассмотренные методы предварительной эколого-мелиоративной оценке качества сточных вод в какой то степени условны, так как не учитывают: природно-климатические условия территории; обладают различной надежностью и в основном предназначены для оценки природных вод и не учитывают целый ряд показателей физико-химического состава сточных вод, количество питательных веществ реакцию среды (рН) и содержание специфических химических веществ. В связи с этим в каждом конкретном случае целесообразно проведение специальных лабораторных и полевых исследований с согласованием результатов исследований с органами санитарно - эпидемиологической службы и ветеринарного надзора.

Литература

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1953, с.296.
2. *Безднина С.Я.* Принципы и методы оценки качества воды для орошения.// Тезисы докладов Всесоюзн. научного совещания, Алма-Ата, 1988, с.4-7.
3. *Безднина С.Я.* Экологические аспекты регламентирования качества воды для орошения. // Рациональное использование и охрана мелиорируемых земель. // Тр. ВНИИГиМ, М., 1989, с. 82-88.
4. *Шомантаев А.А.* Гидрохимический режим водотоков и сельскохозяйственное использование сточных и коллекторно-дренажных вод в низовьях реки Сырдарьи. Кызылорда, 2000, с.252.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Науменко М.А.¹, Гузиватый В.В.²

¹Институт озероведения РАН, С.-Петербург,

²Российский государственный гидрометеорологический университет
e-mail: naumenko@limno.org.ru

CLIMATIC VARIATIONS OF WATER TEMPERATURE IN LAKE LADOGA

Naumenko M.A., Guzivaty V.V.

Limnology Institute of Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg,

e-mail: naumenko@limno.org.ru

На основе ретроспективного анализа длительных наблюдений с 1898 года по настоящее время оценены диапазоны возможных вариаций теплосодержания и температуры воды для экстремально холодного и теплого лет на Ладожском озере. Самые большие термические изменения могут происходить в прибрежном мелководном районе озера.

Ranges of possible variations of heat content and water temperature for extremely cold year and for extremely warm year on Lake Ladoga are estimated on the basis of long observations since 1898 up to the present. The biggest thermal changes both in abnormally warm and abnormally cold year can occur in coastal shallow area of Lake Ladoga.

Тепловой режим воды крупных озёр умеренной климатической зоны может претерпеть изменения при возможном повышении (понижении) температуры воздуха на Земле в будущем. Изменения должны произойти не только в температуре верхнего перемешанного слоя воды и воздуха над ним, но и в сезонной вертикальной термической структуре и ледовом режиме.

Теплосодержание водной массы озера является важнейшей характеристикой взаимодействия поверхности озера с атмосферой, определяет способность озера накапливать тепло и является необходимым показателем при исследовании климатических изменений.

Мы оцениваем вариации температуры воды и теплосодержания водной толщи Ладожского озера для лет с аномально высокими и аномально низкими температурами воды на основе термической базы данных. Мы приняли, что аномально высокие температуры – это температуры воды, равные 75 % квантили выборки, а аномально низкими температуры, соответственно, 25 % квантили. База данных Института озероведения РАН включает в себя более 250 тыс. измерений температуры воды за период с 1898 по настоящее время. Ретроспективный анализ длительных наблюдений позволяет сделать выводы о будущих возможных изменениях в термическом режиме Ладожского озера.

В крупных озёрах в силу больших размеров и разнообразия глубин необходимо проводить районирование их акватории, выделяя районы, где лимнические процессы имеют одинаковую направленность. В зависимости от глубины и объёма вод лимнических районов, характеристики которых обсуждаются в [1], теплосодержание изменяется как по сезонам, так и по акватории озера [2]. Ладожское озеро (с площадью 17 872 км²) было разбито на шесть районов: мелководный, переходный, район озёрного уступа, склоновый, глубоководный, впадины.

Созданная в Институте озероведения РАН база данных по Ладожскому озеру позволила прове-

сти статистически обоснованные исследования пространственных термических структур озера в течение годового цикла [2, 3]. С использованием цифровой морфометрической модели озера был выполнен расчёт теплосодержания для слоёв толщиной 5 м с учётом плотности озёрной воды и объёма каждой лимнической зоны.

В течение года при средних условиях в Ладожском озере приблизительно поровну идёт тепла на нагревание при свободной конвекции (46%) и при устойчивой стратификации (54%). В экстремально тёплый год процесс свободной конвекции весной заканчивается раньше, и далее большее количество приходящего тепла идёт на увеличение температуры водной массы озера в условиях устойчивой стратификации. В аномально холодный год ледовые явления на озере продолжают-ся гораздо дольше средних (на 1-2 месяца), требуется большое количество тепла на нагревание озера до температуры наибольшей плотности, и только после этого озеро нагревается в условиях устойчивой стратификации.

Величины, характеризующие возможные отклонения теплосодержания от среднего, указывают, что наибольшие относительные изменения могут иметь место в осенне-зимний период, достигая 70-90 % в декабре-январе.

В августе-сентябре абсолютная разность между средним и квантильным значением теплосодержания может превышать наименьший в году теплотазпас (211017Дж).

Вычисленные средние годовые значения температуры водной массы всего озера и его лимнических районов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средние годовые значения температуры воды всего озера и его лимнических районов

Горизонт		Лимнические районы						Все озеро
		I	II	III	IV	V	VI	
		0-18 м	18-50 м	50-70 м	70-100 м	100-140 м	140-230 м	
0 м		6.0	5.7	5.2	4.9	4.9	5.1	5.5
20 м		--	4.0	3.7	3.7	3.6	3.9	3.8
50 м		--	3.2	3.1	3.0	3.1	3.3	3.1
Водная масса озера	75% квантиль	6.9	5,2	4,1	3,9	3,9	3,9	4,4
	средняя	5.6	4,4	3.6	3.4	3.4	3.5	3,8
	25% квантиль	4.7	3,7	3,2	2,9	3,1	3,1	3,3

На рисунок 1 показан годовой ход средней и возможных аномальных значений температуры воды для каждого из лимнических районов Ладожского озера. Квантильные значения температуры всей водной массы Ладожского озера указывают, что наиболее значимые изменения возможны в прибрежном и переходном районах. Среднегодовая температура воды может увеличиться более, чем на один градус в этих районах.

Для аномально тёплого года в центральной части Ладоги температура воды района озёрного уступа будет выше 4°C, что не бывает при средних климатических условиях. В более глубоководных районах вариации температуры не значительны, особенно при температуре менее 4°C.

Очевидно, что возможные колебания (отклонения от среднего) в теплосодержании и темпе-

ратуре водной толщи лимнических районов составляют до 40% и 3-4°C для мелководного прибрежного района. Такие большие величины могут иметь место в период максимального прогрева в июле-августе. Чем больше глубина лимнического района, тем меньше возможные колебания в теплосодержании и температуре его водной толщи. Для наиболее глубоководного района в течение года максимальные отклонения от средней величины температуры воды не превышают 1°C. Анализ рисунок 1 указывает на примерно одинаковые отклонения в сторону возможного повышения или понижения от среднего состояния термического состояния водной толщи.

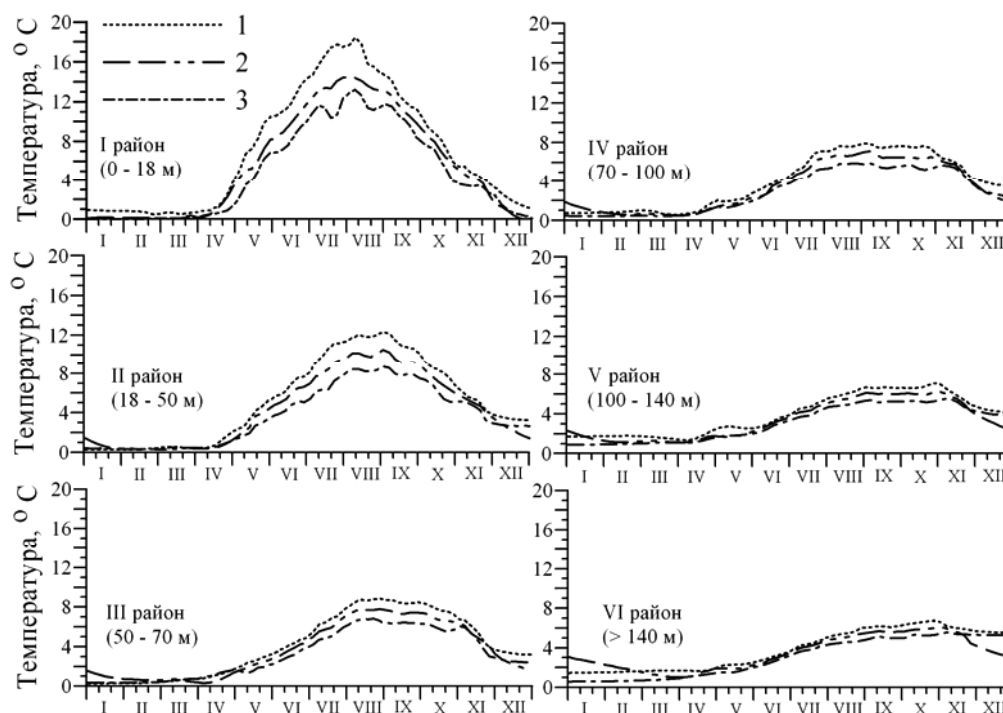


Рис. 1. Годовой ход температуры для различных районов Ладожского озера:
– 75% квантиль, – средняя температура, – 25% квантиль.

Существенные различия в вертикальной структуре температуры воды выявлены между теплыми и холодными годами. В основном изменения температуры воды имеют место в поверхностном слое, тогда как на глубине ниже слоя скачка (50 м), температура воды практически не реагирует на изменения поверхностной температуры. Увеличение температуры поверхности воды приводит к увеличению вертикальных градиентов температуры в слое скачка и, следовательно, устойчивости водной толщи в теплый год. Это усиливает блокирующую роль слоя скачка и затрудняет обмен с нижележащими слоями.

При прочих равных условиях в теплый год в период охлаждения осенью поверхности воды интенсивность свободной конвекции может уменьшаться и, следовательно, увеличиваться период стратификации [4].

Самые большие термические изменения как в аномально теплый, так и в аномально холодный годы, будут происходить в прибрежном мелководном районе Ладожского озера. Глубоководные районы даже при экстремально возможных изменениях значительно не изменяют своё термическое состояние в силу своей огромной тепловой инерции.

Более полугода (с начала ноября по конец мая) на поверхности воды Ладожского озера могут наблюдаться ледовые явления. Пространственная неоднородность ледового состояния крупного озера обусловлена в основном разнообразным распределением глубин и определяется региональными характеристиками суровости зимы. Информация с космических аппаратов серии NOAA и

MODIS была использована для изучения ледовых условий в Ладожском озере [5]. В специализированной базе данных содержится более 1270 съемок за период с 1943 по 2010 г.г. На основе 65-летнего ряда наблюдений за ледовым покрытием Ладожского озера были построены хронологические графики изменения ледовитости озера и соответствующие ей необходимые суммы отрицательных градусо-дней по станции Сортавала.

По продолжительности полного покрытия льдом Ладожского озера были выделены аномально холодные годы, годы более чем 90 суточным полным покрытием акватории льдом, 1955-56, 1959-60, 1965-66, 1984-85, 1986-87. Аномально теплые годы (ледовое покрытие не превышало 70% акватории) 1960-61, 1988-89, 1991-92, 1994-95, 2007-08.

В результате проведенных исследований оценены диапазоны возможных вариаций теплосодержания и температуры воды для экстремально холодного года и для экстремально теплого года на Ладожском озере. Полученные средние величины теплоспасов и температуры водной массы озера необходимы для оценки климатических воздействий на озёрную систему. Анализ самой полной созданной базы данных по ледовым условиям Ладожского озера позволим определить средние и аномальные состояния ледового покрова.

Представленный в настоящей презентации ретроспективный анализ длительных наблюдений позволяет сделать выводы о будущих возможных изменениях в термическом режиме Ладожского озера.

Литература

1. *Науменко М.А.* Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера. Доклады РАН. – Т.345. – № 4. – 1995. – С. 514-517.
2. *Науменко М. А., Каретников С.Г., Гузиватый В.В.* Пространственно-временная термическая дифференциация вод Ладожского озера. Доклады РАН. – Т.373 – № 2. – 2000. – С. 247-250.
3. *Науменко М.А., Каретников С.Г.* Сезонная эволюция пространственного распределения температуры поверхности воды Ладожского озера в связи с его морфометрией. Доклады Академии Наук. – Т.386. – № 2. – 2002. – С. 250-253
4. *Науменко М.А., Гузиватый В.В., Каретников С.Г.* О климатических трендах температуры поверхности воды Ладожского озера в безлёдный период. Доклады Академии наук. – Т.408. – №5. – 2006. – С. 675-678.
5. *Karetnikov S., Naumenko M.,* 2008. Recent trends in Lake Ladoga ice cover. Hydrobiologia, 599. p. 41-48.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ В ВОДОТОКАХ И ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ

Никифоровская В.С.

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск,
vovodin@hydro.nsc.ru

NUMERICAL SIMULATION OF WATER AND ECOLOGICAL REGIMES IN OPEN CHANNELS OF LAKE-RIVER SYSTEMS

Nikiforovskaja V. S.

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk,
vovodin@hydro.nsc.ru

Численное моделирование водного и экологического режимов в водотоках проводится с помощью математических моделей и численных методов, основанных на базе одномерных и двумерных (продольно-вертикальных) уравнений мелкой воды (уравнениях Сен-Венана). Рассматриваются вопросы адекватности физических и математических моделей. Приводятся примеры численных расчетов.

Mathematical models (1D, 2D – longitudinal-vertical) and numerical methods for the research unsteady processes in complex open channel systems are used. Questions of conformity physic and mathematic models are examined. Some numerical results of unsteady flows (hydrodynamic and ecologic regimes) on the systems of open river channels and of lake-river systems are present.

В последние десятилетия в нашей стране, как и во всем мире наблюдается общая тенденция в изменении климатических факторов, приводящих к увеличению числа стихийных бедствий, связанных с затоплением и подтоплением территорий вследствие катастрофических наводнений, пересыханием водотоков из-за недостатка осадков.

Кроме природных факторов существенную роль в формировании водного и экологического режимов играют антропогенные факторы: строительство ГЭС на реках, различных гидромелиоративных сооружений на водотоках озерно-речных систем, возведение водохозяйственных комплексов на территориях, примыкающих к водным артериям и др.

Для оперативного расчета возможного изменения водного и экологического процессов используются математические модели и численные методы, основанные на базе одномерных и двумерных (продольно-вертикальных) уравнениях мелкой воды (уравнениях Сен-Венана) [1,2,4].

Описание моделей

Для математического моделирования гидродинамических и экологических режимов используются два разных по размерности типа математических моделей.

1. Одномерные модели (1D) тепломассопереноса в открытых водотоках и их системах озерно-речного типа.

Теоретической основой математических моделей 1D являются одномерные уравнения Сен-Венана (уравнения мелкой воды), осредненные по поперечному сечению русла, записанные в обобщенной форме и учитывающие различные физические факторы: климатологические (ветер, атмосферное давление), изменение плотности воды в связи с возможным изменением темпера-

туры воды и с возможным изменением концентрации растворенных в ней солей. Учет изменения плотности воды производится уравнением состояния; а изменение температуры воды и ее солености – соответствующими уравнениями переноса тепла и соли [3-5].

Таким образом, неизвестными функциями в математических моделях 1D в общем случае считаются изменения во времени и пространстве следующих функций: расходов и уровней воды, средней по сечению скорости воды, плотности, температуры и концентрации растворенных в воде солей.

Математические модели 1D описывают широчайший класс задач неустановившихся течений воды в открытых руслах. При этом, как хорошо известно, они могут быть использованы как в полной (модель динамических волн), так и в какой-либо усеченной форме (модели кинематических и диффузионных волн). Использование моделей 1D в той или иной форме зависит от цели и требований, предъявляемых самой задачей, а также от наличия (количества) и качества (репрезентативности) информации, необходимой для решения исходной проблемы.

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 [1,2]. 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. В этом же порядке перечисления, как правило, и производится численный расчет неизвестных функций на ЭВМ по соответствующим для них уравнениям (2D).

Математическая модель разработана для расчета гидротермических процессов в слабопроточных стратифицированных по плотности узких глубоких водоемах. Численный метод разработан на основе неявных абсолютно устойчивых разностных схем и методов расщепления по физическим процессам. Разработанные алгоритмы решения систем разностных уравнений эффективно учитывают структуру матрицы системы, что обеспечивает экономичность методов в случае задач большой размерности, и что очень важно при решении подобных задач [1,2].

При построении как одномерных, так и двумерных моделей учитываются реальные морфометрические и гидравлические характеристики русла и прилегающей к нему пойменных массивов, их взаимодействие, а также воздействие метеорологических факторов (ветер, атмосферное давление) на волновые процессы. Использование элементов теории систем и системного анализа позволило разработать (создать) эффективные алгоритмы расчета волновых процессов при неустановившихся течениях как для разветвленных (граф типа «дерево»), так и для сложно разветвленных (граф с циклами) систем открытых водотоков и водоемов, в устьевых областях рек [3-5].

Численное моделирование, как правило, выполняется поэтапно в следующей последовательности.

Этап 1 – построение топологической структуры водного объекта.

В него включается: составление физической схемы рассматриваемого водного объекта, в соответствии с которой затем строится ей соответствующая топологическая структура, описываемая графом (граф типа «дерево» или граф с циклами), наиболее адекватно отражающая водный объект.

Этап 2 – построение математической модели русла водного объекта.

На этом этапе в случае реального водного объекта необходимо построение (по топографическим и другим материалам) адекватной ему (по объемам и пропускной способности) математической модели водотоков, входящих в водный объект. При этом при необходимости для достижения

адекватности используются соответствующие методы аппроксимации и идентификации морфометрических и гидравлических характеристик (параметров) водного объекта.

Этап 3 - выбор математической модели (1D/2D) для численного моделирования физических процессов в водном объекте.

Как уже отмечалось выше, выбранная математическая модель 1D/2D должна быть адекватной исследуемой физической задаче, т.е. должна уметь по возможности наилучшим образом воспроизводить изучаемые физические процессы, происходящие в данном водном объекте с учетом его специфики, а также с учетом поставленной цели исследования и требований, предъявляемым к исследуемой проблеме.

Этап 4 – решение задачи согласно математической модели (1D/2D), выбранной для расчетов водного и экологического режимов в водном объекте.

На этом завершающем этапе вычисляются искомые неизвестные функции во всех пространственных точках водного объекта для всех интересующих моментов времени.

Результаты и обсуждения

Эффективность использования 1D и 2D математических моделей для расчетов неустановившихся движений воды в водотоках и озерно-речных системах демонстрируется применительно к гипотетическим и реальным объектам [1,2,5]. В приведенных примерах численное моделирование гидрологических процессов в системах открытых водотоков и озерно-речных системах выполнено с учетом различных климатологических и антропогенных факторов и выявлением их роли и влияния их на формирование исследуемых процессов.

Опыт решения подобных задач на ЭВМ показал:

а) важность выполнения каждого из 1-4 этапов работы с водным объектом, обращая при этом особо пристальное внимание на этап 2, от которого, как показывает практика, почти всегда зависят все остальные;

б) результаты, полученные по моделям чисто двумерным (одномерным), показали эффективность разработанных математических моделей, экономичность численных методов, алгоритмов и программ на ЭВМ и, следовательно, полезность их использования при решении широкого круга задач прикладной гидромеханики.

Выводы

Проведение численного моделирования гидродинамических и экологических процессов в водных объектах с помощью вышеупомянутых математических моделей 1D/2D весьма эффективно. Однако, при изучении физических процессов в водных системах сложной структуры использование выбранных моделей только одной какой-либо размерности нецелесообразно (часто просто неэкономично). Для таких водных систем желательно использовать комплексы из математических моделей разной размерности [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 16.7 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, гранта РФФИ № 09-01-98001 Р-Сибирь-а.

Литература

1. 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.
2. Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С. Комплексная двумерно-одномерная модель для расчета неустановившихся течений воды в проточных системах открытых русел и водоемов // Труды VII Конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей», 23-25 ноября 2009 Москва – С.15-19.
3. Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Овчарова А.С. Численные методы решения задачи о не-

установившемся движении воды на устьевых участках рек. // Тр. Аркт. и Антаркт. Науч.-исслед. ин-та. – 1983. – том 378. – С. 23-34.

4. Воеводин А.Ф., Шугрин С.М. Методы решения одномерных эволюционных систем. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1993.

5. Никифоровская В.С. Использование математического моделирования для оценки влияния антропогенных факторов на водный режим р. Томь // Метеорология и гидрология. – 2009 – № 12. – С. 54-64.

УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ В СИСТЕМЕ «АТМОСФЕРА-ВОДА» НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Панченко М.В.¹, Домышева В.М.², Пестунов Д.А.¹, Сакирко М.В.²

¹Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск, pmv@iao.ru

²Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, hydrochem@lin.irk.ru

CARBON DIOXIDE IN THE LAKE BAIKAL «ATMOSPHERE – WATER» SYSTEM

M.V. Panchenko V.M. Domysheva*, D.A. Pestunov, M.V. Sakirko*

Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, pmv@iao.ru

*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, hydrochem@lin.irk.ru

Рассматриваются процессы газообмена между атмосферой и водной поверхностью для разных гидрологических сезонов на озере Байкал в период открытой воды. Для измерения потока CO₂ с поверхности воды используется полупогружаемая камера. Параллельно осуществляется измерение величины температуры водной поверхности, pH воды, концентрации в ней растворенного кислорода, диоксида углерода и гидрокарбонат-иона.

Processes of gas exchange between an atmosphere and water for different hydrological seasons on lake Baikal are considered during open water. For measurement of flux of CO₂ from water surface semi-submersible chamber were used. Measurement the water surface temperature, pH of water, concentrations of dissolved oxygen, carbon dioxide and hydrocarbonate-ion will in parallel carried out

В рамках исследования проблемы наблюдающегося в современный период увеличения содержания в атмосфере одного из парниковых газов – углекислого газа, – важным представляется анализ механизмов, определяющих направление и интенсивность потоков CO₂ в системе «атмосфера-вода». Особая актуальность исследований на современном этапе обусловлена тем, что окружающая среда находится под воздействием возрастающей антропогенной нагрузки и климатических изменений.

С 2002 года нами ведутся планомерные комплексные исследования процессов газообмена в системе «вода-атмосфера» оз. Байкал. Измерения проводятся на западном побережье Южного Байкала в районе пос. Большие Коты. Учитывая характеристики имеющейся аппаратуры и то, что над холодной водной поверхностью турбулентный обмен намного ниже, чем над сушей, для измерения потоков CO₂ применяется метод накопительных камер. Аппаратно-программный комплекс Байкальской атмосферно-лимнологической обсерватории ведет измерения метеорологических величин, концентрации CO₂ в атмосфере, в поверхностной воде и камерах в автоматическом режиме непрерывно в течение всего периода наблюдений. Каждые 3 часа осуществляется забор проб воды, анализ которой проводится в полевой лаборатории, где оперативно определяется необходимый набор химических характеристик. Комплексность проводимых исследований дает возможность выявить наиболее устойчивые особенности процесса газообмена для конкретного периода наблюдений и привлечь для анализа и расширения границ применимости полученных результатов накопленный за многолетнюю историю изучения Байкала материал о свойствах воды.

Очевидно, что для рассмотрения динамики процессов газообмена в течение года в литорали озера Байкал целесообразно разделение на сезоны, которые определяются гидрологическими и биологическими процессами.

По определению гидрологический сезон – часть года, в пределах которого гидрологический

режим характеризуется общими чертами его формирования и проявления, обусловленными сезонными изменениями климата. Как правило, различают весенний, летний, осенний и зимний гидрологические сезоны. Применительно к условиям открытой воды на Байкале в качестве простого критерия разбиения на сезоны зачастую выбирается среднесуточное значение температуры поверхности воды ниже или выше 10°C.

При использовании этого критерия все массивы данных наших наблюдений для периода открытой воды были разбиты на следующие гидрологические сезоны:

- «весенний» – май-июль-, температура поверхности воды ниже 10°C;
- «летний» – август-первая половина сентября; период максимального прогрева водной поверхности температура выше 10°C;

«осенний» – вторая половина сентября – декабрь; период характеризуется быстрым снижением температуры поверхностной воды, до наступления замерзания.

Понятно, что процесс газообмена CO₂ в системе «вода-атмосфера», зависит как от физико-химического состояния поверхностной воды, так и от биологических ритмов.

В свою очередь, при исследовании биологических объектов рассматриваются сезонные ритмы, т.е. внутригодовые циклы жизни биоты. С одной стороны, гидрологические и биологические сезонные ритмы в определенной степени коррелированы между собой, а с другой стороны имеют свою внутреннюю сезонную изменчивость. Это обстоятельство применительно к изучаемым нами процессам определяет условность разбиения данных наблюдений по сезонам. В тоже время для удобства анализа и восприятия результатов исследования будем придерживаться понятия «гидрологических сезонов».

С 2002 по 2005 год были проведены измерения практически во все месяцы года (исключение ноябрь и январь). На основе полученных данных нами был выработан следующий план организации наблюдений: для того, что бы по мере накопления данных была возможность оценить межгодовую изменчивость, с 2005 года ежегодно проводятся измерения в наиболее характерные периоды в каждом из сезонов (в нашем случае, июнь, август и декабрь). Исходя из анализа полученного материала, был подобран режим организации наблюдений по 15-25 суток. За этот период укладывается чередование нескольких синоптических циклов, а температурный режим воды и состояние водной биоты не претерпевают больших изменений. Как показывает практика, такой подход позволяет, минимизировав материальные затраты, обеспечить получение вполне репрезентативных данных для конкретного гидрологического сезона.

Опираясь на опыт ранее проведенных исследований [1], отметим, что изменчивость содержания CO₂ в приводном слое воздуха, а также концентрации биогенных элементов, растворенных в воде углекислого газа и кислорода, наиболее сильно проявляется в суточном цикле. Главным фактором, определяющим суточные колебания их содержания, служат процессы фотосинтеза и деструкции органического вещества, включая дыхание гидробионтов. Суточный цикл жизнедеятельности водной растительности зависит от продолжительности освещения и, соответственно, отражается на суточных максимумах и минимумах концентрации исследуемых компонентов.

Процессы же газообмена в системе «атмосфера-вода» определяются еще и многими другими факторами (например, температурой воды, скоростью ветра, состоянием водной поверхности и т.п.), имеющими иной временной масштаб изменчивости.

Следовательно, суточный ход концентрации химических компонентов в воде формируется в результате наложения совокупности изменений внешних (сезонных, внутрисуточных) гидрометеорологических условий на биологические ритмы продуцирования и деструкции органического вещества, а для растворенных в воде газов – еще и на интенсивность физико-химических процессов перехода газов через водную поверхность. И именно суточный ход концентраций химических компонентов воды, участвующих в цикле газообмена CO₂ и сопутствующих ему, может обеспе-

чить получение более детальных представлений о сезонной изменчивости процесса в литорали озера по сравнению с данными измерений, которые проводятся только на ограниченном периоде времени суток (например, только в светлое время).

Проведенные оценки результатов измерений показывают, что в середине мая наблюдается слабый поток углекислого газа с водной поверхности в атмосферу. В июне наблюдается существенный рост амплитуды суточного хода CO_2 . Однако поскольку интенсивность и продолжительность выхода CO_2 из воды соизмеримы со стоком, суммарный поток за сутки невелик – средний сток в июне в период 2007-2009 гг. ставил $22 \text{ мг } \text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Тенденция увеличения амплитуды суточного хода CO_2 в воде и усиления стока углекислого газа из атмосферы на водную поверхность продолжается вплоть до августа. В частности, к середине июля средний сток уже достигает величины $70 \text{ мг } \text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$.

Максимальные амплитуды суточного хода CO_2 в воде и стока углекислого газа из атмосферы на водную поверхность наблюдаются в августе. Средняя скорость стока в августе – первой половине сентября в литорали южного Байкала по результатам четырех измерительных циклов составила $-100 \text{ мг } \text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$.

«Предледоставный» период характеризуется отсутствием ледяного покрова, а температура поверхностной воды около $1-2^\circ\text{C}$ (декабрь). При охлаждении воды до 1°C растворимость углекислого газа в воде увеличивается почти в 1,5 раза по сравнению с летним периодом. Но из-за значительного снижения содержания планктона и, соответственно, интенсивности процесса фотосинтеза, а также продолжающейся деструкции органического вещества концентрация CO_2 в воде возрастает более значительно и обуславливает рост парциального давления растворенного газа, которое превышает величину парциального давления в атмосфере. Именно этот процесс и определяет направление потока с водной поверхности в атмосферу. Средняя скорость выхода углекислого газа с водной поверхности в атмосферу в литорали южного Байкала по результатам четырех декабрьских измерительных циклов в 2005, 2006, 2008, 2009 гг. составила $110 \text{ мг } \text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$.

На основании многолетних наблюдений дана предварительная оценка баланса обмена углекислым газом в системе «атмосфера-вода» в литорали озера Байкал в период открытой воды, которая показывает, что суммарный сток газа в литорали озера Байкал составляет $3-5 \text{ г } \text{CO}_2 \text{ м}^{-2}$ в год.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-05-00258), Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН № 10.1, госконтракта Минобрнауки № 02.740.11.0674 и экспедиционных грантов СО РАН.

Литература

1. Сакирко М.В., Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д. А. Суточные ритмы концентрации диоксида углерода в приводном слое воздуха и в поверхностной воде оз. Байкал в разные гидрологические сезоны // Метеорология и гидрология. 2008. №2. С.79-86.

ФОРМИРОВАНИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИХТИОЦЕНОЗОВ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ СИБИРИ И КАЗАХСТАНА

Попов П. А., Институт водных и экологических проблем СО РАН, Новосибирск, popov@ad-sbras.nsc.ru

FORMATION AND MODERN CONDITION OF IHTHIOCENOSIS IN RESERVOIRS OF SIBERIA AND KAZAKHSTAN

Popov P. A., Institute of Aquatic and Ecological Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, popov@ad-sbras.nsc.ru

В водохранилищах, созданных во второй половине XX века в бассейнах рек Обь, Енисей, Лена и Колыма, в настоящее время обитает 47 видов рыб. Из них 38 видов – аборигены, 9 видов – вселенцы, интродуцированные или случайные. Наиболее рыбопродуктивными водохранилищами являются Бухтарминское, Новосибирское и Братское.

In the Reservoirs created in second half of the XX-th century in drainage-basin of the Obs, Yenisei, Lena and Kolyma, lives now 47 species of fishes. From them 38 species – natives and 9 species – install, introduce or casual. The most ichthyoproductive Reservoirs are Buhtarminsky, Novosibirsk and Brotherly.

Во второй половине XX века на территории Сибири и Казахстана создано и успешно функционирует 13 крупных гидрокомплексов, в состав каждого из которых входит перегораживающая реку плотина, водохранилище и гидроэлектростанция. В бассейне Оби на р. Иртыш создано Бухтарминское, Усть-Каменогорское и Шульбинское водохранилища, на р. Обь – Новосибирское; в бассейне Енисея на р. Енисей – Саяно-Шушенское и Красноярское, на р. Ангара – Иркутское, Братское и Усть-Илимское, на р. Курейка – Курейское, на р. Хантайка – Хантайское; в бассейне Лены на р. Вилуй – Вилуйское; в бассейне Колымы на р. Колыма – Колымское.

Характеризуя названные водохранилища как среду обитания рыб следует отметить, что большинство из них представляют собой крупные по площади и объему глубокие водоемы с замедленным течением воды и низким водообменом в целом, активно протекающими процессами абразии берегов и подвижным характером формирования донных отложений, невысокими преобладающими температурами воды, сравнительно большим процентом мелководий, осушаемых к концу зимнего периода в результате сработки уровня до уровня мертвого объема (УМО) и ниже. Для Усть-Каменогорского и Шульбинского водохранилищ, являющихся глубоководными, характерна высокая степень водообмена (коэффициент водообмена 21 и 12,4, соответственно). Новосибирское водохранилище является мелководным, хорошо прогреваемым в весенне-летний период водоемом, также с относительно высоким коэффициентом (6,6) водообмена. Для Иркутского водохранилища характерна высокая степень проточности (коэффициент водообмена 24), преобладание небольших глубин и низкие температуры воды, влияние на многие характеристики водоема оз. Байкал [4].

В гидрохимическом отношении для всех рассматриваемых водохранилищ характерна сравнительно невысокая степень минерализации воды, удовлетворительный для гидробионтов-лимнофилов и реолимнофилов и неудовлетворительный для гидробионтов-реофилов газовый режим. В первые годы существования водохранилищ в них наблюдалось снижение концентрации кислорода и повышение содержания сероводорода (особенно в зимний период) в связи с активно

протекавшими процессами разложения затопленной растительности и органики почв. Заморы в конце зимнего периода на мелководных участках водохранилищ отмечаются нередко и в настоящее время. В гидробиологическом отношении водохранилища характеризуются преобладанием организмов-лимнофилов и реолимнофилов, высоким уровнем развития в теплое время года в поверхностных слоях воды водорослей и беспозвоночных планктона, сравнительно невысоким уровнем развития организмов фито- и зообентоса, слабым развитием погруженных (гидрофиты) и наземно-воздушных растений. Наиболее продуктивные биоценозы планктона и бентоса формируются на мелководных участках литорали [1–3], где, главным образом, происходит нагул и нерест рыб.

В настоящее время из 96 видов и подвидов рыб, населяющих водоёмы (реки, озера и водохранилища) Сибири, в водохранилищах этого региона обитает 45 видов и 2 подвида рыб. Из них 36 видов и подвиды являются аборигенами сибирских водоемов и 9 – вселенцами, интродуцированными в водохранилища или попавшими в них случайно.

Формирование ихтиоценозов в рассматриваемых водохранилищах начиналось с первых этапов их заполнения и продолжалось в течение нескольких лет. В Курейском, Хантайском и Колымском водохранилищах ихтиофауна полностью сложилась из тех видов рыб, которые обитали в зарегулированной реке и ее придаточных водоемах, в остальных водохранилищах в состав ихтиоценоза вошли, наряду с рыбами-аборигенами, и рыбы-вселенцы. Наиболее приспособленными к условиям обитания в водохранилищах из промысловых видов рыб-аборигенов оказались плотва и окунь, из рыб-вселенцев – лещ и судак. Из состава ихтиофауны иртышских водохранилищ полностью исчезли, в том числе в результате интенсивного вылова, осетр (редко встречается в Усть-Каменогорском), стерлядь и нельма. Многочисленные попытки вселения в водохранилища Сибири рыб семейства лососевых и, особенно, семейства сиговых, окончились или полной неудачей, или лишь частичным успехом.

По сравнению с зарегулированными реками в рассматриваемых водохранилищах коренным образом изменилось соотношение видов рыб в ихтиоценозе. Численность экологически речных рыб (осетровых, лососевых, хариуса, ельца, язя, обыкновенного гольяна) сократилась, озерно-речных рыб (плотвы, леща, верховки, окуня, судака, головешки-ротана) – возросла. Типично озерные виды рыб (золотой карась, линь, озерный гольян) в водохранилищах или крайне малочисленны или отсутствуют совсем. В глубоководной зоне Бухтарминского водохранилища сложились благоприятные условия обитания для европейской ряпушки (рипуса), в верхней зоне Иркутского водохранилища – для ельца и хариуса, в Курейском и Хантайском – для сибирской ряпушки (только в Хантайском), ельца и налима, в Вилюйском – для налима. Успешная акклиматизация леща и судака в Бухтарминском и Новосибирском водохранилищах связана, по всей видимости, с их вселением в эти водоемы до зарегулирования реки (в Бухтарминском) или на первом этапе формирования новой экосистемы, а также с тем, что судак занял освобождающуюся нишу хищника – щуки, не испытывая, в отличие от нее, особых проблем с размножением. Лещ «выиграл» в борьбе за существование на почве питания и размножения у таких рыб-аборигенов, как стерлядь, плотва, окунь, ерш. Весьма вероятно, что в случае отсутствия леща и судака, в Бухтарминском и Новосибирском водохранилищах преобладающими по численности видами рыб стали бы плотва, окунь и ерш [5].

По принадлежности к фаунистическим комплексам, в сибирских водохранилищах преобладают рыбы бореального равнинного и бореального предгорного комплексов. Доля видов рыб арктического пресноводного комплекса существенна только в енисейских и Вилюйском водохранилищах. Во всех водохранилищах, кроме расположенных в северных широтах Сибири, заметна доля представителей понтокаспийского и пресноводного амфибореального комплексов, что, до некоторой степени является отражением общей тенденции проникновения в водоемы Сибири ряда видов рыб из более южных широт. Последнее относится и к факту обитания в

Иркутском и Братском водохранилищах представителей китайского равнинного комплекса – амурского сома и ротана-головешки.

Вылов рыб в водохранилищах Сибири ведется с первых лет их существования и до настоящего времени. В течение всего этого периода в промысловых уловах преобладали рыбы-филофилы. На первом этапе формирования водохранилищ большую, нередко лидирующую, роль в добыче рыб играла щука. В последующие годы основу рыбного промысла в Бухтарминском и Новосибирском водохранилищах стали составлять лещ и судак, в других водохранилищах – плотва и окунь. В Хантайском водохранилище заметная доля в уловах в первые два десятилетия принадлежала сиговым – ряпушке, сигу, пеляди; в настоящее время из этих видов в статистике вылова фигурирует только ряпушка. Во всех водохранилищах, особенно глубоких и холодноводных, заметную роль в промысле играет налим.

Судя по статистике промысловой добыче рыб, наиболее рыбопродуктивными водохранилищами являются Бухтарминское, Новосибирское и Братское. В первом из них в период с 1960 по 1977 гг. ежегодно добывалось от 43 до 127, (в среднем 98 тыс. ц), в период с 1996 по 2007 гг. – от 56 до 90, (в среднем 77 тыс. ц рыбы). В Новосибирском водохранилище с 1988 по 2001 г. ежегодный вылов рыб составлял около 10 тыс. ц и хотя в последние годы он несколько снизился, увеличение уловов рыб в этом водоеме до прежнего уровня, судя по уровню развития кормовой базы рыб, возможно. В Братском водохранилище также сохраняются возможности увеличения добычи рыбы до уровня прошлых лет – 10–11 тыс. ц в год. Однако в расчете на гектар площади водного зеркала (при НПУ) ежегодный вылов рыб в Бухтарминском водохранилище в 1972–1977 гг. составлял 26,5 кг, в 1996–2007 гг. – 14,1 кг, в Новосибирском водохранилище (при вылове 10 тыс. ц в год) – 9,3 кг, а в Братском (при вылове 10 тыс. ц в год) – лишь 1,8 кг. В остальных водохранилищах, особенно северных, добыча рыб не может достигать указанных величин в связи с менее развитой в них кормовой базой рыб и более жесткими условиями жизни рыб в целом. В Красноярском водохранилище эта величина составляет 2,4 кг (при ежегодной добыче 6 тыс. ц), в Усть-Илимском – 1,0 кг (при вылове 2 тыс. ц в год), в Хантайском – 1,4 кг (при вылове 3 тыс. ц в год), в Вилуйском – 2,3 кг (при вылове 5 тыс. ц в год). Основные причины низкой рыбопродуктивности сибирских водохранилищ – слаборазвитая по сравнению с естественными водоемами мезотрофного типа кормовая база рыб, неблагоприятные условия их воспроизводства и зимовки. Из абиотических факторов, прямо и опосредованно лимитирующих ихтиопродуктивность водохранилищ, наиболее существенным является уровеньный режим.

Также следует отметить, что для более объективной оценки рыбопродуктивности водохранилищ следует учитывать, в большинстве случаев не фиксируемый статистикой, вылов рыб местным населением для личных нужд и продажи. В последние 10–15 лет величина этой части рыбодобычи составляет не менее 100 %, а в ряде случаев она оценивается органами рыбоохраны в 200–300 % от учитываемой.

Литература

1. Васильев О. Ф., Савкин В. М., Двуреченская С. Я., Попов П. А. и др., Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сибирск. экол. журн., 2000. Вып. 2. С. 149–163.
2. Вышегородцев А. А., Космаков И. В., Ануфриева Т. Н., Кузнецова О. А. Красноярское водохранилище. Новосибирск: Наука, 2005, 212 с.
3. Ермолаева Н. И. Водные экосистемы. Особенности формирования зоопланктона водохранилищ. Аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ, 2008, 90 с.
4. Савкин В. М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания // Сибирск. экол. журн., 2000. № 2. С. 109–121.
5. Трифонова О. В., Новоселов В. А. Основные результаты ихтиологических исследований на реках и водохранилищах юга Западной Сибири // Биологические ресурсы и проблемы развития аквакультуры на водоемах Урала и Западной Сибири. Тюмень, 1996. С. 149–155.

ОЦЕНКА ДИФфуЗНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Пузанов. А.В., Рождественская Т.А., Балыкин С.Н., Балыкин Д.Н.,
Салтыков А.В., Ельчи́нинова О.А., Горбачев И.В., Егорова И.А.,
Мешикина С.С., Кислицина Ю.В.
ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, E-mail: rtamara@iwep.asu.ru

EVALUATION OF DIFFUSE FLOW IN TECHNOGENIC AND NATURAL LANDSCAPES (EXPERIMENTAL STUDIES)

Puzanov A. V., Rozhdestvenskaya T. A., Balykin S. N., Balykin D. N.,
Saltykov A. V., El'chinina O. A., Gorbachev I. V., Egorova I. A.,
Meshkinova S. S., Kislitsina Yu. V.
IWEF SB RAS, Barnaul, E-mail: rtamara@iwep.asu.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований макроионного состава лизиметрических вод почв естественных и техногенных ландшафтов Алтая. Получены предварительные данные по условиям его формирования в почвах горно-лесного пояса и отложениях хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината.

Data on experimental study of macroionic composition of lysimetric water in soil of Altai natural and technogenic landscapes are presented. The regularities of its formation in mountain-forest soils and tail-dump deposits of Altai ore-dressing and processing enterprise are revealed.

Почвенные лизиметрические воды в большей степени, чем растворы, полученные другими методами, характеризуют те потоки вещества, которые связывают воедино атмосферные осадки, почвенные растворы и грунтовые воды, тем самым влияя на функционирование ландшафта в целом [1].

Состав почвенных растворов зависит от количества и качества атмосферных осадков, от состава твердой фазы почвы, от количества и качественного состава живого и мертвого растительного материала в надземных и подземных ярусах биогеоценоза, от жизнедеятельности мезофауны и микроорганизмов.

Для выделения и изучения почвенных растворов в зависимости от условий и задач исследования применяются так называемые лизиметрические методы, действующие по принципу замещения и вытеснения почвенных растворов талыми и дождевыми водами. Для количественного учета и изучения состава просачивающихся сквозь почву растворов применяют лизиметры различного устройства. Наиболее широко используется в практике почвенных исследований тип лизиметра Е.И. Шиловой [2], который применялся и в наших исследованиях. Эксперименты проводились на горно-лесных почвах. Лизиметрические воды собраны в летний период 2010 г. В качестве модельного экстрагента использовали дистиллированную воду, сборник влаги площадью 0,057 м² размещали под гумусовым горизонтом.

В лабораторных условиях были получены лизиметрические растворы наиболее активного в биогеохимическом отношении слоя горно-лесной бурой почвы (Семинский хребет, Алтай, табл. 1). Почву последовательно (опыт 1-4) промывали экстрагентом в количестве 125 мм. Горно-лесные бурые почвы характеризуются низкой водоудерживающей способностью и высокой водопроницаемостью.

Почти по всему профилю присутствует крупнозем. Щебнистость при относительно легком гранулометрическом составе мелкозема обеспечивает хороший дренаж.

Полевые эксперименты проводились в следующих условиях:

Точка 1. Северный Алтай. Водораздел р. М. Сиульта и р. Майма, около 1,5 км от с. Кызыл-Озек. Сосновый лес с примесью единичных берез. Почва горно-лесная темно-серая маломощная на элювии гранитов. Лизиметр заложен на глубину 30 см. Количество экстрагента 20 мм.

Точка 2. Северный Алтай. Сугульский хребет. Граница Чойского и Майминского районов. Около 1 км от дороги. Склон северной, северо-восточной экспозиции. Пихтово-осиновый лес. Почва горно-лесная темно-серая. Лизиметр заложен на глубину 60 см. Количество экстрагента 35 мм.

Точка 3. Северо-Восточный Алтай. Водораздел рек Бия и Пыжа. Березовый лес с единичными соснами. Почва горно-лесная бурая суглинистая на делювии сланцев. Лизиметр заложен на глубину 30 см. Экстрагента 30 мм.

Точка 4. Долина р. Бирюля, правый берег. В 6-7 км от с. Бирюля выше по течению реки. Склон северо-западной экспозиции. Основание склона-шлейфа. Сосново-березовый лес с примесью осины. Почва горно-лесная темно-серая. Лизиметр заложен на глубину 29 см. Количество экстрагента 35 мм.

Точка 5. Северный Алтай. Исток р. Майма. Выше с. Урлу-Аспак. Почва горно-лесная черноземовидная. Почвы развиваются на хорошо дренируемых формах рельефа, характеризуются, как правило, хорошей макроструктурностью. Лизиметр заложен на глубину 30 см. Количество экстрагента 35 мм.

Лизиметрические воды, полученные в лабораторных условиях, являются кислыми (табл. 1). Гидрокарбонатный характер вод обусловлен влиянием почвообразующей породы. Уровень минерализации не выходит за пределы показателей, характерных для ультрапресных вод. Более высокое содержание сульфатов, хлоридов, нитратов как наиболее подвижных компонентов почвы обнаружено в первых водах (опыт 1), кальция, магния, бикарбонат-иона – во вторых-третьих.

Концентрации макрокатионов в лизиметрических водах, полученных в полевых условиях, существенно ниже, чем в речных (табл. 1): минерализацию почвенных растворов значительно увеличивают кроны деревьев, что не учтено в данном эксперименте. Большое количество фильтрата связано с тем, что для эксперимента были взяты гумусовые горизонты, наиболее рыхлые, структурированные, с большим количеством макропор, трещин, пропускающих значительное количество экстрагента.

В точке 4 наблюдаются наибольшие концентрации макрокомпонентов, очень близкие к их минимальным среднемноголетним показателям вод средних рек в бассейне Оби за 1970-2006 гг. [3] и озера Байкал [4]. Это определяется тем, что в этой почве, в отличие от других, просачивание воды происходило медленнее из-за ее меньшей влажности, и, следовательно, время контакта твердой фазы почвы с экстрагентом было больше.

Статистически достоверной связи между количеством полученных растворов и содержанием в них макрокомпонентов нет. Как отмечают Г.В. Мотузова, Н.Ю. Барсова, Е.А. Карпова и др., [4] отчетливой зависимости концентрации элементов в лизиметрических водах от их объема не прослеживается, она носит лишь общий характер, и изменения концентрации веществ в водах далеко не всегда пропорциональны влажности. Важнее косвенное значение почвенной влаги, проявляющееся во влиянии ее на интенсивность биохимических процессов, с которыми связано образование водорастворимых веществ.

Таблица 1

Показатели состава лизиметрических вод (0

№ опыта /точки	pH	HCO ₃ ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻⁻		Ca ²⁺		Mg ²⁺		N0 ₂ ⁻	N-NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	P
		мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л								
Лабораторные эксперименты, ненарушенные почвы																	
1	5,5	0,40	24,40	0,08	2,80	0,20	9,61	0,20	4,00	0,20	0,05	0,05	0,015	24,37	5,36	0,05	<0,005
2	5,3	0,50	30,50	0,04	1,40	0,11	5,28	0,30	6,00	0,30	0,17	0,10	0,031	8,02	1,76	0,17	<0,005
3	5,3	0,50	30,50	0,01	0,35	0,07	3,36	0,30	6,00	0,10	0,66	<0,007	<0,002	4,44	0,98	0,66	<0,005
4	5,4	0,30	18,30	0,04	1,40	0,07	3,36	0,30	6,00	0,05	0,12	<0,007	<0,002	3,61	0,79	0,12	<0,005
Полевые эксперименты, естественные ландшафты																	
Т. 1	7,3	0,40	24,40	0,04	1,40	0,02	0,96	0,20	4,00	0,20	2,40	<0,007	<0,002	1,27	0,28	<0,04	0,08
Т. 2	6,9	0,10	6,10	0,02	0,70	0,02	0,96	0,10	4,00	0,20	2,40	<0,007	<0,002	0,11	0,02	<0,04	<0,005
Т. 3	6,8	0,10	6,10	0,04	1,40	0,04	1,92	0,40	2,00	0,10	1,20	<0,007	<0,002	0,07	0,02	<0,04	<0,005
Т. 4	7,6	1,00	61,00	0,02	0,70	0,08	3,84	0,10	8,00	0,60	7,20	<0,007	<0,002	1,35	0,30	<0,04	<0,005
Т.5	6,8	0,30	18,30	0,02	0,70	0,03	1,44	0,20	2,00	0,00	0,00	<0,007	<0,002	<0,08	<0,02	<0,04	<0,005

Экспериментальные исследования по оценке диффузного стока в условиях техногенных ландшафтов проведены на хвостохранилищах Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОКа, Северо-Западный Алтай), где в течение 50 лет перерабатывали полиметаллические руды и получали концентраты цветных металлов. Под влиянием естественных факторов хвостохранилища подвергаются постоянному разрушению. Развитие эрозионных процессов на склонах способствует образованию эрозионных борозд на их поверхности, что указывает на преобладание здесь поверхностного стока. Инфильтрационному стоку в какой-то мере препятствует водоупорный слой хвостов тяжелого гранулометрического состава, залегающий на глубине 30-40 см от поверхности. Мощность данного слоя составляет 40-50 см.

Лизиметрические воды хвостохранилищ характеризуются агрессивной реакцией среды и аномальным содержанием макрокомпонентов (табл. 2), что сказывается на составе вод сопряженных с отстойниками озер, образовавшихся после остановки АГОКа, когда была прекращена откачка воды из шахты, вследствие чего началось затопление горных выработок, просадка грунтов, выклинивание шахтных вод. В воде озер отмечаются аномально высокие концентрации хлоридов (до 1127,0 мг/л), сульфатов (до 4697,3 мг/л), а также высокие содержания остальных компонентов [5].

Таблица 2

**Макрокомпонентный состав лизиметрических вод
хвостохранилищ АГОКа, мг/л**

р Н	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ₂₊	NO ₂ ⁻	N- NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N- NO ₃ ⁻	N- NH ₄ ⁺	Р
2, 1	<6,1	3077, 2	12295, 7	2000 0	1440	<0,00 7	<0,00 2	0,42	0,09	54,7	<0,00 5

Таким образом, в первую очередь из гумусового горизонта почв вымываются сульфаты, хлориды, нитраты, затем происходит выщелачивание менее мобильных ионов кальция, магния, гидрокарбонат-иона. В целом, данные по лизиметрическим водам могут быть использованы при расчете поступления загрязнителей из почвенного покрова в поверхностные воды.

Литература

1. Мотузова, Г.В., Н.Ю. Барсова, Е.А. Карпова и др. Состав лизиметрических вод верхневолжских ландшафтов / Г.В. Мотузова, Н.Ю. Барсова, Е.А. Карпова и др. // Почвоведение. – 2009. - №2. – С. 226-234.
2. Савичев, О.Г. Влияние взаимодействий в системе вода-порода на формирование состава речных вод бассейна Оби // География и природные ресурсы. 2009. - №2. – С. 74-79.
3. Сутурин, А.Н. Разработка стандартного образца состава глубинной байкальской воды / А.Н. Сутурин, Л.Ф. Парадина, В.Н. Эпов и др. // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. - №10. – С.475-484.
4. Пузанов, А.В. Тяжелые металлы в компонентах техногенных озер района Алтайского ГОКа / А.В. Пузанов, Т.А. Рождественская, И.В. Горбачев // Мир науки, культуры, образования. – 2009. - №2. – С. 11-13.
5. Шилова, Е.И. Метод получения почвенного раствора в природных условиях / Е.И. Шилова // Почвоведение. – 1955. - №11. – С.86-90.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Резников В.Ф.

ИБЭП СО РАН, Барнаул, rvf@iwep.asu.ru

THE BASIC APPROACHES TO PROGRAM OF MAINTENANCE OF SUSTAINABLE WATER USE

Reznikov V.F.

IWEP SB RAS, Barnaul, rvf@iwep.asu.ru

В работе рассматриваются основные подходы к разработке программы по обеспечению устойчивого водопользования на основе документов стратегического планирования.

In the article consider the basic approaches to program of maintenance of sustainable water use on the basis of documents of strategic planning.

В XXI веке пресная вода стала важнейшим стратегическим ресурсом. Водные ресурсы используются и охраняются в стране как основа жизни и деятельности населения, обеспечивая социально-экономические условия для устойчивого развития всего народно-хозяйственного комплекса регионов, существования животного и растительного мира. Наличие ресурсов природных вод, способность регионов, расположенных на территории бассейнов, обеспечения устойчивого водопользования и поддержания экологически безопасного состояния водных объектов будет определять потенциал и перспективы социально-экономического развития.

Для решения имеющихся проблем в водопользовании регионов необходима разработка научно обоснованной, регионально адаптированной концепции устойчивого, экологически безопасного и экономически эффективного водопользования, основанной на экологических, социокультурных и экономических императивах и учитывающей не только существующие или прогнозируемые виды водопользования в бассейне, но и потенциал природных систем.

Цель разработки Программы – определение путей и способов обеспечения в долгосрочной перспективе (до 2020 года) устойчивого водопользования.

В соответствии с этой целью в Программе должны быть сформулированы:

- основные направления с учетом вызовов предстоящего периода, а также параметров пространственного развития экономики регионов бассейна;
- основные цели, целевые индикаторы, приоритеты и основные задачи долгосрочной политики в области обеспечения устойчивого водопользования;
- предложены основные направления достижения поставленных целей;
- формы стратегического партнерства государства, бизнеса и общества.

Программа обеспечения устойчивого водопользования базируется на Конституции Российской Федерации, федеральных законах и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (далее Концепция), Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года и плана мероприятий по ее реализации (далее Водная стратегия), международных договорах Российской Федерации в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, других документов стратегического планирования федерального и регионального уровня.

Основополагающие принципы обеспечения устойчивого водопользования заложены в ст. 3

Водного кодекса Российской Федерации и положений Водной стратегии РФ: значимость водных объектов в качестве основы жизни и деятельности человека; приоритет охраны водных объектов перед их использованием, сокращение антропогенного воздействия не только на водные объекты, но и на их водосборные площади; целевое использование водных объектов; участие граждан, общественных объединений в решении вопросов, касающихся подготовки решений, реализация которых может оказать воздействие на водные объекты при их использовании и охране; регулирование водных отношений в границах бассейновых округов; гласность осуществления водопользования; комплексное (интегрированное) использование водных объектов при соблюдении баланса между экологическими и экономическими приоритетами при осуществлении водопользования; платность использования водных объектов; экономическое стимулирование охраны водных объектов; совершенствование существующих и создание новых организационных форм управления; расширение свободы предпринимательства, обеспечение эффективности государственного управления и социальной справедливости; повышение эффективности и рациональности использования водных ресурсов, в том числе за счет использования механизмов частно-государственного партнерства и др.

Государство выступает в качестве гаранта проводимой государственной политики в области устойчивого водопользования в долгосрочном плане, осуществляет нормативное, правовое, организационное, экономическое обеспечение.

В связи с переходом страны к инновационному социально-ориентированному типу экономического развития, формированию сбалансированной экологически ориентированной модели развития экономики, повышению качества жизни населения и необходимостью обеспечения продовольственной, промышленной и энергетической безопасности, а также с учетом происходящих климатических изменений, решение широкого круга задач по обеспечению устойчивости водопользования является сверхактуальным. Сложность и многоаспектность проблем водопользования обуславливают необходимость интегрированного подхода и применения программных методов их решения.

Приоритетные направления по достижению поставленной стратегической цели программы определены в Концепции 2020, среди которых: *«гарантированное обеспечение потребностей населения и экономики в водных ресурсах при осуществлении мер по рационализации водопользования с учетом прогнозируемого изменения климата и водности рек; снижение антропогенной нагрузки и загрязнения водных объектов, улучшение состояния и восстановление водных объектов, в первую очередь источников питьевого водоснабжения, и их экосистем; создание в регионах с неблагоприятным состоянием поверхностных источников питьевого водоснабжения и риском аварийных техногенных загрязнений альтернативных систем обеспечения населения питьевой водой из подземных источников; совершенствование технологии подготовки питьевой воды и очистки сточных вод, реконструкция, модернизация и новое строительство водопроводных и канализационных сооружений, в том числе использование наиболее безопасных и эффективных реагентов для очистки воды, внедрение новых технологий водоочистки, модернизация промышленных предприятий и внедрение в технологические схемы производственных объектов оборотного водоснабжения; развитие системы мониторинга водных объектов и водохозяйственных систем, совершенствование систем прогнозирования и информационного обеспечения, в том числе направленных на защиту населения и объектов экономики от наводнений, сведение к минимуму ущербов от негативного воздействия вод, включая поддержание в безопасном состоянии водоподпорных гидротехнических сооружений; вовлечение в хозяйственный оборот неосвоенных водных ресурсов для решения проблем дефицита пресной воды; защита от паводков и создание резервуаров пресной воды посредством развития водноэнергетической инфраструктуры; внедрение эффективного экономического механизма рационального водопользования и охраны водных*

объектов, ориентированного на самофинансирование водохозяйственного комплекса».

Для реализации этих приоритетных направлений, получивших развитие в Водной стратегии, а также с учетом документов стратегического планирования регионов бассейна, в соответствии с поставленной целью Программа ориентирована на решение следующих задач:

- создание условий для гарантированного устойчивого обеспечения населения и отраслей экономики водными ресурсами надлежащего качества и в достаточном количестве;
- охрана и восстановление водных объектов;
- обеспечение защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод, обеспечение безопасности водохозяйственных сооружений;
- внедрение эффективного экономического механизма рационального водопользования.

Решение этого комплекса задач позволит обеспечить экономически оптимальный и экологически безопасный уровень водопользования, отвечающий основным принципам устойчивого развития.

Основные направления деятельности по решению задач Программы. Обеспечение населения и отраслей экономики водными ресурсами. Приоритетными направлениями при решении этой задачи будут:

- восстановление, охрана и рациональное использование источников питьевого водоснабжения;
- проведение поисковых работ, постановка на госучет и вовлечение в хозяйственный оборот запасов пресных подземных вод для создания альтернативных источников водоснабжения в населенных пунктах;
- осуществить строительство, реконструкцию групповых водопроводов и провести ряд других мероприятий, направленных на повышение обеспеченности водными ресурсами питьевого качества;
- формирование на бассейновом и региональном уровне системы государственных обязательств, в том числе с учетом международных требований (безопасность питьевой воды, достаточность воды, бесперебойность водоснабжения);
- развитие нормативно-правовой базы и хозяйственного механизма водопользования, стимулирующего экономию воды и направленного на повышение ответственности водопользователей (производителей (собственников) питьевой воды), осуществляющих добычу, подготовку, транспортировку питьевой воды надлежащего качества и обеспечивающих надежную эксплуатацию систем питьевого водоснабжения;
- реконструкция, модернизация и новое строительство водопроводных и канализационных сооружений, в том числе использование наиболее безопасных и эффективных реагентов для очистки воды, внедрение новых технологий водоочистки.

Решение задачи гарантированного и устойчивого обеспечения населения в достаточном количестве водой надлежащего качества для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд будет осуществляться в рамках государственной программы «Чистая вода», других целевых программ различного уровня.

Обеспечение потребностей отраслей экономики будет осуществляться на основе учета водноресурсных ограничений и допустимой экологической нагрузки на водные объекты, а также комплексного (интегрированного) подхода к управлению их использованием и охраны на основе схем комплексного использования и охраны водных объектов.

В целом, повышение эффективности и надежности функционирования систем водообеспечения будет происходить за счет реализации водоохраных, технико-технологических, санитарных мероприятий, перевода на перспективные источники водоснабжения, совершенствования технологий обработки воды, развития систем забора и транспортировки воды, оптимизации водопотребления.

Охрана и восстановление водных объектов. Приоритетными мероприятиями при решении этой задачи должны стать.

1. В области снижения антропогенной нагрузки:

- разработка ПДВ на водные объекты с учетом региональных особенностей, индивидуальных характеристик и целей использования водных объектов;
- внедрения систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения;
- проведение функционального зонирования территории водосбора для оценки степени негативного влияния диффузного стока с хозяйственно освоенных территорий;
- осуществить обустройство зон и округов санитарной охраны водных объектов и обеспечить соблюдение их режима;
- реализация комплекса организационно-технических мероприятий между регионами бассейна по предупреждению, предотвращению, ограничению и сокращению трансграничного воздействия;
- внедрение действенных механизмов экономического стимулирования по сокращению антропогенной нагрузки на водные объекты.

2. В области охраны подземных вод:

- проведение комплекса мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности водозаборов подземных вод и ликвидации бесхозных скважин;
- предотвращение загрязнения почвогрунтов сбросами и выбросами загрязняющих веществ от отраслей экономики и населения, радиационного загрязнения.

3. В области реабилитации водных объектов и ликвидации накопленного экологического вреда:

- разработка и реализация программ восстановления водных объектов (особенно малых рек) на территориях с неблагоприятной водноэкологической обстановкой;
- разработка и реализация программ реабилитации водных объектов, утративших способность к самоочищению для ликвидации накопленного экологического вреда.

Обеспечение защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод, обеспечение безопасности водохозяйственных сооружений. Приоритетные мероприятия при решении этой задачи должны быть направлены на:

- разработку регламента хозяйственного использования территорий, подверженных подтоплению и другим опасным гидрогеологическим процессам и явлениям;
- разработку программ комплексного управления рисками территорий от вредного воздействия вод;
- совершенствование технологий мониторинга, в т.ч. прогнозирования и предупреждения опасных гидрологических явлений;
- обеспечение поддержкой проектов строительства и реконструкции объектов инженерной защиты;
- проведение комплекса мероприятий по обеспечению надежности гидротехнических сооружений, в первую очередь бесхозных и потенциально опасных, находящихся в аварийном состоянии.

Внедрение эффективного механизма рационального водопользования. Основные мероприятия здесь направлены на:

- разработку инструментов и механизмов, направленных на экономическое стимулирование сокращения удельного водопотребления населением и в отраслях экономики, непроизводственных потерь воды и внедрения водосберегающих технологий, в. ч. внедрение систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения;
- осуществления научно-исследовательских работ, направленных на достижение целей гарантированного обеспечения населения и отраслей экономики водными ресурсами;
- вовлечение в процесс управления использованием и охраны водных объектов водопользователей, широкого круга общественных организаций и населения;
- создание новой модели поведения всех водопользователей, вовлечение их в процесс повышения эффективности использования воды и ресурсосбережение.

Литература

1. *Конституции Российской Федерации* (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 г. № 6-ФКЗ и № 7-ФКЗ).
2. *Водный кодекс Российской Федерации* (от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ, ред. от 27.12.2009 г., с изм. и доп., вступившими в силу с 01.04.2010 г.).
3. *Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года* (утв. распоряжением Правительства РФ от 17.11.2008 г. № 1662-р), [Электронный ресурс] <http://government.consultant.ru/>.
4. *Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года и план мероприятий по ее реализации* (утв. распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 г. № 1235-р): [Электронный ресурс] <http://www.government.ru/content/governmentactivity.htm>.

ФОСФОР В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ АЛТАЯ

Рождественская Т.А., Пузанов А.В.

ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, E-mail: rtamara@iwep.asu.ru

PHOSPHORUS IN SURFACE WATER OF ALTAI

Rozhdestvenskaya T.A., Puzanov A.V.

IWEP SB RAS, Barnaul, E-mail: rtamara@iwep.asu.ru

Представлены данные по концентрации растворенного фосфора в водах Северного, Северо-Восточного и Северо-Западного Алтая. Наиболее низкие содержания Р наблюдаются в водах рек, водосборы которых испытывают наименьшее влияние хозяйственной деятельности.

Data on dissolved phosphorus concentration in water of the North, North-East and North-West Altai are given. The lowest P concentration is found in rivers the watersheds of which are the least exposed to anthropogenic impact.

Фосфор – важнейший биогенный элемент, однако его избыточное количество в поверхностных водах приводит к увеличению продуцирования органического вещества и, как следствие, деградации водных экосистем. Интенсивно развивающееся сельское хозяйство – значимый источник поступления биогенных элементов в окружающую среду. Применение фосфорных удобрений в течение длительного времени приводит к накоплению подвижного фосфора в пахотных и подпахотных горизонтах почв, откуда элемент попадает в поверхностные и подземные воды; вклад в ухудшение их качества вносят также стоки животноводческих предприятий и селитебных территорий.

Целью работы является оценка содержания фосфатов в поверхностных водах различных по степени хозяйственной освоенности провинций Алтая. Пробы воды отбирали в летний период 2007 г., определение РО выполнено фотометрическим методом.

Химический состав поверхностных вод определяется комплексом природных факторов (климат, состав горных пород, почвенный и растительный покров) и масштабами антропогенных нагрузок и может служить показателем воздействия человека на экосистемы. Водосборы рек рассматриваемых провинций Алтая существенно различаются по почвенно-геохимическим условиям и степени антропогенной нагрузки.

Реки Северного и Северо-Восточного Алтая в основном пресные, гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные, Северо-Западного – пресные и с относительно повышенной минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые или гидрокарбонатные магниевые, слабощелочные (табл. 1).

Реки используются, в основном, для рекреации, рыболовства, водопоя, орошения, в ряде случаев – для водоотведения. Промышленная нагрузка на водные объекты исследуемой территории ограничивается реками предгорий, а сельскохозяйственная – приходится в основном на предгорные районы и межгорные котловины.

Воды рек провинций Алтая достоверно различаются по среднему содержанию фосфатов (Северный – $0,035 \pm 0,002$, Северо-Восточный – $0,023 \pm 0,003$, Северо-Западный – $0,045 \pm 0,008$ мг/л по фосфору). Низкие концентрации Р в поверхностных водах Северо-Восточного Алтая связаны с низкой растворимостью основных фосфатных минералов, высокой поглотительной способностью почв этого района по отношению к фосфат-иону, обусловленной наличием в их составе

полуторных оксидов, интенсивным потреблением подвижных соединений элемента растительностью и отсутствием значимых антропогенных нагрузок. Содержание фосфатов в воде рек Северо-Восточного Алтая (табл. 2) соответствует данным, приводимым для озера Байкал [3].

Таблица 1

Макрокомпонентный состав поверхностных вод Алтая, мг/л

Река	Общая минерализация, г/л	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P-PO_4^{3-}
Северный Алтай								
Эликмонар	0,205	6,7	91,5	5,6	3,8	18	2,4	0,034
Эдиган	0,280	6,9	128,1	5,6	4,8	26	7,2	0,027
Чемал	0,190	7,2	85,4	4,9	2,9	22	0	0,024
Сема	0,362	7,0	170,8	4,9	3,4	14	19,2	0,036
Муны	0,244	7,0	109,8	4,9	5,3	18	9,6	0,030
Бирюля	0,441	7,5	183	5,3	5,3	30	12	0,040
Александровка	0,679	7,3	176,9	4,2	5,3	38	7,2	0,050
Сайдыс	0,265	7,1	207,4	5,6	4,3	34	14,4	0,040
Малая Сиульта	0,496	7,4	122	4,6	3,8	26	4,8	0,040
Улала	0,581	7,3	274,5	8,4	53	38	28,8	0,030
Майма (с. Урлу-Аспак)	0,452	7,2	237,9	4,55	3,4	20	20,4	0,030
Майма (с. Кызыл-Озёк)	0,388	6,8	213,5	5,6	4,8	42	16,8	0,027
Майма (устье)	0,374	7,2	323,3	8,4	5,8	46	14,4	0,050
Северо-Восточный Алтай								
Кыга	0,195	6,8	85,4	5,6	6,2	18	7,2	0,018
Кокши	0,090	7,0	36,6	5,6	2,9	2	<1,2	0,013
Большие Чири	0,204	6,8	91,5	4,6	5,8	12	1,2	0,018
Колдор	0,217	6,9	97,6	5,3	5,3	26	4,8	0,028
Самыш	0,206	7,1	91,5	5,3	4,8	26	4,8	0,020
Камга	0,102	7,8	42,7	5,3	2,9	6	2,4	0,030
Малая Иша	0,268	6,9	122	4,6	5,8	18	12,0	0,030
Иша	0,215	6,9	97,6	4,6	4,8	18	9,6	0,040
Чулышман	0,176	6,9	79,3	4,6	3,8	16	1,2	0,018
Бия	0,163	7,1	73,2	2,8	5,3	18	21,6	0,016
Северо-Западный Алтай								
Маралиха	0,615	8,1	286,7	5,6	5,8	28	30,0	0,060
Сосновка	0,709	8,0	323,3	8,4	7,7	4	32,4	0,070
Белая	0,444	8,3	201,3	5,6	2,9	28	14,4	0,070
Иня (с. Тегерек)	0,168	7,2	73,2	3,5	7,2	16	2,4	0,034
Высокогорное озеро (Коргонский хребет)	0,073	7,0	30,5	4,6	1,4	2	0	<0,005
Сентелек	0,309	7,8	134,2	7,0	3,8	12	16,8	0,050
Чарыш (у моста на трассе)	0,352	8,1	158,6	7,7	6,7	28	7,2	0,050
Чарыш (с. Чарышское)	0,271	7,8	115,9	9,8	3,8	24	6,0	0,020
Алей (с. Верх-Алейка)	0,508	6,9	244	7,0	2,4	48	14,4	0,070
Алей (г. Алейск)	0,634	7,9	250,1	37,1	21,6	8	31,2	0,020

В Северном Алтае наибольшие содержания фосфора наблюдаются в воде приустьевой части р. Маймы, что отражает влияние находящегося выше по течению г. Горно-Алтайска и густонаселенность нижнего течения реки, и р. Александровки, испытывающей нагрузки от животноводческой отрасли.

Максимальные концентрации свойственны водам рек Северо-Западного Алтая, испытывающего значительные антропогенные нагрузки (значительная распаханность территории, разработка многочисленных месторождений, наличие промышленных предприятий). Исключение составляет высокогорное озеро (табл. 1), имеющее преимущественно ледниковое питание.

Содержание фосфора в поверхностных водах различных регионов

Регион/Река	Единица измерения	Пределы колебаний	Среднее
Бассейн Оби (среднее течение) [2]: большие реки средние реки	мг Р- PO_4^{3-} /дм ³	0,01-0,05 0,01-0,13	0,03 0,07
Томская область [1]: р. Обь р. Чулым р. Томь	мг Р- PO_4^{3-} /дм ³		0,04 0,04 0,083
Оз. Байкал [3]	мг PO_4 /л		0,03

В целом содержание Р в водах рек Алтая находится на уровне фона (табл. 2) и соответствуют требованиям, предъявляемым к фасованным водам – 3,5 мг/л PO_4 [4]. Отмечается тенденция уменьшения концентрации фосфора с увеличением размеров водотока, что, вероятно, связано как с процессами разбавления, так и с процессами самоочищения рек.

Таким образом, концентрация фосфора в поверхностных водах Алтая отражает процессы природного движения вещества (образования и выноса продуктов выветривания пород и почвообразования), а также антропогенного воздействия на окружающую среду (сбросов сточных вод и отходов сельскохозяйственного производства). Наиболее низкие концентрации исследуемого элемента наблюдаются в водах рек, водосборы которых испытывают наименьшее влияние хозяйственной деятельности.

Литература

1. *Льготин, В.А.* Особенности и факторы формирования гидрохимического состояния поверхностных вод Томской области / В.А. Льготин, Ю.В. Макушин, О.Г. Савичев и др. // География и природные ресурсы. – 2005. – №1. – С. 39-46.
2. *Савичев, О.Г.* Влияние взаимодействий в системе вода-порода на формирование состава речных вод бассейна Оби / О.Г. Савичев // География и природные ресурсы. – 2009. – №2. – С. 74-79.
3. *Сутурин, А.Н.* Разработка стандартного образца состава глубинной байкальской воды / А.Н. Сутурин, Л.Ф. Парадина, В.Н. Эпов и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – №10. – С. 475-484.
4. *Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества.* СанПиН 2.1.4.1116-02. – Минздрав России. – М., 2002. – 11 с.

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ И ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СИБИРИ

Савичев О.Г. Томский политехнический университет, г. Томск, OSavichev@mail.ru

PROBLEMS OF DEFINITION OF BACKGROUND CONCENTRATION OF SUBSTANCES IN SURFACE WATERS AND ALLOWABLE DUMPS OF POLLUTING SUBSTANCES IN WATER OBJECTS OF SIBERIA

Savichev O.G. Tomsk polytechnical university, Tomsk, OSavichev@mail.ru

Рассмотрены проблемы определения фоновых химических составов поверхностных вод и допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. Предложены подходы к их решению.

Problems of definition of a background chemical compound of surface waters and allowable dumps of polluting substances in surface water objects are considered. Approaches to their decision are offered.

В соответствии с действующим водным законодательством Российской Федерации (РФ) целями государственного управления водными ресурсами являются обеспечение прав граждан на чистую воду благоприятную водную среду, а также поддержание качества поверхностных и подземных вод в оптимальном состоянии. Одним из инструментов, обеспечивающих её достижение, является процедура разработки нормативов допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ (ЗВ) в поверхностные водные объекты, призванная смягчить последствия одного из видов водопользования – водоотведения.

НДС устанавливаются для каждого выпуска сточных вод проектируемых (реконструируемых) и действующих предприятий-водопользователей, исходя из условий недопустимости превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ (ПДК) в контрольном створе или на участке водного объекта с учетом его целевого использования, а при превышении ПДК в контрольном створе – исходя из условия сохранения состава и свойств воды в водных объектах, сформировавшихся под влиянием природных факторов. При этом величина допустимого сброса (ДС) определяется как произведение их расхода q_{cm} на допустимую концентрацию загрязняющего вещества $C_{cm,dk}$ [1]. Обычно предполагается, что величина q_{cm} задана оптимально, исходя из действующих нормативов водоотведения. Поэтому основной задачей определения НДС достаточно часто является объективная оценка величины $C_{cm,dk}$. Однако существующие способы её расчета не безупречны как с теоретической, так и с практической точек зрения, что определяет актуальность их дальнейшего совершенствования.

Для решения большинства гидрохимических задач необходимо корректное математическое описание процессов формирования химического состава поверхностных вод, например, на основе использования системы дифференциальных уравнений турбулентного потока и турбулентной диффузии. Но из-за сложности использования таких моделей на практике обычно рассматривается система усеченных уравнений неразрывности потока вещества и воды, интегрирование которых при допущении возможности описания деструкции вещества с помощью линейного дифференциального уравнения первого порядка, позволяет получить выражение:

$$C_x = (C_\phi \cdot Q_\phi \cdot \gamma + C_{cm} \cdot q_{cm}) \cdot \exp(-k_c \cdot t) / (Q_\phi \cdot \gamma + q_{cm}), \quad (1)$$

где C_x и Q_x – концентрация вещества в воде и расход воды в контрольном створе, расположенном на расстоянии X от выпуска сточных вод (притока); C_ϕ и Q_ϕ – концентрация вещества в воде и расход воды до поступления бокового притока или сточных вод; C_{cm} и q_{cm} – концентрация вещества в сточных водах и их расход; γ – коэффициент смешения; k_c – константа самоочищения. Уравнение (1) после замены $C_x = \text{ПДК}$ и с учетом выражения для кратности общего разбавления n преобразуется к форме (2), используемой для расчета допустимых концентраций вещества в сточных водах $C_{cm, \text{доп}}$ [1]:

$$C_{cm, \text{доп}} = n \cdot (\text{ПДК} \cdot \exp(-k_c \cdot t) - C_\phi) + C_\phi. \quad (2)$$

Данная модель, на первый взгляд, отличается простотой и характеризует основные процессы антропогенной трансформации химического состава поверхностных вод за счет их смешения со стоками и деструкции загрязняющих веществ. Однако эти предположения не совсем верны из-за целого ряда причин. Перечислим лишь некоторые из них: простота модели исчезает при попытке учесть с помощью многочисленных коэффициентов разнообразные природно-техногенные условия, наблюдаемые на реальных водных объектах; изменение концентраций веществ далеко не всегда может быть описано уравнением (1); определение параметра C_ϕ в уравнении (2), имеющего смысл фоновой концентрации, теоретически недостаточно обосновано. В частности, «фоновой» обычно называется концентрация, рассчитываемая применительно к данному источнику примесей в фоновом створе водного объекта при расчетных гидрологических условиях и с учётом всех источников примесей, кроме рассматриваемого.

На практике за фоновую концентрацию вещества C_ϕ , согласно [2], принимается статистически обоснованная верхняя доверительная граница среднего содержания этого вещества, вычисленная с доверительной вероятностью 95 % по результатам гидрохимических наблюдений в створе, расположенном выше по течению от выпуска сточных вод. Если между расходом воды и концентрацией рассматриваемого вещества существует статистически значимая связь, то расчет проводится с её учётом, а если нет – то по формуле (3):

$$C_\phi = C_{cp} + Z_{k, \alpha} \cdot \sigma / \sqrt{M}, \quad (3)$$

где $Z_{k, \alpha}$ – критическое значение коэффициента Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 5\%$; M – длина ряда гидрохимических наблюдений; σ – среднее квадратическое отклонение концентрации вещества; C_{cp} – среднее арифметическое значение концентрации вещества в водном объекте в период года, наиболее неблагоприятный с точки зрения самоочищения [2].

Процедура вычисления фоновых концентраций как и расчет параметра n существенно осложняется использованием ряда поправок и ограничений, в результате чего на практике их определение нередко сводится к использованию формулы (3) для зимнего периода. Но самое главное, в настоящее время нет методики определения антропогенной и природной составляющих C_ϕ особенно для случаев, когда фоновая концентрация больше предельно допустимой. По этой причине громоздкие вычисления оказываются бесполезными, так как в нормативных документах указывается на целесообразность в подобных случаях проводить расчёт НДС на основе ПДК ($C_{cm, \text{доп}} = \text{ПДК}$). Кроме того, в настоящее время разработан и действует на всей территории РФ нормативный документ только для расчёта фоновых концентраций в водотоках [2], методика расчета фоновых концентраций в озёрах и водохранилищах в весьма сокращённом виде присутствует в [1], а расчет фоновых концентраций в болотных водах вообще не регламентируется.

Помимо указанных, существует еще целый ряд нерешенных вопросов, касающихся подготовки и использования гидрохимической и гидрологической информации, выбора нормируемых

показателей, выявления вклада природных и антропогенных факторов в формирование химического состава поверхностных вод и т.д. Например, достаточно часто встает вопрос о составе перечня нормируемых показателей. Понятно, что любая хозяйственная деятельность сопряжена с усилением природных миграционных циклов или созданием техногенных циклов для огромного количества веществ. Если для них всех разрабатывать нормативы, то это парализует или ликвидирует практически любое производство, в связи с чем ещё раз возникает вопрос о приоритетах использования и охраны природных ресурсов. Выход из этой ситуации ряду специалистов видится в нормировании только тех веществ, для которых зафиксированы случаи превышения ПДК. Но на территории России в поверхностных водах присутствуют компоненты, концентрации которых, независимо от антропогенной нагрузки, почти всегда больше нормативов (вещества, идентифицируемые как нефтепродукты, Fe, Cu, Mn и т.д.). Поэтому очень часто априори предполагается, что все вещества в концентрациях больше ПДК имеют антропогенное происхождение. Следовательно, весь расчет ПДС сводится к умножению значений расхода сточных вод на величину ПДК.

Несмотря на указанные выше и целый ряд других вопросов, проблема объективного определения допустимых сбросов ЗВ в поверхностные водные объекты требует своего решения. С учетом этого предлагается подход к определению $C_{ст.ок}$ на основе сравнения двух выборок объемом M в условно фоновом (C_{ϕ}) и нарушенном (C_p) состояниях. Возможность подобного подхода связана с тем, что смысл расчета нормативов ПДС как раз и состоит в нахождении такого уровня антропогенного воздействия на водный объект, при котором его состояние существенно не меняется. Иными словами, вероятность $\mathfrak{Z}$ отвергнуть нулевую гипотезу H_0 об однородности двух выборок не должна превышать принятый уровень значимости α : $\mathfrak{Z}(\chi \in O | H_0) \leq \alpha$, где ξ – статистика для проверки нулевой гипотезы, а O – критическая область. Если предположить, что значения C_{ϕ} и C_p распределены по закону Гаусса, а дисперсии σ_{ϕ}^2 и σ_p^2 известны и равны ($\sigma^2 = \sigma_{\phi}^2 = \sigma_p^2$ при постоянном водоотведении), то с учётом формулы (1) и при $k_c = 0$ в качестве статистики возможно использование критерия Стьюдента в виде:

$$Z = |C_{ст.ок} - C_{\phi}| / (n \cdot \sigma / \sqrt{2/M}). \quad (4)$$

Тогда ограничение для величины $C_{ст.ок}$ при заданном критическом значении $Z_{k,\alpha}$ может быть сформулировано в виде:

$$C_{ст.ок} \leq C_{\phi} + n \cdot Z_{k,\alpha} \cdot \sigma / \sqrt{2/M}, \quad (5)$$

где величина n для уже существующих предприятий может быть определена по данным наблюдений за предшествующий период действия НДС (по средним концентрациям), а для проектируемых выпусков – по нормативным значениям (для очистных сооружений) или равным 1 (для выпусков без очистки или для веществ, не указанных в СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения»). Таким образом, допустимая концентрация вещества в сточных водах каждого выпуска с поправкой на кратность разбавления n не должна выходить за пределы верхней доверительной границы изменения фонового содержания в поверхностных водах [3]. С учетом этого задача сводится к обоснованию и разработке приемлемого для практического использования способа определения величины C_{ϕ} .

В рамках решения этой проблемы предлагается понимать под фоновым условно равновесное состояние водного объекта, сформировавшееся под влиянием природных и антропогенных факторов, а в качестве количественной оценки гидрохимического фона целесообразно использовать среднее геометрическое за статистически однородный период продолжительностью достаточной, чтобы охватить несколько циклов маловодных и многоводных лет, то есть не менее 10–12 лет. При отсутствии подобных данных необходимо предварительно провести поиск

региональных зависимостей фоновых концентраций исследуемых веществ от гидрологических и гидрохимических показателей [4].

Литература

1. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей / утверждена приказом МПР России от 17.12.2007 г. № 333. – М.: МПР России, 2007. – 37 с.
2. Методические указания. Проведение расчётов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков: РД 52.24.622-2001. – М.: Росгидрометслужба, 2001. – 68 с.
3. Савичев О.Г. Оценка влияния сбросов сточных вод на минерализацию и общее содержание органических веществ в водах Томи // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т.308. – № 1. – С. 44-47.
4. Савичев О.Г. Фоновые концентрации веществ в речных водах таёжной зоны Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 334. – С. 169–175.

КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ШТОРМОВЫХ ВОЛН В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ

Сапрыкина Я.В., Кузнецов С.Ю.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН,

Москва, e-mail: saprykina@ocean.ru, kuznetsov@ocean.ru

QUALITATIVE REGULARITIES OF CHANGES OF STORM WAVES IN COASTAL ZONE

Saprykina Ya., Kuznetsov S.

P.P.Shirshov Institute of oceanology of RAS,

Moscow, e-mail: saprykina@ocean.ru, kuznetsov@ocean.ru

На основе анализа экспериментальных данных описана пространственно-временная изменчивость индивидуальных волн в береговой зоне моря. Показано, что индивидуальные волны имеют схожий частотно-фазовый состав только на начальной стадии их трансформации. При приближении волн к берегу, состав индивидуальных волн изменяется хаотически и не может быть описан на основе простых закономерностей.

On the base of analysis of experimental data, time and spatial variability of individual wave in coastal zone is described. It is revealed that individual waves have similar frequency-phase content only at initial stage of it transformation. During approach to shore, the content of individual waves change chaotic and cannot be parameterized by simple dependencies.

Введение

Многие проблемы динамики береговой зоны требуют точного описания поля волн. На практике обычно используются осредненные по времени параметры волн. Однако, например, процессы взвешивания и транспорта наносов, а также экстремальные волновые нагрузки на береговые сооружения определяются индивидуальными волнами и никогда не могут быть корректно оценены на основе осредненных волновых параметров. В природе практически все ветровые и штормовые волны нерегулярны, т.е. параметры индивидуальных волн, их мгновенный спектральный (или амплитудно-частотный состав) изменяются от одной волны к другой и могут значительно отличаться от осредненного по времени спектра волн. Цель данной работы – выяснить, как изменяется в пространстве и времени амплитудно-частотный состав индивидуальных нерегулярных волн, каковы закономерности и физические механизмы этих изменений и возможна ли простая качественная модель для описания изменчивости параметров индивидуальных волн в береговой зоне.

Методы исследования

Для описания изменений амплитудно-частотного состава индивидуальных волн в береговой зоне на некотором расстоянии от берега, по аналогии с теорией волн Стокса, возвышения свободной поверхности (волны) можно представить в виде суммы первой и второй кратных нелинейных гармоник с медленно меняющимися во времени мгновенными амплитудами a_1 и a_2 и круговой частотой ω :

$$w(t) = a_1(t) \cos(\omega t) + a_2(t) \cos(2\omega t + \phi). \quad (1)$$

В действительности мгновенные амплитуды a_1 и a_2 являются огибающими волн соответствующих частотных диапазонов. Такое представление позволяет описать временную и пространственную изменчивость индивидуальных волн, исследуя изменения сдвига фаз φ между первыми и вторыми гармониками и изменения амплитуд их огибающих. Огибающие волн частотного диапазона первых и вторых гармоник вычислялись по формуле:

$$e_{1,2}(t) = \sqrt{\{L[w(t)]\}^2 + \{H[L[w(t)]]\}^2}, \quad (2)$$

где $H[.]$ – преобразование Гильберта, $L[.]$ – оператор линейной фильтрации необходимых частотных диапазонов и $w(t)$ – измеренные в эксперименте возвышения свободной поверхности.

Изменения амплитудно-частотного состава индивидуальных нерегулярных волн при их распространении к берегу оценивались путем анализа эволюции спектра волн, спектров огибающих и функции когерентности между огибающими первых и вторых гармоник. Для оценки нелинейных связей между гармониками, возникающими за счет трехволновых нелинейных взаимодействий, был применен биспектральный анализ.

Бихроматические волны: лабораторный эксперимент

Изменения огибающих первых и вторых гармоник ($a_1(t)$ и $a_2(t)$) были исследованы на простом примере трансформации волн с групповой структурой (бихроматических волн) на постоянной глубине над ровным дном ($kh \approx 1$), без обрушения. Для анализа использовались данные лабораторного эксперимента, проведенного в гидрологическом лотке Института водного строительства Польской академии наук (г. Гданьск, 2005) в ноябре 2005 г. Длина лотка – 64 м, ширина – 0,8 м. Волны (возвышения свободной поверхности) измерялись синхронно в пятнадцати точках лотка, начиная с расстояния 4 м от волнопродуктора, через каждые 3 м до расстояния 47 м. Для регистрации волнения использовались струнные датчики: 8-емкостных и 7 – сопротивления. Длительность измеренных серий возвышений свободной поверхности составляла 4 мин, частота опроса датчиков – 200 Гц.

Из анализа эволюции спектра волн хорошо видно, что по мере их трансформации волн происходит периодический обмен энергией между первыми и вторыми гармониками, что проявляется в периодическом изменении их амплитуд. В результате этих периодических нелинейных взаимодействий происходит постепенное расширение частотного диапазона как первых, так и вторых гармоник. После каждого полного цикла околорезонансных нелинейных взаимодействий в спектре волн появляются новые частоты. Спектр частотного диапазона первых гармоник расширяется из-за обратной передачи энергии от более высоких, чем вторая, гармоник. Частотный диапазон вторых гармоник расширяется как за счет суммарных нелинейных взаимодействий с вновь появившимися гармониками частотного диапазона первых гармоник, так и за счет разностных нелинейных взаимодействий с более высокими по частоте, чем вторые, гармониками.

Такое расширение спектра волн в свою очередь ведет к пространственному изменению вида огибающих как первых, так и вторых гармоник, и, соответственно, к изменению их спектра. Поэтому, в разных точках пространства огибающие изменяются во времени несинхронно. Однако на начальной стадии трансформации волн, когда расширение частотных диапазонов первых и вторых гармоник и спектра волн еще мало, огибающие изменяются почти синхронно. На этих расстояниях от берега индивидуальные волны имеют практически одинаковую амплитудно-частотную структуру, когда амплитуды вторых гармоник пропорциональны амплитудам первых. При дальнейшей трансформации волн синхронность изменения огибающих частотных диапазонов первых и вторых гармоник постепенно нарушается за счет появления временного сдвига между максимумами их огибающих и периодических изменений спектров огибающих, происходящих за счет прямой и обратной передачи энергии между первыми и вторыми гармониками (Кузнецов, Сапрыкина, 2002). Несинхронные изменения огибающих свидетельствуют о нару-

шении пропорциональности между амплитудами первых и вторых гармоник в индивидуальных волнах: волны с большими амплитудами первых гармоник и маленькими амплитудами вторых чередуются с волнами, имеющими большие амплитуды и первых и вторых гармоник. При дальнейшей трансформации волн, амплитудно-частотная структура индивидуальных волн начинает меняться хаотически.

На начальной стадии трансформации волн, когда амплитуды вторых гармоник пропорциональны амплитудам первых, эта зависимость имеет квадратичный характер, как в теории волн Стокса. При последующей трансформации волн и расширении их спектра значения функции когерентности уменьшаются, зависимость между амплитудами вторых и первых гармоник с течением времени становится хаотической и амплитудно-частотная структура одной индивидуальной волны сильно отличается от другой волны.

Нерегулярные волны: натурный эксперимент

Для анализа выбраны данные международного натурального эксперимента, проведенного на Черном море в Болгарии (п. Шкорпиловцы) в 2007 г. Для регистрации волнения использовались 15 струнных волнографов: 7 емкостных датчиков и 8 датчиков сопротивления. Измерения во всех 15 точках производились синхронно с частотой опроса датчиков 5 Гц. Длина измеренных серий составляла 1 ч.

Измеренные возвышения свободной поверхности были исследованы вышеописанными методами, и проведенный анализ подтвердил результаты, полученные для регулярных волн в лабораторном эксперименте.

При приближении волн к берегу, как и в случае бихроматических волн, в результате нелинейных взаимодействий образуются вторые гармоники, и существует периодический обмен энергией между первыми и вторыми гармониками, отражающийся в периодическом изменении их амплитуд.

Значения функции когерентности между огибающими частотного диапазона первых и вторых гармоник на начальной стадии трансформации относительно высоки – около 0.7. Это означает, что огибающие частотного диапазона первых и вторых гармоник меняются достаточно синхронно, а амплитуды вторых и первых гармоник в индивидуальных волнах пропорциональны. Так же, как и в лабораторных волнах, обратная передача энергии уменьшает значения функции когерентности между огибающими волн частотного диапазона первых и вторых гармоник и нарушает синхронность их изменения во времени.

Биспектральный анализ показал, что волновое движение не становится полностью хаотичным. Нелинейная связь второго порядка между первыми и вторыми гармониками существует на всех стадиях трансформации волн. Высокие значения функции бикогерентности (порядка 0.6) свидетельствуют о том, что на протяжении всей береговой зоны первые и вторые гармоники волн являются связанными волнами, возникающими в результате трехволновых взаимодействий. Относительный сдвиг фаз (бифаза) между первыми и вторыми гармониками в волнах, в формуле (1) квазипериодически меняется по мере приближения волн к берегу с периодом, равным характерному времени нелинейных взаимодействий, что является основной причиной, приводящей к различиям амплитудно-частотного состава индивидуальных волн.

Выводы

На основе анализа экспериментальных данных были исследованы пространственно-временные изменения амплитудно-частотного состава индивидуальных волн. Обнаружено, что в результате нелинейных околорезонансных трехволновых взаимодействий амплитудно-частотная структура индивидуальных волн меняется квазипериодически как в пространстве, так и во времени. Сдвиг фаз между первыми и вторыми гармониками строго зависит от направления передачи энергии между первыми и вторыми гармониками и соотношения между интенсивностями нелинейных и

дисперсионных процессов. Поэтому построение простой качественной физической модели (параметризации), описывающей изменчивость индивидуальных волн в береговой зоне, возможно только на начальной стадии их трансформации на основе, например, обобщения теории волн Стокса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №08-05-00648.

Литература

Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В. Экспериментальные исследования эволюции групп волн в береговой зоне моря // Океанология. – 2002. – Т. 42. – № 3. – С. 356-363.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ АНОМАЛЬНО ВЫСОКИХ ШТОРМОВЫХ ВОЛН

*Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В., Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН,
Москва, e-mail: saprykina@ocean.ru, kuznetsov@ocean.ru*

PHYSICAL MECHANISMS OF FORMATION OF ABNORMAL HIGH STORM WAVES

*Kuznetsov S., Saprykina Ya., P.P.Shirshov Institute of oceanology of RAS,
Moscow, e-mail: saprykina@ocean.ru, kuznetsov@ocean.ru*

По данным натурных и лабораторного экспериментов методами взаимокорреляционного, спектрального, вейвлет и спавлет анализов показана роль нелинейной неустойчивости в формировании аномально высоких волн. Обсуждаются факторы, приводящие к возникновению и развитию нелинейной неустойчивости в природе.

On the base of data of field and laboratory experiments using methods of spectral, mutual correlation, wavelet and spawelet analyses the main role of nonlinear instability in formation of abnormal high waves is shown. The factors, leading to arising and development of nonlinear instability in nature are discussed.

Введение

Изучение и описание штормовых волн в открытом море важно как для судоходства, так и для оценки их последующего воздействия на берега и технические сооружения в береговой зоне моря. Поэтому наиболее интересны знания о волнах наибольшей высоты – аномальных волнах, наблюдающихся в данной акватории. В русскоязычной литературе такие волны также принято называть волнами-убийцами.

Существует множество критериев определения аномально высоких волн. Однако, как показали проведенные исследования, ни один из локальных волновых параметров, которые обычно применяются для описания поля волнения, не может служить надежным критерием присутствия или отсутствия волн-убийц. Поэтому на практике широко используется только один критерий: высота аномально высокой волны в два раза превышает значительную высоту волн. В этом случае под определение волн-убийц попадают и относительно невысокие волны, например, высотой чуть более 2 м на фоне волн со значительной высотой порядка 1 м, которые в обычном смысле не представляют большой опасности, но записи таких волн являются весьма важными для изучения физических механизмов формирования настоящих волн-убийц.

С точки зрения физики, аномальные волны могут образовываться, прежде всего, за счет линейных процессов, позволяющих фокусировать волновую энергию. Например, взаимодействие волн с сильными неоднородными течениями, суперпозиция групп волн различных волновых систем, распространяющихся как в разных направлениях, так и в одном, эффект дисперсионного сжатия, когда волны с разными периодами распространяются с разными фазовыми скоростями, и при определенных условиях могут догонять друг друга, порождая волну большой амплитуды.

Однако, наиболее важными для формирования волн-убийц по-прежнему остаются нелинейные их свойства волн. Степень нелинейности волн зависит от их крутизны – произведения амплитуды волны на волновое число: чем круче волна, тем сильнее выражены

нелинейные свойства. Поэтому увеличение энергии волнения (и соответственно, крутизны волн) любым способом, например за счет линейных процессов или природных факторов, обязательно приводит к проявлению нелинейных свойств волн. Нелинейные эффекты могут приводить возникновению различного рода неустойчивостей. Наиболее известной является модуляционная неустойчивость типа Бенджамина-Фейра, особая роль которой в формировании волн-убийц подчеркивается многими исследователями и подтверждается результатами численного моделирования и экспериментальными данными.

Механизм формирования волн-убийц под воздействием модуляционной неустойчивости в настоящее время является предметом интенсивных исследований, поскольку остается неясным, какие точно условия в природе приводят к ее появлению в реальных волнах и как именно формируются аномальные волны в ее присутствии. Проведенные нами экспериментальные исследования проясняют физические механизмы формирования аномально высоких волн в присутствии нелинейной неустойчивости.

Физический механизм возникновения аномально высоких волн в присутствии нелинейной неустойчивости

Ранее авторами в результате анализа экспериментальных данных шторма с аномальной волной высотой 12 м измеренной бумом, в Черном море установленном на Черном море в районе г. Геленджика, была предложена концепция образования аномально высоких волн за счет нелинейной неустойчивости типа Бенджамина-Фейра [1]. Было показано, что нелинейная неустойчивость, порождает групповую структуру волн, сочетающую несколько подструктур. Наличие нескольких групповых структур и несовпадение их флуктуаций определяет пространственно-временную изменчивость частотного состава индивидуальных волн. Суперпозиция максимальных волн в этих групповых структурах может приводить к появлению экстремальных по высоте волн. Было обнаружено, что в присутствии нелинейной неустойчивости нелинейные взаимодействия приводят к смещению максимума спектра в низкочастотную область, происходящее дискретно как по частоте, так и по времени. Однако эта концепция требовала дополнительной проверки и анализа по другим экспериментальным данным, полученным в нескольких точках пространства. Для этого нами были проведены лабораторный и натурный эксперименты.

Лабораторный эксперимент

Лабораторный эксперимент по изучению влияния нелинейной неустойчивости типа Бенджамина Фейра на формирование нерегулярности волнения и образование аномально высоких волн был проведен в большом волновом канале (г. Ганновер, Германия) в октябре 2009 года. Длина канала 300 м, глубина воды – 6 м, ширина 6 м. Было установлено 28 волнографов через каждые 10 метров. Частота опроса – 240 Гц, длина записей – от 3 до 6 минут, всего получено 32 серии измерений для условий глубокой воды.

Моделировалась трансформация изначально бихроматического спектра волн с разной шириной спектра (от 1 до 30% от средней частоты спектра, равной 0,7 Гц) и различной крутизной волн H/L – от 0,04 до 0,14, где H – высота волны, а L – длина волны.

Обнаружено, что эволюция спектра как крутых, так и пологих волн идет независимо от процессов обрушения, примерно по одному и тому же сценарию: постепенное расширение спектра в высокочастотную область и затем сдвиг частоты максимума спектра в низкочастотную область (примерно на 20%). Чем круче волны, тем быстрее происходит этот процесс. Возможно, развитие нелинейной неустойчивости усиливается процессами обрушения, происходящими при трансформации крутых волн.

Таким образом, модуляционная неустойчивость является основным механизмом смещения максимума спектра в низкочастотную область. Это смещение дискретно как по про-

странству, так и во времени и является основной причиной изменчивости амплитудно-частотного состава индивидуальных волн. Аномально высокие волны возникают как только начинается сдвиг частоты максимума спектра. Это происходит из-за того, что модуляционная неустойчивость формирует частоты – «боковые лепестки», в результате чего внутри заданной групповой структуры волн создаются подструктуры (группы волн), соответствующие частотам боковых лепестков неустойчивости. Суперпозиция этих подструктур (групп волн) во время быстрой перестройки спектра формирует аномально высокие по высоте волны (в два раза превышающие по высоте высоту значительных волн).

Такая эволюция спектра характерна для спектров, шириной до 5% от частоты максимума спектра. В спектрах шириной более 5% составляющие его начальные бихроматические гармоники эволюционируют независимо друг от друга как монохроматы по такому же сценарию. В результате такой «независимой» эволюции сдвиг частоты максимума в низкочастотную область происходит медленнее и всего на 10% при том же пробеге волн и крутизне. Таким образом, лабораторный эксперимент полностью подтвердил высказанную ранее авторами концепцию о формировании аномально высоких волн за счет нелинейных свойств волнения.

Натурный эксперимент

Натурный эксперимент проводился в октябре 2009 года в пос. Кацивели на стационарной платформе Экспериментального отделения Морского Гидрофизического института НАНУ. На платформе была установлена автономная система регистрации, которая позволяла записывать хронограммы волнения в 4-х точках в пределах платформы, отстоящих друг от друга на расстоянии около 10 м. Для полноценной пространственной регистрации волнения в случае шторма датчики были расположены с учетом преимущественных направлений ветра. Непрерывная запись волнения велась в течение 10 суток.

По данным эксперимента, во время одного суточного шторма было выделено 6 случаев аномально высоких волн и подробно рассмотрены условия и механизмы их формирования. Во всех записях, содержащих аномально высокие волны, наблюдается сдвиг во времени частоты максимума спектра в низкочастотную область, происходящий дискретно по частоте и времени из-за нелинейных процессов. В случае нелинейной неустойчивости (типа Бенджамина-Фейра) это сдвиг происходит на временных масштабах 3-10 периодов волн, а в случае нелинейной трансформации смешанного волнения в зыбь – на масштабах 10-100 периодов волн. Это хорошо согласуется с ранее полученными результатами лабораторного эксперимента. Аномально высокие волны образуются в момент перестройки частоты максимума спектра в низкочастотную область, когда сдвиг частоты происходит быстро и дискретно.

Экспериментальными данными подтвержден механизм возникновения волн-убийц за счет сложения нескольких групповых структур, возникающих в результате развития нелинейной неустойчивости. Методами вейвлет-анализа и взаимного спектрального анализа показано, что фазовые скорости частотных компонент аномально высоких волн сильно отличаются от линейной теории, что свидетельствует о нелинейном механизме их возникновения. Гармоники с частотами выше максимума спектра распространяются в полном соответствии с линейной теорией волн, а гармоники соответствующие боковым лепесткам спектра с неустойчивостью Бенджамина-Фейра распространяются со скоростями на 10-20% превышающими линейную теорию.

Так же в ходе этого эксперимента впервые удалось оценить время жизни аномально высоких волн, составляющее доли их периода и пространственные масштабы, составляющие около половины длины волны соответствующей максимуму частотного спектра.

Во время эксперимента был проведен устный опрос капитанов маломерных судов о случаях наблюдения опасного экстремального волнения. По мнению очевидцев, на Черном море наиболее опасные волновые ситуации возникают при ветровом усилении волн зыби.

Таким образом, ветровое усиление зыби, увеличивающее крутизну волны, может вызывать развитие нелинейной неустойчивости, приводящей к возникновению аномально высоких волн за счет нелинейного возникновения нескольких групповых структур и их последующей линейной суперпозиции.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты 08-05-00648 и 09-05-90430 и ФЦП «Мировой океан», государственный контракт № 01.420.1.2.0006.

Литература

1. Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В., Косьян Р.Д., Пушкарев О.В. Механизм образования экстремальных штормовых волн на Черном море // Доклады Академии наук. – 2006. – Vol. – 408. – No. 1. – С. 108–112.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОСРЕДНЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА В ТРУБАХ

Саттаров М. А.

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии
АН Республики Таджикистан, Душанбе, msattarov@mail.ru

HYDRODYNAMIC METHODS FOR CALCULATION OF AVERAGED CHARACTERISTICS OF TURBULENT FLOW IN PIPES

Sattarov M. A.

Institute of Water Problems, Hydroenergetics and Ecology Tadjikistan Academy of Sciences, Dushanbe, msattarov@mail.ru

Получен ряд решений уравнений турбулентного потока в круглых и плоских трубах; выведены соотношения возникновения вихревой вязкости, длины пути смешения и логарифмические законы установившегося течения как при отсутствии, так и при наличии градиента давления. Показано согласие данных опытов Никурадзе с полученными аналитическими формулами.

A number of solutions of equations of turbulent flow in round and flat pipes have been obtained. Relationships of eddy viscosity initiation, mixing length and logarithmic velocity distribution law considering pressure gradient and without it have been found. An agreement of obtained analytical formulas with Nikuradze experiments has been shown.

Как известно [1], в системе уравнений Рейнольдса компоненты осредненной скорости и давления имеют тот же вид, что в уравнениях Навье-Стокса для мгновенных скоростей частиц, с той лишь разницей, что к компонентам ньютонова напряжения прибавились девять неизвестных компонент рейнольдсова напряжения $\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j}$, ($-\overline{u'_i u'_j} \neq -\overline{u'_j u'_i}$):

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{X_i}{\rho} - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \Delta \bar{u}_i - \frac{1}{\rho} \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j}, \quad (i, j = 1, 2, 3), \quad (1)$$

где $u_i, u'_i, \bar{u}_i$ – мгновенные, пульсационные и осредненные составляющие скорости частиц, $\bar{p}$, ρ и ν – давление, плотность и кинематическая вязкость несжимаемой жидкости; X_i – проекции объёмных сил, Δ – оператор Лапласа.

После открытий Буссинеска (1877) и Рейнольдса (1895) до середины 60-х годов XX века были опубликованы десятки тысяч статей, которые были обобщены и развиты в трудах Прандтля, Кармана, Таунсенда, Хинце и ряда ученых СССР [2].

Обзор около 2000 работ 60-90-х гг. приведен в монографии [3], где большое место уделено гипотезам и спектральным законам А.М. Колмогорова [4] и его последователей по турбулентности при больших числах Рейнольдса. В [3] вопрос об универсальности Лог-закона остается открытым.

А.Н. Колмогоров при выводе системы уравнений Навье-Стокса, предположил

пропорциональность тензора рейнольдсова напряжения тензору скоростей деформации [4]:

$$t_{ij} = -r \overline{u'_i u'_j} = A \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - d_j \frac{2}{3} r k = 2A \bar{D}_j, \quad d_j = \begin{cases} 1, & \text{если } i \neq j; \\ 0, & \text{если } i = j \end{cases} \quad (2)$$

где $A = r l \sqrt{k} = r l \sqrt{(u_1'^2 + u_2'^2 + u_3'^2)/2}$ – вихревая вязкость; l и k – линейный масштаб пульсаций и их кинетическая энергия в единице массы. На основе (2) и ряда гипотез и пульсационных соотношений система уравнений (1) была приведена к замкнутой системе уравнений с тремя неизвестными постоянными.

Предположим, что компоненты рейнольдсова напряжения являются функциями соответствующих компонент градиента осредненной скорости, в силу неразрывности жидкости разложим их в ряд в окрестностях точек экстремума скорости по степеням $\partial \bar{u}_i / \partial x_j$ и систему (1) представим так [6]:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \frac{X_i}{r} - \frac{\partial \bar{p}}{r \partial x_i} + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{t_{ij}^*}{r} + e_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{1}{2} e_j^* \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right)^2 + nN \right], \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (3)$$

Система (3) – замкнутая модификация уравнений среднего движения гидромеханики с добавочными коэффициентами, $N(\partial \bar{u}_i / \partial x_j)$ – остаточный член формулы Тейлора. Нетрудно убедиться, что она получается при замене гипотезы (2) на новую расширенную гипотезу вида $(\overline{u'_i u'_j} \neq -\overline{u'_j u'_i})$:

$$\frac{t_{ij}}{r} = \frac{1}{2} (\overline{u'_i u'_j} - \overline{u'_j u'_i}) \approx \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{t_{ij}^*}{r} + \frac{t_{ji}^*}{r} \right) + \left(e_j^* \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + e_j \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{2!} \left(e_j^* \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right)^2 + e_j \left(\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)^2 \right) + \dots \right\}, \quad (4)$$

где

$$t_{ij}^* = -r \overline{u'_i u'_j} \Big|_*, \quad e_j^* = \partial(-\overline{u'_i u'_j}) / \partial(\partial \bar{u}_i / \partial x_j) \Big|_*, \quad e_j'^* = \partial^2(-\overline{u'_i u'_j}) / \partial^2(\partial \bar{u}_i / \partial x_j)^2 \Big|_*, \dots \quad (5)$$

Добавочные коэффициенты (5) являются прототипами величин в полуэмпирических уравнениях Буссинеска, Прандтля-Кармана и др.

В теориях подобия и размерностей модели течения в пограничных слоях построены без градиента давления в предположении, что градиент скорости является функцией расстояния от стенки, касательного напряжения и плотности жидкости [2]. Такие уравнения нетрудно получить и из системы уравнений (3). Например, для случая установившегося движения в плоских и круглых трубах с учетом условия симметрии на оси потока, т.е. при $u_z(0) = 0$, после разового интегрирования, получено нелинейное уравнение ($N=0$):

$$(n + e_x^0) u_z + \dots = -e_x'^0 u_z^2 / 2, \quad (6)$$

Равенство (6) выполняется при следующих условиях:

$$u_z \equiv 0 \quad (6a) \quad \text{или} \quad u_z = -2q(z) \quad (u_z < 0, \quad q = (n + e_x^0) / e_x'^0). \quad (6b)$$

Решением (6a) будет $u_1 = const. \neq 0$ (поток движется как твердое тело) или $u_1 \equiv 0$ (жидкость находится в гидростатическом равновесии). Из (6б) следует линейная связь между частотой

турбулентности и градиентом скорости. При $q(x) = q_0 R (R - z)$ из (6б) получаем логарифмический закон:

$$u_z - u_e = q_0 R \ln[(R - z)/d] \text{ и } u_{\max} \equiv u_{\max}^0 - u_e = q_0 R \ln[R/d]. \quad 0 \leq z \leq R - d \quad (7)$$

Здесь $R = R_e + d$ – радиус трубы; u_e – динамическая скорость в точке $z = R_e$ соприкосновения ламинарного и турбулентного слоев движения, q_0 – частота пульсации в точке $z = 0$, R_e и d – турбулентный и ламинарный слои потока. Из уравнений (6)-(6б) определяются квадрат длины пути смешения l^2 и частота турбулентности q , соответственно:

$$\dot{e}_x^0 \equiv l^2 = 2(n + e_x^0)/|u_z| \quad \text{и} \quad q = |u_z|/2 \quad (6в)$$

На рис. 1 показаны профили скоростей течения воды в трубе ($d = 1$ см, $I = 0,0595$; $1,255$ и $R/d_1 = 1000$ и $R/d_2 = 3000$), данные приведены в таблице 2. Опытные [5] – $\circ$; по закону (7) – сплошные линии. Видно, что с ростом I растет проникающая способность турбулентного ядра в глубь ламинарного подслоя. На рисунке 1: 1 – вихревая вязкость, вычисленная по формуле (9); 2 – длина пути смешения l ; 3 – частота пульсации q , вычисленная по формуле (6б).

Для равномерных потоков в плоских ($s = 0$) и круглых ($s = 1$) трубах уравнение (3) принимает вид [5]:

$$-\nu(1 + \bar{\varepsilon}_{x\xi})u_\xi + \nu N(\xi) = gI\xi/(1 + \sigma) \quad (\bar{\varepsilon}_{xx} = e_{xx}/n) \quad (8)$$

Из (8) для приведенной величины вихревой вязкости получаем формулу:

$$\bar{\varepsilon}_{x\xi} = [\nu N(\xi)(1 + \sigma) + gI\xi]/[\nu(1 + \sigma)|du/d\xi]| - 1, \quad (9)$$

При $N(x) = 0$, заменяя функцию $n(1 + \bar{\varepsilon}_b(x))$ ее средним значением $\overline{\bar{\varepsilon}_{xx}(x)}$, из (8) получаем удобную для инженерных приложений формулу для профиля скоростей (парабола Буссинеска) и расходной скорости U :

$$\bar{u}(x) = gIR^2(1 - \bar{x}^2)/2n(1 + s)\overline{\bar{\varepsilon}_{xx}(x)}, \quad U = 2^s gIR^2/n\bar{\varepsilon}_U(1 + s)^2(3 + s). \quad (\bar{x} = x/R) \quad (10)$$

С учетом равенства $\bar{\bar{\varepsilon}}_{xx} = 1 + \bar{\bar{\varepsilon}}_{\bar{u}}$, в поле осредненной скорости $\bar{u}$ получаем коэффициент вихревой вязкости $\bar{\varepsilon}_{xx} \approx \bar{\varepsilon}_{\bar{u}}$, соответственно:

$$\overline{\bar{\varepsilon}_{\bar{u}}(\xi)} = \frac{gIR^2(1 - \bar{\xi}^2)}{2\bar{u}(\xi)(1 + \sigma)} - 1 \quad \bar{\varepsilon}_U = \frac{2^\sigma IRat_{cp}}{4(1 + \sigma)^2(3 + \sigma)} - 1 \quad \left(Rat_{cp} = \frac{Re_U}{Fr_U} \equiv \frac{Ud}{\nu} : \frac{U^2}{gd} = \frac{gd^2}{\nu U} \right).$$

Заменяя $n(1 + \bar{\varepsilon}_b(x))$ на $\overline{\bar{\varepsilon}_{xx}(x)}$ из (7) для профиля осредненных скоростей и скорости U ($\bar{x} = x/R$) получаем:

$$\bar{u}(x) = gIR^2(1 - \bar{x}^2)/2n(1 + s)\overline{\bar{\varepsilon}_{xx}(x)}, \quad U = 2^s gIR^2/n\bar{\varepsilon}_U(1 + s)^2(3 + s) \quad (11)$$

Отсюда следует формула оценки коэффициента вихревой вязкости:

$$\bar{\varepsilon}_U = [2^{\sigma-2} I Rat_{cp} / (1 + \sigma)^2 (3 + \sigma)] - 1, \quad (Rat_{cp} = Re_U / Fr_U = g d^2 / \nu U). \quad (12)$$

Итак, в поле средней скорости U вихревая вязкость $\bar{\varepsilon}_U$ возникает при

$$2^{\sigma-2} I Rat / (1 + \sigma)^2 (3 + \sigma) > 1 \quad \text{или} \quad 2^{\sigma-2} I g d^2 / \nu (1 + \sigma)^2 (3 + \sigma) U > 1 \quad (13)$$

Следовательно, в равномерном течении определяющими факторами $\bar{\varepsilon}_U$ являются градиент давления I , число подобия $Rat_{cp} = Re_U / Fr_U$ и форма живого сечения потока. Вне поля силы тяжести при $I = 0$ $\bar{\varepsilon}_U$ не возникает.

Среди множества опытов лабораторные данные Никурадзе [5] выделяются точностью и полнотой полученных данных о распределении скоростей частиц жидкости в живом сечении потока в гладких и шероховатых трубах.

На рисунке 1 показана правая ветвь вихревой вязкости по формуле (9) при $N(x) = 0$ часть профиля скоростей в гладкой трубе, обусловленная ею, ($d = 1 \text{ см}$; $I_1 = 0,0295$; $1,255$; $\nu = 0,0135 \text{ см}^2 / \text{с}$). На отрезке $1 \leq \bar{r} < 1/2$ вязкость монотонно растет, достигая своего максимума в точке. Динамическая скорость $u_e = v_*$, отнесенная к точке стенки $\bar{r} = 1$ (у Никурадзе отсчет ведется от стенки $\bar{r} = 1$), на самом деле относится к точке $\bar{r} \cong 1 - d$, $d \neq 0$. Ветвь вязкости на отрезке $1/2 \leq \bar{r} \leq 1$ убывает, имея отличный от нуля минимальный предел в точке $r = R_e = R - d$ (табл. 1). В опытах Никурадзе обнаружено значительное влияние шероховатости стенки на величину гидравлического сопротивления трубы, и тем самым на величину расхода трубы (в шероховатой трубе на 30-50% меньше, чем в гладкой). Но влияние шероховатости на вихревую вязкость почти не наблюдается (<5-8%), т.е. она является в основном функцией кинематических структур вязкой жидкости.

На рисунке 2 приведены графики зависимости коэффициента сопротивления λ :

$$\lambda = [2^{4-\sigma} (1 + \sigma)(3 + \sigma) \bar{\varepsilon}_{trcr}^+] / Re_{cp} = 2^\sigma I / Fr_{cp} (1 + \sigma) \quad (14)$$

от чисел Рейнольдса Re и Fr Фруда, Fr , $\lambda = f_1(Re / Re_{\max})$, $\lambda = f_2(Fr / Fr_{\max})$ для течения воды через гладкие ($d = 2 \text{ см}$) и шероховатые ($d = 2,474$; $2,434$; $2,434$ и $2,412 \text{ см}$) латунные трубы при высотах $k = 0,01$; $0,02$; $0,04$; $0,08 \text{ см}$. При малых Re и Fr в шероховатых трубах в зависимости от величины k ведет себя неустойчиво и с ростом аргумента стремится к предельному значению, а в гладких трубах с ростом Re и Fr λ монотонно убывает.

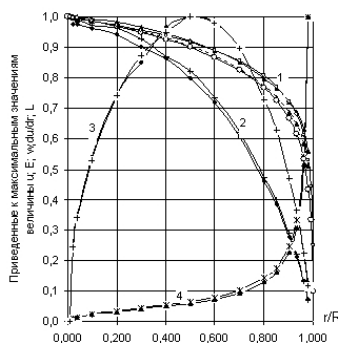


Рис. 1.

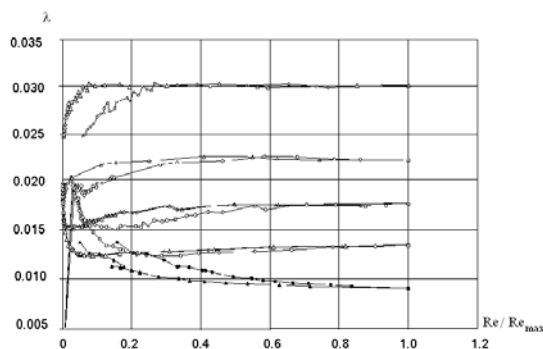


Рис. 2

Таблица 1

Изменение вихревой вязкости в сечении трубы ($d=10$ см) при $n = 0,01125; 0,0111; 0,0111; 0,0075; 0,0075$ см²/с при $I= 0,48; 0,91; 1,59; 2,45; 2,82; 5$.

y , см от стенки	$\nu + \varepsilon(y)$	$\nu + \varepsilon(y)$	$\nu + \varepsilon(y)$	$\nu + \varepsilon(y)$	$\nu + \varepsilon(y)$	$\nu + \varepsilon(y)$
5,0000	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4,5000	503,2	734,7	949,5	1176,8	1781,0	3157,7
4,0000	802,4	1180,0	1570,1	1941,9	2998,8	5317,1
3,5000	1001,5	1477,3	1936,3	2413,5	3842,3	6812,5
3,0000	1091,1	1646,3	2161,9	2752,5	4322,5	7664,1
2,5000	1113,1	1675,5	2195,7	2761,8	4433,4	7860,6
2,0000	1090,1	1639,5	2168,5	2673,2	4254,4	7543,3
1,5000	1006,4	1518,2	1984,8	2475,5	3980,5	7057,6
1,0000	846,0	1271,7	1676,9	2082,0	3311,1	5870,7
0,5000	608,1	922,7	1219,8	1520,6	2376,6	4213,9
0,2000	393,1	587,8	501,9	971,0	1556,4	2759,5
0,1000	278,0	413,3	548,9	680,9	1097,8	1946,4
0,0500	162,1	283,4	351,3	386,7	658,7	1167,9
0,0000	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 2

Латунная труба ($d=1$ см), $n = 0,0135$ см²/с, $Re = 4000$, $I= 0,0295$

y , см, от стен	U , м/с	$(y-0,5)/0,5$	$u_{экс}/u_{max}$	$u_{экс}/u_{max}$	$(u_{экс}-u_T)/u_{экс}$, %
0,01	35,00	0,98	0,512	0,434	9,23
0,05	47,00	0,9	0,688	0,667	3,05
0,1	52,70	0,8	0,772	0,767	0,60
0,3	63,50	0,4	0,930	0,9260	0,43
0,45	67,40	0,1	0,987	0,985	0,20
0,48	67,90	0,04	0,990	0,994	0,10

Литература

1. Кочин Н.Е. и др. Теоретическая гидромеханика, ч. 2, - М.-Л: Госиздат, 1948.
2. Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. Гостехиздат, 1954.
3. Piquet, Jean. Turbulent flows. Models and Physics. Revised 2-nd Printing 2001. Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
4. Колмогоров А.Н. // Известия АН СССР, сер. физ.,-1942, т. 6, № 1-2, с. 56-58
5. Саттаров М.А. Гидромеханические аспекты изучения структуры турбулентного потока с поперечным сдвигом в каналах и пористых средах // Вісник Харківського національного університету. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». № 4., 2009. С. 39-51.

ОЦЕНКА ВЫНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ВОДОСБОРА РЕКИ ОБИ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА

Семенова И.В.¹, Коноплев А.В.¹, Попов В.Е.¹

¹ГУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, irina.semenova@gmail.com

²Марков М.Л. ГУ «ГГИ» г. Санкт-Петербург,

ASSESSMENT OF THE CONTAMINANTS WASH-OFF FROM THE WATERSHEDS OF THE RIVER OB' UNDER THE POSSIBLE CLIMATE CHANGES

Semenova I.V.¹, Konoplev A.V.¹, Popov V.E.¹

¹State Institution "Research Production Association "Typhoon", Obninsk, irina.semenova@gmail.com

²Markov M.L. State Institution "State Hydrological Institute " St Petersburg,

Разработана методика прогноза изменений смыва загрязняющих веществ и проведена оценка их выноса с водосбора реки Оби под влиянием возможных изменений климата в будущем.

The methodology for predicting the wash-off of contaminants was developed and their transport from the rivers Ob' under the possible future climate changes was estimated.

Река Обь – одна из крупнейших рек в мире, занимает первое место в России по водосборной площади и третье по стоку, а ее водосборную зону можно отнести к числу территорий, испытывающих значительную антропогенную нагрузку. Загрязняющие вещества (ЗВ) такие, как устойчивые органические соединения, радионуклиды и соединения тяжелых металлов, переносимые в Арктику из других регионов, оцениваются как одна из основных нагрузок на окружающую среду, взаимодействующих с изменением климата. Наблюдающаяся тенденция изменения климата под воздействием естественных и антропогенных факторов влияет на речной сток. А существенные изменения гидрологического режима рек обусловят изменения условий накопления и смыва ЗВ на их водосборах, что может привести к изменениям концентрации и выноса ЗВ с водами рек, а также распространения этих загрязняющих веществ в прибрежной зоне морей Северного Ледовитого океана.

На основании анализа литературных данных по содержанию ЗВ в воде рек бассейна Оби и в верхнем слое почвы водосбора Оби в качестве приоритетных загрязняющих веществ были выбраны радионуклиды ^{90}Sr и ^{137}Cs , тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, хром, кадмий, ртуть), хлорорганические соединения (ДДТ и сумма ГХЦГ).

Прогноз изменения климатических условий и водного режима сделан на основе анализа разработанных в крупнейших мировых научных центрах климатических сценариев. По данным модельных расчетов применительно к территории России были определены средние за 2011-2030 гг. и 2030-2050 гг. (прогнозный период) и 1981-2000 гг. (базовый период) величины метеорологических параметров в узлах регулярной сетки. Далее рассчитаны их изменения для прогнозного периода относительно базового. По этим данным строились и анализировались карты аномалий среднегодовых и сезонных слоев стока (в мм).

В целом по территории бассейна отмечается увеличение годовых сумм осадков и, соответственно, рост значений слоев стока, наблюдается повышение среднегодовых температур воздуха в период с 2011 по 2030 гг. и некоторое уменьшение сумм осадков за теплый период в следующий

расчетный период (с 2031 по 2050 гг.). К середине столетия в бассейне Оби предполагается дальнейший рост осадков в среднем до 25-27 мм, максимально до 56 мм. В соответствии с оценками изменений приземной температуры воздуха, полученными по ансамблю из пяти МОЦАО, в 2011-2030 гг. среднегодовая температура будет на 0,6-1,2 °С выше, чем в 1981-2000 гг.

В результате этих изменений стокоформирующих факторов во внутригодовом распределении стока можно отметить, в первую очередь, увеличение его за теплый сезон, которое имеет несколько более интенсивный характер, чем за холодный период (табл. 1). Но анализ полученных материалов позволяет прийти к основному выводу о том, что в ближайшие 10-15 лет нет оснований ожидать каких-либо значительных изменений водных ресурсов реки Оби в результате потепления климата. Даже крайние оценки лежат лишь в диапазоне от -2 до +7% для годового стока, т.е. в пределах его естественной изменчивости, поскольку ранее за период инструментальных наблюдений отклонения значений слоев стока от нормы за отдельные многолетние периоды времени превышали упомянутые значения.

Таблица 1

**Изменение годового и сезонного стока (в мм)
в первой половине XXI столетия на водосборе реки Оби по отношению
к значениям для базового периода 1981-2000 гг.**

Модель	A2						B1					
	2011 – 2030 гг.			2031 – 2050 гг.			2011 – 2030 гг.			2031 – 2050 гг.		
	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный
ESCHAM5-OM	15	5	10	23	12	11	14	8	7	4	-2	6
GFDL CM2.0	21	15	6	-1	-8	7	-5	-10	5	16	5	10
CGCM 2.3.2	14	13	1	19	19	0	4	2	2	18	15	3
Ансамбль моделей	17	11	6	14	8	6	5	0	5	12	6	6

Для оценки и прогноза выноса загрязняющих веществ с водосборов рек был использован подход, основанный на параметризации коэффициента смыва. В поверхностном стоке ЗВ могут находиться как в растворе, так и на взвешенных частицах. Доля от общего запаса ЗВ на водосборе, смытая на частицах, называется коэффициентом «твердого» смыва ($K_{ТВ}$), смытая в растворенном состоянии – коэффициентом «жидкого» смыва ($K_{Ж}$) [4].

Поделив $K_{Ж}$ на слой стока, а $K_{ТВ}$ на массу взвеси, смытую с единицы поверхности почвы, получим нормированные коэффициенты «жидкого» и «твердого» смыва, равные отношению соответствующей средневзвешенной концентрации и средней плотности загрязнения на водосборе:

$$K_{Ж}^* = \frac{K_{Ж}}{h} = \frac{K_{Ж} S}{V} = \frac{\overline{C_w}}{\overline{C_s}}, \quad K_{ТВ}^* = \frac{K_{ТВ}}{g} = \frac{K_{ТВ} S}{M} = \frac{\overline{C_a}}{\overline{C_s}},$$

где $\overline{C_w}$ – средневзвешенная концентрация ЗВ или радионуклида в растворе, мг/дм³ или Бк/дм³;

$\overline{C_a}$ – средневзвешенная концентрация ЗВ или удельные активности радионуклида на взвешенных частицах, мг/кг или Бк/кг; M – общая масса взвешенных частиц, кг; V – общий объем стока, л;

$\overline{C_s}$ – поверхностная плотность загрязнения, усредненная по водосбору, г/м² или Бк/м²; S – площадь водосбора, км²; h – слой стока с водосбора, мм; g – масса взвеси, смытая с единицы площади

водосбора, г.

Произведения ожидаемого слоя стока на $K^*Ж$ и ожидаемого выноса взвешенного материала на $K^*ТВ$ могут быть использованы в качестве прогностических оценок поступления ЗВ в реки в растворенном состоянии и на взвесах соответственно. Основываясь на этом, произведены оценки выноса тяжелых металлов с водосбора Оби в настоящее время и к 2050 году (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты оценки выноса тяжелых металлов с водосбора Оби
в настоящее время и к 2050 году**

ТМ	$\bar{C}_w$, мкг/дм ³	$\bar{C}_s$, г/м ²	M, тыс. т	$K^*_{Ж}$, мм ⁻¹	$K^*_{ТВ}$, м ² /г	$Q_{Ж}$, т	$Q_{ТВ}$, тыс. т
Cu	5,8	3,44	717	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	1667/1872 ¹ (978-3920) ²	5,20/5,78 ¹
Zn	20,9	2,82	589	$7,4 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	6008/6748 (1700-15200)	4,27/4,75
Pb	3,1	2,34	488	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	891/1001 (120-3900)	3,54/3,94
Ni	2,3	3,87	806	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	661/742 (348-1850)	5,85/6,50
Co	0,1	1,72	358	$5,8 \cdot 10^{-8}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	28,7/32,3	2,60/2,89
Cr	3,7	9,06	1890	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	1064/1195 (971-3620)	13,7/15,2
Hg	0,002	0,011	2,21	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,57/0,65	0,016/0,018
Cd	0,35	0,035	7,21	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	100/113	0,052/0,058

Примечание: 1 – в числителе вынос ТМ в 2009 г., в знаменателе ожидаемый вынос ТМ в 2050 г.; 2 – действительный вынос растворенных форм ТМ за период 1990-2006 гг. [2].

Полученные результат хорошо согласуются с опубликованными данными по выносу растворенных форм тяжелых металлов реками Российской Арктики, рассчитанными по результатам гидрохимических и гидрологических наблюдений сети Росгидромета [2].

По прогнозам увеличение стока будет неодинаковым для различных фаз водного режима, причем минимальным в половодье, когда с водосбора смывается основная часть большинства ТМ. Поэтому увеличение выноса ТМ будет несколько меньшим, чем увеличение суммарного годового стока.

На основании литературных данных был рассчитан вынос ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs за счет «жидкого» и «твердого» смыва в настоящее время и на период 2050 года (табл. 3). Средние концентрации ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в поверхностном слое почвы водосбора Оби и воде рек Обь и Иртыш обобщены по литературным данным [1, 3]. Современные значения коэффициентов смыва ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs оценены на основании экспериментальных данных [3] и составляют 0,1% для ⁹⁰Sr и 0,005% для ¹³⁷Cs.

Таблица 3

Результаты оценки выноса ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs с водосбора Оби в настоящее время и к 2050 году

	$\bar{C}_w$, мБк/дм ³	$\bar{C}_s$, Ки/км ²	M, ТБк	$K^*_{Ж}$, мм ⁻¹	$K^*_{ТВ}$, м ² /г	$Q_{Ж}$, ТБк	$Q_{ТВ}$, ТБк
¹³⁷Cs	0,44	0,048	4100	$3,62 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,20/0,11 ¹	8,86/4,25 ¹
⁹⁰Sr	5,9	0,029	2235	$7,25 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	2,24/1,29	1,96/1,05

Примечание: 1 – в числителе вынос радионуклидов в 2009 г., в знаменателе – ожидаемый вынос радионуклидов в 2050 г.

По экспериментальным данным [3] сток ^{90}Sr с водами Оби в 2007-2008 гг. составил 2,4 ТБк, что близко к значениям стока, рассчитанным на основе смыва ^{90}Sr с поверхности почв водосборных территорий (табл. 3).

В таблице 4 представлены результаты расчета выноса хлорорганических соединений (ХОС) с водосбора реки Оби в настоящее время и к 2050 году. В расчетах также было учтено, что период полураспада (T_{50}) ГХЦГ в почвах севера ЕТР в среднем составляет 600 дней, а ДДТ – 10 лет.

Эффект влияния повышения температуры на скорость разложения органических ЗВ может быть значительным. При существующем прогнозе роста температуры скорости химического разложения ЗВ в бассейне р. Оби должны увеличиться на 20–40%, что приведет к соответствующему снижению смыва ЗВ с водосбора и выноса в океан.

Таблица 4

Результаты оценки выноса хлорорганических пестицидов с водосбора Оби в настоящее время и к 2050 году

ХОС	$\overline{C_w}$, мкг/дм ³	C_s , мг/кг	M , тыс. т	$K^*_{ж}$, мм ⁻¹	$Q_{ж}$, т	$Q_{ТВ}$, т
ДДТ	0,00478	0,005	1,94	$5,14 \cdot 10^{-6}$	1,37/0,60 (0-7,90)	1,40/0,60
ДДЕ	0,00284	0,005	1,94	$3,05 \cdot 10^{-6}$	0,81/0,35 (0,07-3,91)	1,40/0,60
α - ГХЦГ	0,0079	0,002	0,775	$2,12 \cdot 10^{-5}$	2,27/0 (0-6,6)	0,56/0
γ - ГХЦГ	0,00516	0,002	0,775	$1,39 \cdot 10^{-5}$	1,48/0 (0,8-4,97)	0,56/0

Примечание: 1 – в числителе вынос ЗВ в 2009 г, в знаменателе ожидаемый вынос ЗВ в 2050 г; 2 – действительный вынос растворенных ЗВ за период 1995-2006 гг. [2].

Таким образом, по предварительным оценкам, вынос в океан тяжелых металлов в 2050 г. будет составлять 90–110% настоящего уровня. Для органических ЗВ этот показатель может составить 50–110%. Вынос в океан ^{90}Sr и ^{137}Cs при прогнозируемом потеплении климата и изменении стока может снизиться на 40–50 %.

Литература

1. Болтнева Л.И., Израэль Ю.А., Ионов В.А., Назаров И.М. Глобальное загрязнение цезием-137 и стронцием-90 и дозы внешнего облучения на территории СССР // Атомная энергия. – 1977. – Т. 42. – Вып.5. – С. 355-360.
2. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2000-2006 гг. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2004-2008.
3. Никитин А.И., Чумичев В.Б., Валетова Н.К. и др. Современное содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ и трития в воде речной системы Тобол-Иртыш (от устья р.Исеть до слияния с р.Обь) // Известия вузов (Ядерная энергетика) – 2005. – №.3. – С. 26-34.
4. Garcia-Sanchez L., Konoplev A.V. Watershed wash-off of atmospherically deposited radionuclides: a review of normalized entrainment coefficients // J. Environ. Radioactivity – 2009. – V.100. – N6. – P. 774–778.

РОЛЬ ВЫСОТНО-ЛАНДШАФТНЫХ, КЛИМАТИЧЕСКИХ, ЭНДОГЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ГОРНОГО АЛТАЯ

Семёнова И.В. г. ГУ «НПО «Тайфун», Обнинск, irina.semenova@gmail.com,

Семёнов В.А. ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, semven@meteo.ru,

Большух Т.В., Авдюшкина Е.И., Горно-Алтайский госуниверситет, г. Горно-Алтайск,

ROLE OF ALTITUDINAL-LANDSCAPE, CLIMATIC, ENDOGENIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS IN FORMATION OF CHEMICAL WATER COMPOSITION IN WATER BODIES OF GORNY ALTAI

Semenova I.V., RPA "Typhoon", Obninsk, irina.semenova@gmail.com,

Semyonov V.A., «ARRIIMI-WDC», Obninsk, semven@meteo.ru,

Bolbuh T.V., Gorno-Altaysky State University, Avdyushkina E.I. Gorno-Altaysk,

На основании результатов многолетних стационарных наблюдений и экспедиционных гидрохимических исследований даётся оценка высотно-ландшафтных и азональных различий в химическом составе и минерализации воды рек, их изменений под влиянием изменений климата, хозяйственной деятельности и эндогенных процессов.

On the basis of the results of long-term stationary and expeditionary hydrochemical studies altitudinal-landscape and azonal variations in chemical composition and mineralization of water in rivers as well as changes of these variations under the influence of climate change, economic activities and endogenic processes are estimated.

Поверхностные водные объекты Горного Алтая, относящиеся к бассейну Верхней Оби, располагают большими запасами пресных и ультрапресных питьевых вод. Большая часть поверхностного стока формируется в высокогорной зоне (более 2000 м) при таянии ледников и снежного покрова и в среднегорной зоне (1000-2000 м), где преимущественно снегово-дождевое питание рек. Районы наибольшего хозяйственного использования водных ресурсов в горах Алтая расположены в низкогорно-предгорной зоне (400-1000 м) и в межгорных котловинах, где ощутимое влияние на качество поверхностных вод оказывает хозяйственная деятельность, возрастающая рекреационная нагрузка на водные объекты из-за неорганизованного туризма (особенно автотуризма). Всё это обуславливает необходимость исследований природных закономерностей формирования и территориально-временного распределения химического состава воды рек, негативных последствий влияния на них антропогенной деятельности, а также активизации эндогенных процессов.

Статистический анализ многолетних наблюдений за химическим составом воды рек Горного Алтая показал отсутствие существенных статистически значимых изменений среднегодовых значений основных солеобразующих компонентов воды всех изученных рек. Испытания на тренд за 15-летний период наблюдений (1989-2003 гг.) показали, что у рек с бассейнами западной периферии и ориентации (рр. Ануй, Песчаная) на фоне увеличения среднего годового стока наблюдается незначительное снижение рН воды, уменьшается величина суммарной минерализации воды и концентрация гидрокарбонат-ионов, концентрация сульфат- и хлорид-ионов или остается неизменной (р. Ануй). В тоже время в этих реках отмечен рост жесткости воды преимущественно за счет увеличения концентрации ионов кальция. Для рек, формирующих сток во внутриконтинен-

тальных районах (рр. Бия, Чарыш), на фоне снижения среднегодового стока наблюдается как незначительное снижение рН воды (для р. Чарыш), так и его рост (для р. Бия), отмечено увеличение суммарной минерализации воды рек, концентраций сульфат- и хлорид-ионов, ионов кальция (в пределах 10%). Следует отметить, что в последние годы практически на всех реках уменьшились максимально наблюдаемые концентрации для большинства солеобразующих компонентов.

В 2000-2010 гг. сотрудниками Горно-Алтайского госуниверситета (ГАГУ) во время проведения комплексных экспедиционно-географических исследований был произведен отбор около 300 проб воды из рек, озёр и родников в наименее изученных районах бассейнов рек Катунь, Бии, Аргута, Коксы, Чуи, Чулышмана, Чарыша, Ануя, Песчаной. Анализ проб производился в лаборатории ГАГУ.

Результаты экспедиционных исследований гидрохимии рек высокогорной зоны позволили установить, что общие природно-климатические условия на территории Горного Алтая не способствуют формированию повышенного содержания химических элементов в воде рек. Но сложное геологическое строение и гидрогеологические условия, гидрохимические и биогеохимические особенности ландшафтов региона существенно влияют на зональное (высотно-поясное) и азональное распределение минерализации воды и соотношение в ней химических элементов.

Построенные по данным многолетних гидрохимических наблюдений Росгидромета и экспедиционных исследований последних 7 лет карты общей минерализации воды рек в половодье и меженные периоды свидетельствуют о больших различиях её даже в пределах одной высотной зоны, зависящих от минерализации питающих их подземных вод, которые являются индикаторами не только ландшафтных условий их формирования, но и меняющихся эндогенных процессов. Например, анализ проб воды, взятых из ледниковой р. Актру в 2001-2003 гг., на небольшом расстоянии от ледника, свидетельствует, что минерализация воды в ней изменяется от 160 мг/дм³ в половодье до 260 мг/дм³ в межень [3]. На реках плато (Укок) и межгорных котловин (Чуйская, Курайская) высокогорной зоны различия в минерализации и химическом составе воды ещё более существенны. На плато Укок (высоты 2000-2500 м), где преобладают метаморфизованные кристаллические породы и наиболее широко распространена многолетняя мерзлота, минерализация воды рек снегово-дождевого питания в половодье не превышает 150-180 мг/дм³, в межень - 200-230 мг/дм³, а у водотоков с повышенной долей питания подземными водами в Чуйской котловине достигает 400 мг/дм³ [2]. Под влиянием изменения природных факторов формирования химического состава воды рек суммарная минерализация воды р. Катунь меняется от 50 мг/дм³ в период половодья в верхнем течении до 400 мг/дм³ в межень в нижнем течении.

Суммарная минерализация воды правобережной части бассейна Бии (притоки р. Чулышман) значительно меньше, чем левобережной (притоки р. Башкаус), а сезонная динамика общей минерализации воды в её бассейне летом 120-270 мг/дм³, зимой – 150-330 мг/дм³. В бассейне Чарыша при средней минерализации воды в летнюю межень около 200 мг/дм³ в притоке р. Кан, формирующем сток в межгорной котловине, она достигает 600 мг/дм³ [1]. В результате влияния повышенной минерализации воды притоков Канской котловины, в р. Чарыш в зимнюю межень она изменяется от 450 мг/дм³ в верхнем течении до 200 мг/дм³ на выходе реки из гор в среднем течении.

Под влиянием хозяйственной нагрузки в воде рек Ануя и Песчаная на выходе из гор в два и более раз увеличивается суммарная минерализация, а содержание минеральных форм азота в 10-20 раз. Ещё больших значений достигает загрязнение воды в некоторых реках бассейна Катунь, испытывающих повышенную селитебную и хозяйственную нагрузку. Например, содержание нефтепродуктов достигает 200 ПДК. В низкогорной зоне существенно увеличивается поступление в реки промышленных отходов, во всех зонах возрастает рекреационная нагрузка, особенно на Катунь и реки её бассейна. Сравнительный анализ изменения тяжелых металлов в верховье р. Катунь и её нижнем течении (у с. Платово) свидетельствует, что под воздействием антропогенной

нагрузки в воде реки увеличивается содержание ртути, мышьяка, меди, свинца, железа, кадмия, хрома, однако их концентрации не превышают ПДК для вод рыбохозяйственного значения [5].

В бассейне Бии под воздействием золотодобывающих предприятий сильно загрязнены минеральными формами азота и взвешенными веществами малые реки Ушпа, Албас, Андоба, Чулта, Б.Каурчак. Экологическое состояние воды самой Бии можно считать удовлетворительным, но с тенденцией к ухудшению, а общая минерализация её воды колеблется от 30 до 250 мг/дм³.

Большое влияние на изменение минерализации и химического состава воды оказывают эндогенные процессы. Семибальное Алтайское (Чуйское) землетрясение произошло в бассейне Катунь на юге Республики Алтай в конце сентября – начале октября 2003 г. Проведённые гидрохимические исследования летом 2003 г., перед землетрясением, показали резкое изменение химического состава как подземных, так и поверхностных вод – в 2-2,7 раза увеличилось содержание сульфатов и снизилось содержание хлоридов. В некоторых водных объектах были обнаружены сульфид-ионы и появился запах сероводорода [4]. После землетрясения произошло резкое увеличение сульфатов в подземных водах до 120-207 мг/дм³, в поверхностных до 38-58 мг/дм³, содержание хлоридов в поверхностных водах уменьшилось в 10-20 раз, значение pH понизилось в среднем на 1 единицу, увеличилась жесткость воды [4].

Сравнение результатов анализа проб воды, взятых в р. Ташанта у с.Ташанта до и после землетрясения показало, что в результате активизации эндогенных процессов в этой малой реке жесткость воды увеличилась в 2,5 раза, содержание магния возросло более чем в 5 раз и в 2 раза превысило содержание кальция, содержание сульфатов и хлоридов возросло почти на порядок, а суммарная минерализация воды превысила 900 мг/дм³.

Экспедиционные исследования в июле 2009 года показали, что за прошедший после землетрясения период новообразованные во время землетрясения водные объекты исчезли, не стало некоторых существовавших до землетрясения родников и малых рек (например, р.Ташантинки), а в оставшихся водных объектах сохранилась повышенная минерализация воды.

Результаты экспедиционных исследований химического состава воды родников и озёр тоже свидетельствуют об их зависимости от зональных высотно-ландшафтных и аazonальных геологических и гидрогеологических факторов, климатических и эндогенных изменений, а качество воды некоторых водоёмов ухудшается под влиянием хозяйственной деятельности и рекреационной нагрузки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Республики Алтай (грант №09-05-98009).

Литература

1. Авдюшкина Е.И., Семенов В.А., Семенова И.В. Химический состав и качество воды источников питьевого водоснабжения в верхней части бассейна реки Чарыш (Горный Алтай) // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны, вып.1, 2004, С.3-8.
2. Большух Т.В., Семенов В.А., Семенова И.В. Гидрохимия водных объектов верхней части бассейна р.Катунь (Горный Алтай) // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны, вып. 1, 2004, С.20-32.
3. Семенов В.А. Ресурсы поверхностных вод гор России и сопредельных территорий. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2007. - 147 с.
4. Семенов В.А., Большух Т.В., Семенова И.В. Гидролого-гидрохимическая характеристика водных объектов высокогорий бассейна р. Катунь (Горный Алтай) на пороге XXI века // Материалы гляциологических исследований, вып. 101, 2006, С.128-134.
5. Семёнов В.А., Семёнова И.В., Ушакова В.Г., Большух Т.В., Авдюшкина Е.И., Старыгин О.И. Антропогенные и эндогенные изменения качества поверхностных вод в Горном Алтае // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда, секция 4, часть 1. - М. Метеоагентство Росгидромета, 2006, С.192-196.

ЗАВИСИМОСТЬ СТОКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ЛАНДШАФТНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЙ В БАССЕЙНАХ РЕК ОБЬ, СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ, ВОЛГА, УРАЛ

*Смирнов М.П., Мельникова Н.М, Смирнова Е.М.,
ГУ Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону, e-mail: ghi@aanet.ru*

THE DEPENDENCE OF THE FLOW OF ORGANIC SUBSTANCE AND BIOGENIC ELEMENTS ON THE LANDSCAPE AND TECHNOGENIC CONDITIONS IN THE RIVER BASINS OF OB, SEVERSKI DONETS, VOLGA AND URAL

*Smirnov M.P., Melnikova N.M, Smirnova E.M.,
Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, e-mail: ghi@aanet.ru*

Исследованы ландшафтные особенности стока органического вещества, биогенных элементов, внутригодового распределения, модулей стока, антропогенной составляющей, тенденций изменения выноса ингредиентов на различных участках рек Обь, Северский Донец, Волга, Урал в 1936-1970, 1981-1990 гг.

The landscape peculiarities of the flow of organic substance and nutrients, the peculiarities of intra-annual distribution, unit discharge, anthropogenic component and the tendencies of ingredients washout changing in different river stretches of Ob, Severski Donets, Volga and Ural in 1936-1970-1990 are researched.

Общий и антропогенный массоперенос на различных участках крупных рек и зависимость его от широтной зональности, вертикальной поясности, фациальности природной среды и техногенных условий недостаточно изучены. Прямая связь между факторами формирования и терригенным стоком тем теснее, чем меньше река и однороднее условия водосбора. Изменчивость стока химических веществ повышается с увеличением многообразия природных и техногенных условий на водосборах, укрупнением реки и ее бассейна, возрастанием численности населения, урбанизации, промышленного и аграрного производства, транспорта, усилением гидрохимического транзита. Необходимо оценивать количество поступающих веществ с территорий природных, гидрологических, экономических регионов, населенных пунктов и его долю в общем массопереносе в конечные водоемы. В данной работе рассмотрены особенности формирования стока органического вещества (ОВ), биогенных элементов (БЭ), его антропогенной составляющей в различных частях бассейнов рек Обь, Северский Донец, Волга, Урал. Очень важно провести подобные исследования в бассейнах рек Енисей, Лена, Амур, Нева, Дон, Кубань, Северная Двина, Печора, Колыма, Индигирка, Селенга.

Базовыми материалами для расчета общего и антропогенного стока ОВ и БЭ послужили результаты режимных гидролого-гидрохимических наблюдений региональных управлений гидрометслужбы. По этим данным в замыкающих створах рек и их отдельных участков рассчитан сток ОВ по значениям ХПК (за 1980-е гг.) и перманганатной окисляемости (за 1936-1970 гг.), БЭ – азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфора минерального, общего, железа общего, кремния. Большое влияние на вынос веществ реками оказывает химизация народного хозяйства. По данным ЦСУ страны определено удельное применение органических, азотных, фосфорных

удобрений в бассейнах рек в 1980-е гг. (т/км² в год): Обь – 30, 0.2, 0.1; Северский Донец – 250, 2.2, 0.6; Волга – 120, 1.0, 0.4; Урал – 43, 0.2, 0.1. Сток ОБ и БЭ за 1936-1970, 1981-1985, 1986-1990 гг. рассчитан прямым методом по О.А. Алекину, АС стока за 1981-1985, 1986-1990 гг. – по В.И. Пелешенко и М.П. Максимовой.

В Карское море реки Обь и Енисей поставляют основную часть стока растворенных веществ. В 1981-1985 гг. среднегодовой вынос ОБ составил 250-1240 тыс. т на верхнем участке, 6.8-7 млн. т – на среднем и нижнем участках р. Обь, в 1986-1990 гг. – соответственно 250-940 тыс. т и 6-8.3 млн. т (таблица 1). Таким образом, сток ОБ в нижнем течении р. Обь превышал вынос в верхнем течении (в створах г. Колпашево и г. Новосибирск) от 5-7 до 23-28 раз. По органическому стоку наиболее напряженными являются нижний и средний участки р. Обь в связи с уникальной заболоченностью таежных, лесотундровых и тундровых водосборов и интенсивной нефтегазовой индустрией, а водосбор верхнего участка на большой площади горный, с которого вынос растворенных веществ минимален. Модули стока ОБ в верхнем течении реки в горах Алтая с лесо-луговыми типами вертикальной поясности в 1980-е гг. составляли 1-1.3 т/км², к среднему участку (г. Колпашево) на равнине Западной Сибири в лесостепи возрастали до 2-2.5, на среднем участке в таежных зонах достигали максимальных значений – 3-4, на нижнем – в лесотундре и тундре убывали до 2.5-3 т/км² в год. Внутригодовое распределение стока ОБ р. Обь характеризуется резким преобладанием значений в половодье и паводки, когда переносилось 82-90% на верхнем участке и 73-80% годового выноса на среднем и нижнем участках. В основном это определяется аналогичным режимом водного стока, характерным для рек первой группы по Б.Д. Зайкову. В 1980-е гг. по сравнению с 1936-1970 гг. (условно фоновый период) сток ОБ в верхнем и нижнем течении р. Обь понизился, в среднем – увеличился на 20%. В 1980-е гг. АС стока ОБ в верхней и нижней частях реки не выявлена, на среднем участке в условиях развитого нефтегазового комплекса достигла 2.5-3 млн. т, или 36% всего выноса.

В 1981-1990 гг. р. Обь транспортировала в море 2-2.5 млн. т БЭ; на верхнем участке переносилось 180-800 тыс. т, на среднем – 1.8, на нижнем – 2.1 млн. т. Следовательно, сток БЭ формируется в основном в средней части бассейна р. Обь. На минеральные формы азота приходилось в целом по бассейну 15% экспорта БЭ, в верхней степной части – более 20% в связи с усилением агропромышленного влияния. В составе минеральных форм подавляющая доля приходилась на аммонийный азот, что характерно для заболоченных регионов с низким окислительно-восстановительным потенциалом почв, пород, вод и дефицитом кислорода. Это является основной фациальной особенностью стока азота в равнинном сильно заболоченном бассейне р. Обь. Аммонийный азот составлял 85-90% суммарного выноса минеральных форм Средней и Нижней Обью, 55-70% стока Верхней Обью. Доли выноса нитратного азота были равны соответственно 5-10 и 20-40%, нитритного – 1-2 и 2-5%. Таким образом, относительная роль стока окисленных форм азота в незаболоченной земледельческой части бассейна р. Обь под влиянием химизации сельского и лесного хозяйства резко возрастает. Поэтому модули стока минеральных соединений азота, в особенности окисленных, увеличивается вверх по течению р. Обь. Так, в 1980-е гг. модули стока аммонийного азота в нижнем и среднем течении реки были равны 100-140, в верхнем – 130-160 кг/км², нитратного – соответственно 10-15 и 55-60 кг/км², нитритного – 2-3 и 5-10 кг/км². В половодье и паводки выносятся 70-80% годового экспорта минеральных форм азота. Тенденции изменения общего выноса и АС стока соединений азота для Средней и Нижней Оби не найдены из-за фрагментарных данных в фоновый период. В 1980-е гг. АС выноса нитритного и нитратного азота Верхней Обью была равна соответственно 1-2 и 5 тыс. т, или 50-75 и 40% их общего стока.

В 1980-е гг. вынос минерального фосфора Верхней Обью составил 2 тыс. т, Средней и Нижней Обью – 20-25 тыс. т, или 1% стока БЭ. Сток общего фосфора, как правило, был вдвое выше.

Модули стока минерального фосфора р. Обь не превышали 10 кг/км² в год. Внутригодовое распределение стока соединений фосфора аналогично режиму выноса минерального азота. По сравнению с 1936-1970 гг. вынос фосфора данной рекой существенно не изменился.

Сток общего железа резко нарастал от верхнего участка р. Обь к среднему и нижнему участкам в соответствии со степенью заболоченности их водосборов и поступлением шахтных вод Кузбасса: с 5-48 до 400-670 тыс. т, или с 3-5 до 20-30% выноса БЭ. Модули стока железа увеличились соответственно от 20-100 до 160-310 кг/км². АС стока железа в верхнем и среднем течении р. Обь была равна соответственно 1-30 и 260 тыс. т, или 16-60% общего выноса компонента.

Вынос кремния возрастал от верхнего участка к нижнему с 120-600 до 1310-1700 тыс. т. На его сток приходилось в верхней (горной) части 70-80%, в средней и нижней частях реки на заболоченной равнине – 50-60% выноса БЭ. Модули стока кремния составляли соответственно 520-1240 и 360-760 кг/км². Внутригодовое распределение выноса кремния и общего железа аналогично режиму стока соединений азота и фосфора: в половодье и паводки переносилось Верхней Обью 80-85%, Средней и Нижней – 60-70% годового экспорта ингредиентов.

По длине р. Северский Донец вынос ОВ колебался в 20-25 – кратном интервале. Наибольший сток веществ наблюдался на нижнем участке реки из-за сильного техногенного воздействия в Донбассе. По сравнению с 1936-1970 гг. вынос ОВ возрос в 1980-е гг. на нижнем участке в 1,5 раза, на верхнем – в 2-5 раз. На АС приходилось 42-64% всего стока ОВ. Также вследствие роста применения удобрений сток нитритного и нитратного азота увеличился вдвое – втрое и более. На АС приходилось 30-40% общего стока в верхнем течении, 50-90 и 15-70% соответственно в нижнем течении реки. По той же причине сток соединений фосфора возрос Верхним Донцом в 1,5-2 раза, Нижним – на порядок. На АС стока фосфора приходилось 77-80% в верхней части, 86-94% всего стока в нижней части реки. Аналогичные значения имела АС стока общего железа благодаря большому сбросу обогащенных этим ингредиентом сточных, особенно шахтных вод Донбасса.

В 1980-е гг. Верхней Волгой перенесено 1.1-2.1 млн. т ОВ, Средней и Нижней Волгой (в створе г. Волгоград) – в 3-5 раз больше; в замыкающем створе (с. Верхнее Лебяжье) сток снижался до 3.2-3.4 млн. т в результате трансформации в Ахтубе и смены гумидных ландшафтов на аридные, в которых миграция гумуса резко ослабляется. Наиболее напряженной по стоку растворенных веществ является Средняя Волга, в бассейне которой техногенез максимален. Верхней Волгой переносится 60% годового стока веществ в половодье и паводки, сильнее зарегулированными водохранилищами Средней и Нижней Волгой – 60-70% в летнюю и зимнюю межени. На АС выноса ОВ Верхней и Средней Волгой приходилось 30-40%.

Вынос аммонийного азота составлял в верхней и средней частях реки (в таежно-лесных и лесостепной зонах) 52-60%, в нижней части (в степи, полупустыне и пустыне) – 10-25%, сток нитратного азота – соответственно 40-50 и 70-85% суммарного экспорта минеральных форм. Под влиянием вносимых удобрений, агропромышленных и коммунальных сточных вод вынос нитратного азота на нижнем участке на порядок выше стока аммонийного азота. По этим причинам р. Волга неизменно занимает первое место в стране по выносу окисленных форм азота. По длине реки АС стока нитритного и нитратного азота изменялась от 20 до 80% общего выноса компонентов.

В 1980-е гг. по сравнению с 1936-1970 гг. вследствие повышения загрязненности воды сток минерального и общего фосфора р. Волга возрос в 2-3 раза и более. Антропогенная часть стока соединений фосфора и общего железа составляла по течению реки от 30 до 50-80% всего выноса ингредиентов. В бассейне р. Волга находится 40% населения, 3/4 промышленного производства, сбрасывается 1/3 сточных вод России. Площадь зеркала реки удвоилась, водообмен сократился в десятки раз. В связи с этим экосистема Большой Волги трансформировалась из природной в природно-антропогенную.

В бассейне р. Урал на доминирующих степных, полупустынных и пустынных водосборах гумусовые вещества слабоподвижны, поэтому сток ОВ и особенно модули выноса невелики и значительно уступают показателям других рек. В 1980-е гг. 50-85% выноса минеральных форм составлял аммонийный, 10-45% – нитратный азот. Модули стока аммонийного азота для Среднего Урала были равны 16-20, нитратного – 19-21 кг/км² в год; для Нижнего Урала в зоне пустыни они ниже соответственно в 3-5 и 2 раза. АС стока нитритного и нитратного азота в Среднем Урале была равной 0.06 и 0.97 тыс. т соответственно, в Нижнем – вдвое больше, или 40-55 и 64-68% общего стока этих ингредиентов. Минеральный фосфор транспортирован Средним Уралом в количестве 0.44-1.0, Нижнем – 0.32-0.35 тыс. т в год (1-5% стока БЭ). Соотношение выноса минерального и общего фосфора р. Урал составляло 1:2. Модули стока минерального фосфора для Среднего Урала колебались в интервале 5-13, для Нижнего - 1.3-1.5 кг/км². В 1980-е гг. по сравнению с 1936-1970 гг. вынос рекой в море ОВ, аммонийного, нитратного азота, соединений фосфора существенно не менялся, сток нитритного азота рекой, нитратного азота Средним Уралом удвоился, железа и кремния Нижним Уралом сократился 2 раза в результате аналогичной динамики загрязненности воды указанными ингредиентами.

Химический состав воды и массоперенос в крупных реках с южным меридиональным направлением течения (Волга, Дон, Урал, Днепр, Днестр) и северным направлением (Обь, Енисей, Лена, Северная Двина, Печора, Колыма, Индигирка) формируются в различных частях водосборных бассейнов. В первой группе рек базовый химический комплекс образуется в верхнем и среднем течении, во второй группе рек – в среднем и нижнем течении. Зональная изменчивость потоков растворенных веществ в этих группах рек неодинакова. На северном макросклоне страны в нижнем течении рек в гумидных зонах увеличиваются содержание и сток легкоокисляемых ОВ, аммонийного азота, общего железа, на южном макросклоне в аридных зонах возрастают концентрация и вынос трудноокисляемых ОВ, нитратного, нитритного азота. В условиях длительного антропогенного воздействия происходит существенная метаморфизация речного стока химических веществ.

Таблица 1

**Среднегодовой вынос органического вещества и биогенных элементов реками
Обь, Северский Донец, Волга, Урал в 1936-1970 и 1981-1990 гг., тыс. т (прочерк – отсутствие данных)**

Река	Пункт	Площадь водосбора, тыс. км ²	Период	Водный сток, км ³	Органическое вещество	Азот			Фосфор		Железо общее	Кремний
						аммонийный	нитритный	нитратный	минеральный	общий		
Обь	г.Новосибирск	232	1936–1970	60.0	441	-	1.02	9.18	-	-	4.79	141
			1981–1985	46.1	300	32.5	2.24	12.8	2.41	3.01	5.83	128
			1986–1990	48.5	246	17.3	1.78	13.2	1.94	3.56	4.72	121
	г.Колпашево	486	1936–1970	128	1110	-	0.387	26.5	-	-	12.7	340
			1981–1985	155	1240	120	2.64	28.2	5.39	10.8	48.0	603
			1986–1990	106	944	41.2	2.27	28.4	1.81	4.6	18.3	401
	г.Белогорье	2180	1936–1970	319	6050	-	-	-	-	-	430	1310
			1981–1985	297	6810	297	5.24	17.5	20.8	41.6	646	776
			1986–1990	303	8320	196	3.26	30.5	11.0	22.0	669	1220
	г.Салехард	2430	1936–1970	362	7400	-	-	-	-	-	490	1830
			1981–1985	410	7080	262	7.32	30.4	25.4	50.8	417	1310
			1986–1990	404	5970	348	6.32	43.6	31.1	62.2	398	1690

Продолжение таблицы 1

Север ский Донец	г.Белгород	2.10	1936–1970	0.150	1.17	-	0.004	0.057	0.014	0.042	0.014	0.531
			1981–1985	0.290	6.38	0.243	0.013	0.169	0.077	0.231	0.039	1.55
	г.Каменск- Шахтинский	73.2	1986–1990	0.220	5.60	0.178	0.013	0.149	0.060	0.180	0.360	1.43
			1936–1970	4.17	68.4	-	0.062	-	0.095	0.285	0.035	18.7
Волга	г.Белая Калитва	80.9	1981–1985	4.77	152	1.18	0.505	7.80	1.73	5.19	3.28	23.0
			1986–1990	4.18	96.4	0.904	0.347	3.46	0.685	1.17	1.23	20.7
			1936–1970	4.64	78.4	-	0.260	2.88	-	-	0.882	20.4
			1981–1985	4.77	146	1.22	0.556	10.9	1.30	4.55	4.07	23.3
	г.Ярославль	150	1986–1990	4.18	87.1	0.546	0.628	3.81	0.476	0.904	1.30	26.9
			1936–1970	29.9	609	-	0.097	4.06	0.305	0.915	9.68	55.0
			1981–1985	32.8	852	10.8	0.306	10.1	0.973	3.19	5.03	26.8
			1986–1990	34.8	800	12.5	0.452	11.1	0.557	2.64	3.48	33.1
г.Нижний Новгород			1936–1970	85.0	2150	-	0.457	16.6	1.05	3.15	14.4	168
		229	1981–1985	51.9	1110	18.7	2.11	11.4	0.958	3.36	4.87	92.4
			1986–1990	97.0	2100	24.2	2.33	14.6	2.72	7.57	4.85	136
	г.Ульяновск	1170	1936–1970	237	4940	-	1.62	47.6	1.82	5.46	15.1	616
			1981–1985	254	5670	94.2	8.95	40.8	8.97	32.2	23.8	380

Окончание таблицы 1

Урал	г. Самара	1210	1986–1990	255	6250	79.0	5.36	51.0	5.61	21.4	10.2	332
			1936–1970	237	4150	-	1.30	5.29	-	-	6.43	676
			1981–1985	252	5740	78.6	4.49	57.4	7.97	22.6	30.1	431
			1986–1990	259	5650	59.6	3.88	64.8	5.96	21.2	13.0	337
	г. Волгоград	1360	1936–1970	228	5880	-	4.48	113	2.80	8.40	105	738
			1981–1985	254	4910	51.2	3.12	119	19.8	59.4	35.4	987
			1986–1990	270	5700	70.2	10.5	197	19.7	25.6	24.3	1240
			1936–1970	229	3750	-	2.61	94.8	1.81	5.43	153	827
	с. Верхнее Лебяжье	1360	1981–1985	248	3200	16.4	9.18	103	9.67	29.0	223	769
			1986–1990	264	3360	10.8	12.2	102	3.48	10.4	-	551
Урал	г. Оренбург	82.3	1936–1970	3.15	73.5	-	0.086	0.485	-	-	1.94	11.1
			1981–1985	2.90	64.5	1.32	0.072	0.158	1.04	1.94	0.991	18.0
			1986–1990	3.18	60.1	1.69	0.153	1.51	0.440	0.873	1.38	13.5
			1936–1970	8.01	127	-	0.170	3.37	-	-	11.9	45.9
	г. Гурьев	236	1981–1985	7.66	110	1.10	0.296	2.30	0.351	0.834	1.04	28.2
			1986–1990	9.87	84.4	0.839	0.231	2.85	0.317	0.607	6.16	17.9

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДЫ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Суторихин И.А., Баландович Б.А., Финк А.В., Ла А.Ю., Скрипкина Л.А.

Институт водных и экологических проблем СО РАН,

ГОУ ВПО «Алтайский государственный медицинский университет»,

ГОУ ВПО «Алтайский государственный университет»,

ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае»

TOPICAL PROBLEMS OF WATER STUDY IN ALTAI KRAI BY RADIATION SAFETY INDICES

I.A.Sutorikhin, B.A.Balandovich, A.V.Fink, A.Yu.La, L.A.Skripkina

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS

Altai State Medical University

Altai State University

Center of Hygiene and Epidemiology of Altai Krai

В статье описаны результаты исследования воды по показателям радиационной безопасности, выполненных для территории Алтайского края.

The paper presents the outcomes of water study by radiation safety indices carried out in Altai Krai.

Специфическая особенность Алтайского края с точки зрения проблемы обеспечения радиационной безопасности населения заключается в том, что радиационный фактор на территориях региона представлен как естественными ионизирующими излучениями от природного урана, радия, тория и продуктов их распада, так и искусственными радионуклидами (цезий-137, стронций-90, плутоний-239), занесенными в наш край в результате воздушных ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне с 1949 по 1963 год. В связи с этим возникает необходимость систематического лабораторного контроля содержания природных и техногенных радионуклидов как в питьевой воде, так и в воде поверхностных водоемов. В настоящее время радиационная обстановка в Алтайском крае формируется в основном природными источниками ионизирующего излучения или естественными радионуклидами, содержащимися практически во всех объектах окружающей среды, в том числе и в воде. По результатам данных, полученных при проведении радиационно-гигиенической паспортизации вклад природных источников ионизирующего излучения в коллективную дозу облучения населения Алтайского края составляет 83,4%. За счет пищевых продуктов и питьевой воды средняя доза облучения на жителя региона составляет 0,122 мЗв/чел или 2,42% от коллективной дозы. Следует отметить, что радиоактивность подземных вод зависит от условий их нахождения, а на радиохимический состав подземной воды влияет количество растворимых радионуклидов, которые содержатся в составе грунта, омываемого этой водой. При этом радиоактивность подземных вод в основном обусловлена присутствием как бета-излучающих изотопов (калий-40), так и альфа-излучающих радионуклидов (радий-226 и радон-222).

Воды кислых магматических пород, например воды трещиноватых гранитов Алтайского, Смоленского, Курьинского и Усть-Калманского районов края, города Белокурихи имеют более высокую активность по указанным элементам и могут содержать повышенное количество радия-226 и радона-222.

В соответствии с «Нормами радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) предварительная оценка качества питьевой воды может быть дана по удельной суммарной альфа- и бета-активности.

Радиологическая лаборатория ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае» в настоящее время выполняет измерение суммарной альфа- и бета-активности водных проб альфа-бета радиометром УМФ-2000.

Динамика исследований проб воды в Алтайском крае по суммарной альфа- и бета-активности за последние 6 лет представлена в таблице.

**Динамика исследований проб воды по суммарной альфа- и бета-активности
за 2004-2009 гг. (по данным ФГУЗ «Центр гигиены
и эпидемиологии в Алтайском крае»)**

Годы	Число исследованных проб воды источников хозяйственно-питьевого централизованного водоснабжения		Число исследованных проб воды в местах водопользования населения	
	всего	из них превышающие контрольные уровни суммарной альфа -, бета-активности	всего	из них превышающие контрольные уровни суммарной альфа -, бета-активности
2004	610	—	66	—
2005	565	—	60	—
2006	852	1	67	—
2007	1727	—	67	—
2008	1820	3	67	—
2009	1492	3	77	—

При значениях суммарной альфа- и бета-активности питьевой воды ниже 0,2 Бк/л и 1 Бк/л соответственно дальнейшие исследования воды не являются обязательными. В случае превышения указанных уровней (как видно из таблицы в крае за последние 4 года было 7 таких случаев) проводится полный анализ содержания радионуклидов в воде радиохимическим методом. Приоритетный перечень определяемых при этом радионуклидов в воде устанавливается в соответствии с санитарным законодательством.

Критическим путем облучения населения за счет радона-222, содержащегося в питьевой воде, является переход радона в воздух помещения и последующее ингаляционное поступление дочерних продуктов радона в организм. Уровень вмешательства для радона в питьевой воде составляет 60 Бк/л. При этом необходимо отметить, что определение удельной активности радона-222 в питьевой воде из подземных источников является обязательным.

В 2009 году по программе социально-гигиенического мониторинга в 17 районах Алтайского края определялась удельная активность радионуклидов в воде открытых водоемов. Исследование удельной активности радионуклидов в питьевой воде из централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения было проведено во всех районах края. Превышение гигиенического норматива по суммарной альфа-активности питьевой воды наблюдалось в Курьинском и Усть-Калманском районах (0,40-0,52 Бк/л). Кроме того, повышенное содержание радона было обнаружено в питьевой воде с. Макарьевка Алтайского района (118±1,6 Бк/л).

Пробы воды с повышенной суммарной альфа-активностью в дальнейшем направлялись в Восточно-Сибирский МРЦ (г. Красноярск) для полного радиохимического анализа, на основании которого представляется окончательное заключение о соответствии воды в исследованных источниках водоснабжения требованиям «Норм радиационной безопасности» (НРБ-99/2009).

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМЕ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ ЯРОВОЕ.

Страховенко В.Д.^{1,2}, Маликова И.Н.², Устинов М.Т.³ г. Новосибирск,

¹Новосибирский государственный университет,

²Институт геологии и минералогии СО РАН,

³Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, , e-mail strahova@uiggm.nsc.ru

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOIL AND BOTTOM SEDIMENTS IN ECOSYSTEM OF LAKE BOL'SHOYE YAROVOYE

Strakhovenko V.D.^{1,2}, Malikova I.N.², Ustinov M.T. ³ Novosibirsk

¹Novosibirsk State University,

²Institute of Geology and Mineralogy SB RAS,

³Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry SB RAS, strahova@uiggm.nsc.ru

Проведено сравнение распределения макро- и микроэлементов в почвах водосбора и донных отложениях озера Большое Яровое.

A comparison of trace elements distribution in soils of catchment area and bottom sediments of Lake Bolshoye Yarovoye was made.

Цель данной работы – охарактеризовать экогеохимическое состояние экосистемы озера Большое Яровое на основе катенарного исследования почвенного покрова [4] и провести сравнение содержаний элементов в почвах и донных отложениях. Донные отложения озер представляют собой конечное звено ландшафтно-геохимических сопряжений и как бы «интегрируют» в своем составе особенности почв водосборных площадей.

Озеро Большое Яровое располагается в сухостепной ландшафтной зоне, является бессточным, водное питание получает за счет грунтовых и снеговых вод и относится к сульфатно-хлоридному типу. По периферии озерной котловины на разновозрастных озерных террасах (результат по стадийной аридизации) сформировался сложномозаичный почвенный покров от молодых солончаков и солонцов до более древних зрелых черноземов южных солонцеватых. В юго-восточной пониженной части берега сформировались луговые солончаки. Черноземы южные солонцеватые расположены на возвышенных участках в элювиальных ландшафтах. Расположение точек опробования почв и донных осадков показано на рис. 1.

Засоленные почвы отличаются высокой и весьма сложной миграцией солей в зависимости от их растворимости и направления движения почвенных растворов [3]. Это касается как макрокомпонентов, так, вероятно, и микроэлементов. Средний химический состав почв водосбора озера приведен в таблице 1.

Для того, чтобы детально охарактеризовать изменения в составе почв, в качестве типовой катены выбран геохимический ландшафт в районе залива Теплый ключ (точки 4, 5, 6) и самая высокая точка района – 7, где развиты наиболее древние почвы – черноземы южные солонцеватые.

Для характеристики изменений в почвах по катене вниз по склону и с увеличением степени осолонцевания использован коэффициент латеральной дифференциации (L), который представляет отношение содержаний элементов в почвах к их содержаниям в почвах автономного ландшафта. Вниз по катене происходит увеличение в почвах физической глины в основном за счет фракции < 0,001, а у подножья склона – также фракции 0,005-0,01 (коэффициент L до 1,45-1,72). В нижних

горизонтах на склоне содержания грубых и тонких фракций выравнивается. Содержания макрокомпонентов, а также Li, Sr, Ba, которые отражают минеральный состав почвообразующего субстрата, изменяются по катене. В верхней точке 4 значения коэффициентов L варьируются от 0,91 до 1,20 и в большинстве случаев близки к 1. Для почв средней части склона (точка 5) аналогичные значения сохраняются для K и Na, а в верхних горизонтах – также для Ba и Sr. Значительно увеличились значения коэффициентов L по Mg (до 1,7-2,5), Fe (до 1,5-2,1), Ca (до 1,3-7,5), Li (до 1,7-1,9), Al (до 1,3), а в нижних горизонтах B2 и Cк также Sr (до 2,1) и Ba (до 1,3). В нижней части склона (точка 6) в верхних горизонтах коэффициенты L близки к 1 и возрастают в нижних до 1,5-2,3 по Fe, Ca, Al, Sr, Li. Таким образом, в наибольшей степени миграция литофильных элементов и их относительная аккумуляция происходит в направлении точки 5. Почвы здесь представлены среднесуглинистыми лугово-черноземными солонцами, приуроченными к выполаживанию крутой части склона. Вариации содержаний, которые в ряде случаев весьма значительны, при близости средних значений, свидетельствуют скорее всего о периодической смене процессов испарения и рассоления в почвенной толще [3]. Кроме того, происходит вымывание на глубину почвенных разрезов, в нижезалегающую кору выветривания и донные отложения. Об этом свидетельствуют повышенные содержания Ca и Sr в нижних почвенных горизонтах и донных осадках (см. табл. 1).

При переходе от черноземов южных солонцеватых к солонцам и от автономного ландшафта к трансэлювиально-аккумулятивному в водных вытяжках в среднем существенно возрастает содержание Cl^- , SO_4^{2-} и Na^+ , особенно в почвах подножья (L до 12-20); по Mg^{2+} и HCO_3^- (L до 2-3). Содержания Ca^{2+} остаются в вытяжках на том же уровне, что и в автономном ландшафте. Формирование солончаков сопровождается увеличением содержаний HCO_3^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} и дальнейшим ростом Cl^- и Na^+ . Наблюдается общее увеличение щелочности в пределах pH 7,6-8,25. Таким образом, при прогрессирующем засолении почв, которое сопровождает катенарные процессы, происходят существенные изменения их макросостава.

Средние содержания всех проанализированных микроэлементов в засоленных почвах района озера (см. табл. 1), ниже фоновых значений в почвах Алтайского края и в каштановых почвах и в целом соответствуют содержаниям в солонцовых почвах этой ландшафтной зоны [1].

Основной тенденцией распределения макрокомпонентов является увеличение их содержаний вниз по почвенным разрезам. Сравнение средних содержаний литофильных элементов в почвах и донных отложениях показывает значительное увеличение по элементам, с которыми связано засоление, особенно в нижних горизонтах. На рис.2 видны различия между прибрежными и более глубоководными осадками, по содержанию ряда элементов. За 1 приняты средние данные по всем опробованным почвам водосбора озера. Различия по Cd, U, Ni, Co, Fe, Ca, Sr свидетельствуют о дифференциации в процессе формирования донных отложений и большей аккумуляции в глубоководных условиях тонких фракций и органики. В то же время, по данным рентгеноструктурного анализа, обнаруживается высокая однородность состава почв и донных отложений с преобладанием кварца и присутствием плагиоклаза, калиевого полевого шпата, кальцита и малой примесью иллита, хлорита и др.

В отличие от литофильных (Be, Li, Sr, Ba) тяжелые металлы, обнаруживают в большинстве разрезов почв тенденцию к увеличению содержаний в верхних частях. Причинами этого могут быть: аккумулирующая роль органики и испарительного процесса, привнос аэрозолями и пылью, разубоживание из-за засоления. Наибольшую неоднородность распределения обнаруживают Cd и Hg, что является следствием загрязнения [2]. Содержания микроэлементов в разных фракциях почв (табл. 2) свидетельствует об их изменении в зависимости от размерности частиц. Наибольшие концентрации в тонких фракциях установлены для Pb, Cu, Zn, V, Cr, Hg. В целом содержание всех микроэлементов растет от фракции >0.25 к фракциям 0,020-0,16 и <0.020 мм.

**Средние содержания элементов в почвах и донных отложениях
оз. Большое Яровое (% , мг/кг)**

Элементы	Среднее по засоленным почвам водосбора	Среднее по 6 скважинам донных отложений	Содержания во фракциях донных отложений			
			>0,25 мм	0,16-0,25 мм	0,020-0,16 мм	<0,020 мм
Ca,%	<u>0,80</u> (0,60-1,01)	<u>2,13</u> (0,70-5,47)	<u>1,37</u> (0,63-2,75)	<u>2,52</u> (1,31-5,36)	<u>5,06</u> (2,46-8,33)	<u>2,52</u> (0,41-4,20)
K,%	<u>1,74</u> (1,60-1,92)	<u>1,64</u> (1,21-1,85)	<u>1,78</u> (1,59-1,84)	<u>1,88</u> (1,70-2,01)	<u>1,52</u> (1,23-1,80)	<u>2,32</u> (1,97-2,50)
Na,%	<u>1,38</u> (1,26-1,54)	<u>1,70</u> (1,37-2,13)	<u>1,05</u> (0,96-1,14)	<u>1,57</u> (1,34-1,64)	<u>1,37</u> (1,08-1,53)	<u>0,97</u> (0,85-1,03)
Mg,%	<u>0,69</u> (0,38-1,30)	<u>0,82</u> (0,33-2,70)	<u>0,47</u> (0,18-1,28)	<u>0,92</u> (0,35-2,54)	<u>1,95</u> (0,94-3,97)	<u>2,89</u> (1,36-4,69)
Al,%	<u>5,21</u> (4,24-6,59)	<u>4,67</u> (3,03-7,53)	<u>3,34</u> (3,10-3,54)	<u>4,73</u> (4,28-5,16)	<u>5,38</u> (4,10-6,50)	<u>7,89</u> (6,43-9,41)
Be,мг/кг	<u>1,6</u> (1,2-2,0)	<u>1,3</u> (0,8-1,8)	<u>1,2</u> (0,5-3,0)	<u>2,1</u> (1,6-3,0)	<u>1,5</u> (1,1-2,0)	<u>1,7</u> (1,6-2,3)
Sr	<u>108</u> (90-124)	<u>228</u> (82-995)	<u>201</u> (81-431)	<u>306</u> (130-810)	<u>613</u> (146-1240)	<u>214</u> (42-438)
Ba	<u>366</u> (326-436)	<u>307</u> (225-329)	<u>340</u> (294-399)	329(285-378)	313(266-344)	278(259-280)
Li	<u>18</u> (12-28)	<u>13</u> (9-34)	<u>10</u> (7-17)	<u>15</u> (9-28)	<u>31</u> (21-42)	<u>72</u> (42-97)
Число проб	25	24	5	5	5	5
Pb	17,5(13-20)	12(7-21)	8(7-10)	9,6(8-12)	10(7-14)	13(15-18)
Cu	17(7,6-34)	18(9-31)	5,6(5-8)	10(7-14)	18(15-21)	45(39-58)
Cd	<u>0,052</u> (0,024-0,160)	<u>0,10</u> (0,04-0,21)	<u>0,056</u> (0,02-0,09)	0,08(0,03-0,12)	0,15(0,09-0,24)	0,11(0,08-0,16)
Zn	44(24-81)	36(15-42)	14(11-17)	24(13-35)	51(42-63)	113(110-117)
Mn	<u>539</u> (312-1120)	<u>443</u> (201-683)	<u>306</u> (227-494)	751(240-1330)	684(427-898)	551(383-722)
Cr	53(33-80)	39(14-59)	10(5-15)	24(30-38)	45(36-62)	80(60-94)
Ni	21(8,3-38)	21(10-38)	9(7-11)	14(9-20)	26(20-31)	50(42-57)
Co	9(4-15)	6,6(2,6-12)	2(1,5-2,4)	3,8(2,5-5,5)	7,0(5-9,3)	14(12-15)
Fe,%	<u>2,03</u> (0,93-3,61)	<u>1,82</u> (0,91-2,86)	<u>0,59</u> (0,5-0,77)	<u>1,03</u> (0,69-1,44)	<u>2,02</u> (1,38-3,25)	<u>4,12</u> (3,29-4,79)
Hg	<u>0,053</u> (0,029-0,120)	<u>0,024</u> (0,01-0,12)	<u>0,057</u> (0,019-0,09)	<u>0,068</u> (0,013-0,2)	<u>0,057</u> (0,019-0,14)	<u>0,10</u> (0,025-0,22)
Sb		0,70 (<0,3-3,7)	0,50 (<0,2-0,72)	1,24 (0,65-1,43)	1,50 (0,65-3,01)	1,42 (<0,2-4,23)
V		46(18-95)	23(21-27)	36(26-46)	64(46-88)	109(91-115)
As	4,0(<1-7,8)	2,8(1,8-3,9)	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.
Число проб	40	50	5	5	5	5

Примечание: содержания элементов во фракциях подсчитаны по скважинам 7 и 8; в скобках – пределы вариации

Сравнение этих данных с соответствующими результатами по фракциям донных отложений (см. табл. 1) показывает заметное снижение по Pb, Cu, Zn, Cr. Увеличивается содержание Mn во фракциях 0,16-0,25 мм, уменьшается Ni, Co; Hg обнаруживает тенденцию к росту, очевидно за счет поступления органической массы. Можно предположить, что частично элементы переходят в озерную воду. Содержания их в воде в разные годы сильно колеблется. Поэтому требуются дальнейшие исследования экосистемы озера Большое Яровое в режиме мониторинга.

**Средние содержания элементов во фракциях почв водосбора
оз. Большое Яровое (% , мг/кг)**

Элементы	Содержания во фракциях*			
	>0,25 мм	0,16-0,25 мм	0,020-0,16 мм	<0,020 мм
Pb	19(8-24)	19(8-27)	24(17-31)	28(20-40)
Cu	13(5-27)	18(10-25)	22(14-28)	49(37-104)
Cd	0,070(0,023-0,19)	0,077(0,043-0,18)	0,10(0,044-0,12)	0,11(0,049-0,19)
Zn	34(10-68)	43(20-68)	62(41-76)	139(94-212)
Mn	340(120-553)	527(318-651)	603(439-900)	546(295-781)
Cr	26(4-73)	40(12-70)	57(34-77)	91(73-109)
Ni	18(7-37)	22(14-33)	28(20-35)	42(25-53)
Co	7,7(3-13)	9,1(5-13)	11,4(7,5-15)	14,8(9-20)
Mg	0.43(0.14-1.07)	0.56(0.31-1.08)	0.73(0.44-1.11)	1.09(0.79-1.56)
Hg	<u>0,038</u> (0,017-0,057)	<u>0,048</u> (0,021-0,092)	<u>0,052</u> (0,023-0,091)	<u>0,093</u> (0,033-0,24)
Sb	0,4(<0,3-0,6)	0,5(<0,3-0,6)	0,5(<0,3-0,63)	0,55(<0,3-0,8)
V	46(13-84)	49(22-89)	73(54-100)	100(64-131)
Число проб	15	15	15	15

Примечание: средние подсчитаны по почвам в точках опробования 4, 5, 6; в скобках – пределы вариации.

Литература

1. Маликова И.Н., Страховенко В.Д., Устинов М.Т. и др. Микроэлементы в почвах водосбора озера Большое Яровое и его донных отложениях (Алтайский край). //Материалы VI Междунар. конф. «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде». Семей, Казахстан. 2010, т.2, с. 123-128.
2. Маликова И.Н., Устинов М.Т., Аношин Г.Н. и др. Ртуть в почвах и растениях в районе озера Большое Яровое (Алтайский край). //Геология и геофизика. 2008, №1, с. 59-66.
3. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. Географгиз. М. 1961. 496 с.
4. Устинов М.Т. Катенография и эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова методом трансект-катен. //Сибирский экологический журнал. 2001, №3, с. 285-295.

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

*Суторихин И.А., Бортников В.Ю., Анисимов А.П., Котовщиков А.В.
ИБЭП СО РАН, Барнаул,
sia@iwep.asu.ru*

ESTIMATION OF CHLOROPHYLL TRANSPARENCY AND CONCENTRATION IN SURFACE WATER

*Sutorikhin I.A., Bortnikov V.Yu., Anisimov A.P., Kotovshchikov A.V.
INSTITUTE FOR WATER AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS SB RAS
sia@iwep.asu.ru*

Разработана система для оценки прозрачности воды в четырех диапазонах длин волн. Система позволяет осуществлять мониторинг загрязняющих веществ в поверхностном слое водного объекта в реальном времени, работает в автономном режиме.

The system for evaluation of water transparency in four wavelength range is developed. The system allows the on-line monitoring of pollutants in the upper layer of water body, and works in the off-line mode.

Введение

Важным показателем качества воды, используемой практически для любой цели является наличие механических примесей - взвешенных веществ, твердых частиц ила, глины, водорослей и других микроорганизмов, и других мелких частиц. Допустимое количество взвешенных веществ колеблется в широких пределах, как и возможное их содержание. Взвешенные в воде твердые частицы нарушают прохождение света через образец воды и создают количественную характеристику воды, называемую мутностью.

Наличие в воде природных водоемов минеральных и органических веществ обусловлено рядом причин: смывом паводковыми водами, переносом донных отложений, биологической активностью. Контроль качественного и количественного состава примесей, их временной и пространственной динамики является важной задачей во многих сферах человеческой деятельности. Одним из методов контроля количества примесей и биологической активности воды является оптический метод.

Для современных средств автоматизированного контроля водно-дисперсных сред, в частности, предназначенных для экологического мониторинга, важными показателями могут быть не только экспрессность и комплексность контроля, но и возможность получения оптических и гидрофизических показателей в автоматическом режиме. Такие системы необходимы как при определении динамики распространения загрязнений, седиментации, коагуляции так и при определении состава загрязнения.

Описание прибора.

Разработана система для оценки прозрачности воды в четырех диапазонах длин волн. Получение и обработка данных происходит *in situ*, в реальном масштабе времени, что позволяет осуществлять мониторинг пространственных и временных изменений прозрачности поверхностного слоя водного объекта. Система состоит из трех блоков: оптического, электронного и блока обработки. Схема оптического блока приведена на Рис. 1.

Корпусом блока служит пластиковая панель, разделенная параллельными равноотстоящими перегородками на ряд каналов, как показано на рисунке. Панель жестко закреплена на штанге, при помощи которой она погружается в воду. Сигнальные провода прокладываются по штанге. В каналах соосно расположены источники света (светодиоды) и приемники (фотодиоды ФД-256). Предусмотрена возможность изменения длины каналов путем перемещения пластины со светодиодами. Также предусмотрен отдельный герметично закрытый канал с дистиллированной водой, в котором установлен один приемник света и четыре источника, расположенных в одной плоскости (на схеме не показан). При погружении прибора в водоем каналы заполняются окружающей водой. Свет от источника, пройдя через толщу воды в канале, частично поглощается и рассеивается, прошедший свет принимается фотоприемником, вызывая появление фототока. Фотодиоды включены в фотогальваническом режиме, что обеспечивает линейную зависимость фототока от освещенности и малый темновой ток [3,4]. Светодиоды излучают видимый свет в следующих диапазонах: красный 630-670 нм., основная длина волны 660 нм., желтый 560-610 нм., основная длина волны 585 нм., зеленый 560-590 нм., основная длина волны 574 нм., синий 455-485 нм., основная длина волны 470 нм.

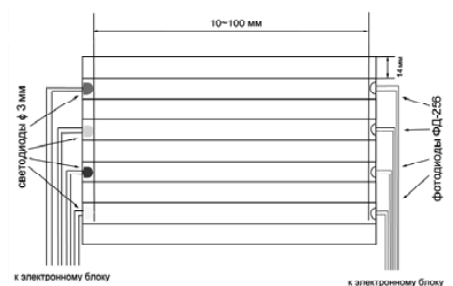
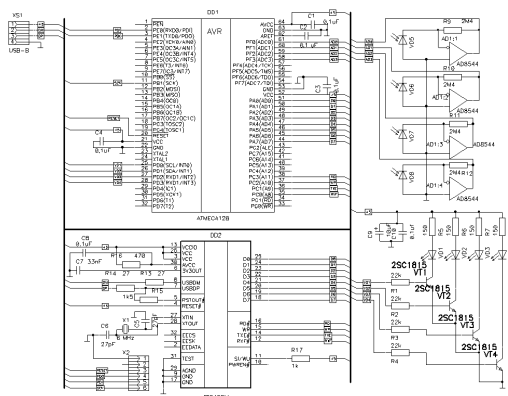


Рис. 1. Схема оптического блока.

Электронный блок прибора выполнен в отдельном корпусе, питание однополярное, напряжение 5 В. подается по шине USB от ПК или через преобразователь напряжения (на схеме не показан) от аккумулятора 12 В. Схема электронного блока приведена на Рис. 2.



Контроллер работает по следующему алгоритму:

- 1) Выбирается канал внутреннего АЦП контроллера.
- 2) Включается соответствующий для этого канала светодиод.
- 3) Контроллер ожидает 50 мс чтобы завершились переходные процессы в светодиоде.
- 4) Контроллер делает 10 выборок АЦП, которые сохраняются в массив данных. Каждая выборка представляет собой два однобайтных числа, получается 20 байт.
- 5) Контроллер передает в ПК накопленный во время горения светодиода массив данных.
- 6) Контроллер гасит зажженный в пункте 2 светодиод, после чего делает 10 выборок АЦП, выполняя пункты 3)-5). Эта последовательность действий выполняется поочередно для каждого канала.

Блок обработки состоит из аппаратной части (ПК или ноутбук с установленным драйвером устройства) и программной – программы для обработки сигналов, написанной в среде LabView 7.1. ПК принимает от микроконтроллера массив данных размером 160 байт, по 40 байт на канал. Этот массив разбивается на 4 массива отдельно для каждого канала. Для наглядности данные всех четырех каналов отображаются в одной графической области на мониторе ПК. Учет темнового тока производится путем вычитания значений сигнала при включенном светодиоде и при выключенном. Окончательные значения уровней сигналов получаются путем усреднения по 10 отсчетам. Далее формируются требуемые соотношения уровней сигналов для различных каналов.

Уровень сигнала для дистиллированной воды фиксируется для каждого канала и служит опорным при измерениях цвета воды в реальном водоеме.

Калибровка производится путем установки в канал светофильтров с известным поглощением и построением зависимости уровня сигнала от прозрачности канала.

Результаты измерений.

Параллельно с прямыми измерениями оптических характеристик воды проводили также определение содержания хлорофилла «а» в ацетоновых экстрактах фитопланктона стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТ 17.1.4.02-90. Максимальное содержание хлорофилла «а» ($44,8 \text{ мг/м}^3$) наблюдали в затоне Ковш реки Оби, близкое значение ($41,3 \text{ мг/м}^3$) получено для р. Лосихи. Минимальные значения обнаружены в реке Оби в заливе у городского пляжа «Водный мир» и у городского водозабора ($10,7 \text{ мг/м}^3$, $12,0 \text{ мг/м}^3$, соответственно).

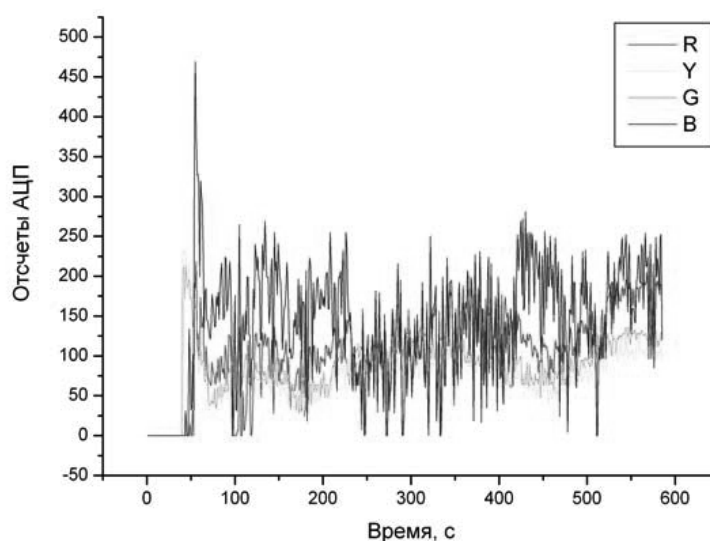


Рис.3 Динамика прозрачности реки Обь 21.мая 2010 года

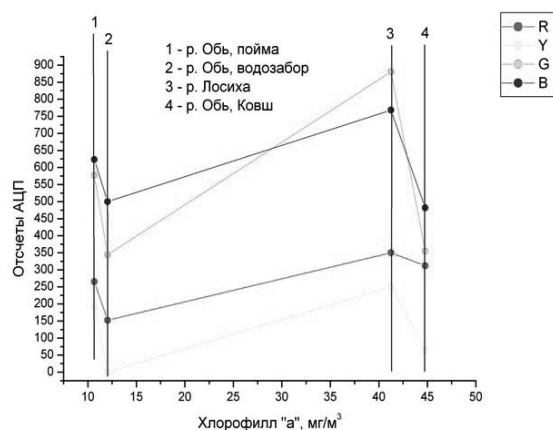


Рис.4 Измерения концентрации хлорофилла -А 31 мая 2010

Заключение:

Система позволяет осуществлять мониторинг загрязняющих веществ в поверхностном слое водного объекта в реальном времени, работает в автономном режиме.

Мобильность: малые габариты и вес позволяют проводить измерения в любой точке водоема .

Возможна запись полученных данных в файлы, что позволяет отслеживать как краткосрочную динамику примесей (несколько часов), так и в длительный период, сравнивая записи, сделанные в разные времена года.

ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – С. 587- 600.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ Р. НИЖНЯЯ ТУНГУСКА

Третьякова Е.И., Папина Т.С., Усков Т.Н.
ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, elentr@iwep.asu.ru

HYDROCHEMICAL REGIME OF NIZHNYA TUNGUSKA RIVER

Tretyakova E.I., Papina T.S., Uskov T.N.
IWEP SB RAS, Barnaul, elentr@iwep.asu.ru

Изучен гидрохимический режим р. Нижняя Тунгуска в период летне-осенней межени 2008 г., выявлены приоритетные загрязняющие вещества и особенности их распределения.

The hydrochemical regime of Nizhnyaya Tunguska River during summer-autumn period (2008) is studied. Priority pollutants and peculiarity of their distribution are found.

Работа выполнена в рамках договора «Оценка современного состояния водной среды и прогноз ее изменения на перспективу строительства Эвенкийской ГЭС на р. Нижняя Тунгуска».

Гидрохимическую оценку качества воды в р. Нижняя Тунгуска проводили по 6-ти основным группам гидрохимических показателей: физико-химические характеристики (t° , Eh, pH, цветность, мутность, взвешенное вещество), газовый режим (O_2 , CO_2), минеральный состав (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl, общая минерализация), биогенные элементы (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , $N_{общ}$, PO_4^{3-} , $P_{общ}$, Si), органические вещества (ХПК, БПК₅, фенолы (общие), фенольный индекс (летучие фенолы), нефтепродукты), тяжелые металлы (Ag, Al, As, Fe, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn, V).

При анализе фондовых данных были выделены приоритетные загрязнители, повторный мониторинг которых являлся целесообразным. К перечню обязательных показателей, указанных выше, были добавлены специфические загрязняющие вещества, которые могут иметь локальное распространение на данной территории, либо для которых были получены повышенные относительно фоновых концентрации (например, ванадий, стронций, алюминий и серебро). Среди органических веществ были выбраны следующие показатели: нефтепродукты, фенолы (общие), фенольный индекс (летучие фенолы). Анализ содержания фенолов проводилось с целью разделения техногенного вклада и естественного фона. Такие показатели как α, β, γ -ГХЦГ, ДДТ, ДДД, ДДЭ, 2,4-Д, хлороформ, формальдегид, полиакриламид, тетраэтилсвинец и т.д. — являются антропогенными, но ввиду низкой заселенности территории (1/3 человека на 1 км²), а также слабой инфраструктурой урбанизации исследуемой территории — с высокой долей вероятности находятся ниже или на уровне ПДК_{вр}. Формальдегиды (так же как и природные фенолы) могут продуцироваться в процессе разложения растительной (лигноуглеводной) массы, однако данная эмиссия является естественным фоном.

В период экспедиции 2008 г., согласно выбранной единой сети контрольных створов на р. Нижняя Тунгуска, были отобраны 20 проб воды (на 30 показателей каждая), 20 проб взвешенного вещества (14 показателей), 4 пробы донных отложений, разделенных на 2 фракции (14 показателей). Характеристика и описание точек отбора приведено в таблице 1.

Отбор и анализ проб проводили согласно нормативным документам [1, 2, 3], полученные результаты сравнивали с регламентированными предельно допустимыми концентрациями для вод

хозяйственно-питьевого и культурно-бытового (ПДК_в) и рыбохозяйственного (ПДК_{в,р}) назначения [4, 5].

Физико-химические показатели и газовый состав. Проведенный анализ проб воды Н.Тунгуски показал, что воды имеют реакцию водной среды, близкую к нейтральной (7,04÷7,44), положительные значения окислительно-восстановительного потенциала (+126 ÷ +224 mV), очень высокую цветность (85,7 ÷ 102 град.) и мутность (2,79 ÷ 3,61 ЕМФ). Последние два показателя превышают ПДК для питьевых вод: по цветности в 4-6 раз, по мутности в 1,1-1,4 раза. В газовом составе отмечается высокое содержание растворенного кислорода (9,07 ÷ 11,7 мгО/л), концентрации углекислого газа варьируют в пределах 3,89 ÷ 9,59 мг/л.

Таблица 1

- Характеристика створов наблюдения на р. Нижняя Тунгуска (август, 2008 г.)

№ створа	Расположение створа	Скорость течения, км/ч	Максимальная глубина, м
1	418 км от устья, 100 м выше впадения р. Дэтэктэ	9	8
2	293 км от устья, напротив впадения р. Меркурьи, 3 км выше п. Ногинск	10	10
3	220 км от устья, напротив впадения р. Атырь	—	—
4	120 км от устья	13	15
5	60 км от устья	10	16
6	15 км от устья	—	—

Минеральный состав. Воды реки Н.Тунгуска имеют невысокие значения минерализации, составляющие в среднем 115 мг/л. В минеральном составе среди анионов преобладают гидрокарбонатные ионы - их доля в среднем составляет 65%. В катионном составе доминируют ионы кальция – их доля - 57%. Минеральный состав в виде формулы Курлова имеет вид:

$$M_{0,115} \frac{HCO_3 65 Cl 29}{Ca 57 Na 24}.$$

Согласно классификации Алёкина, воды р. Нижняя Тунгуска относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу вод. Невысокие значения жесткости воды (1,00÷1,10 мг-экв/л) позволяют классифицировать воды Н.Тунгуски, как мягкие.

Биогенные элементы. Содержание биогенных элементов группы азота в водах р. Нижняя Тунгуска характеризуется широким разбросом концентраций. Наиболее высокие фиксировались для азота аммонийного, концентрации ионов NO₂⁻ во всех створах наблюдения не превышали их предел обнаружения, концентрации ионов NO₃⁻ составляли в среднем 0,10 мг/л. Соотношение между концентрациями N_{общ.} и NH₄⁺ указывает на присутствие в воде N_{орг.}, что, вероятно, связано

с его поступлением в составе гумусовых соединений из почв.

Воды р. Нижняя Тунгуска крайне обеднены соединениями фосфора: содержание фосфат-ионов и фосфора общего находится на уровне следовых количеств ($< 0,02$ мг/л).

По сравнению с другими биогенными элементами кремний занимает лидирующее положение - его концентрации ($6,72-7,41$ мг/л) на порядок выше.

Органические вещества. По результатам гидрохимической съемки 2008 г. выявлены высокие концентрации органических веществ. Во всех створах наблюдения фиксировалось превышение ПДК_{в.р.} по фенолам ($1,5-4,5$ ПДК), причем наблюдалось равномерное увеличение их концентраций по течению реки от первого до шестого створа, что свидетельствует о накопительном характере стока фенолов.

Также были выявлены повышенные концентрации нефтепродуктов: их превышения по нормам для питьевых вод составляло $2-6$ ПДК_{в.}, а для вод рыбохозяйственного назначения – $7-40$ ПДК_{в.р.}. Распределение концентраций нефтепродуктов по створам неравномерное, определенных закономерностей не наблюдается, что, возможно, связано с влиянием судоходства.

Повышенные содержания органических веществ в воде Н.Тунгуски косвенно подтверждают высокие значения показателей БПК₅ ($3,82$ мгО/л) и ХПК ($15,9-35,3$ мгО/л).

Тяжелые металлы. Анализ данных по содержанию тяжелых металлов в р. Нижняя Тунгуска показал отсутствие превышения нормативов для питьевых вод (ПДК_{в.}). В то время как превышения нормативов для вод рыбохозяйственного назначения (ПДК_{в.р.}) наблюдались для Cu во всех створах наблюдения, для Mn и Zn лишь в отдельных пробах. Отмечены максимальные содержания растворенных форм марганца – $1,2$ ПДК_{в.р.} и цинка – $1,7$ ПДК_{в.р.}.

Данные определения растворенных и взвешенных форм тяжелых металлов в пробах воды р. Н. Тунгуска свидетельствуют о том, что большая часть металлов (Fe, Mn, Co, Cr, V) транспортируется в составе взвешенного вещества, в то время как медь, свинец, цинк транспортируются в растворенной форме.

Анализ проб донных отложений показал существование пространственной неравномерности содержания тяжелых металлов по площади изучаемого участка реки. Для оценки качества донных отложений изучаемого участка реки проведено сравнение определяемых концентраций микроэлементов с фоновыми концентрациями донных отложений незагрязненных районов, фоновыми концентрациями горных осадочных пород земной коры и фоновыми концентрациями различных провинций. Отмечено превышение фоновых концентраций незагрязненных районов по содержанию As, Co, Cr, Cu, Ni, Mn, Zn. Для осадочных пород земной коры наблюдается превышение содержания Fe, Co, Zn, V. При этом содержание Co, Cu, Ni, V, Zn в донных отложениях на изучаемом участке реки находятся на региональном фоновом уровне.

Таким образом, результаты исследований воды р. Нижняя Тунгуска показали:

1. Негомогенное распределение в потоке реки органических веществ и тяжелых металлов;
2. Высокие содержания органических веществ в воде (по индексу ПО и ХПК), содержание нефтепродуктов в створах, расположенных ближе к устью превышает ПДК_{в.} ~ в $1,3$ раза, а содержание фенолов повсеместно превышает ПДК_{в.} (до $4,4$ раз);
3. Среди биогенных элементов преобладает кремний; неорганический фосфор присутствует в незначительных количествах; несмотря на высокие содержания растворенного кислорода, среди форм азота преобладает аммонийная;
4. Содержание растворенных форм тяжелых металлов в пробах воды не превышает допустимых ПДК_{в.}, а превышения ПДК_{в.р.} наблюдалось только для Cu и Zn;
5. Наличие пространственной неравномерности содержания тяжелых металлов в донных отложениях по площади изучаемого участка реки.

Литература

1. ГОСТ Р 51592-2000 — Вода. Общие требования к отбору проб.
2. ГОСТ 17.1.5.01-80 — Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.
3. РД 52.18.595-96. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды. - СПб.: Гидрометеиздат. - 67 с.
4. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
5. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействий (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. - М.: ВНИРО, 1999. - 304 с.

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОД БАССЕЙНА
РЕКИ СЕЛЕНГА В УСЛОВИЯХ ТРАНСГРАНИЧНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ (ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 2008 Г.)**

*Ульзетуева И. Д., Хахинов В.В., Улан-Удэ, Байкальский институт
природопользования СО РАН, idulz@yandex.ru*

**HYDRO CHEMICAL INVESTIGATION OF WATER OF SELENGA RIVER
BASIN IN CONDITIONS OF TRANSBOUNDARY POLLUTIN
(FIELD RESEARCH OF 2008 YEAR)**

*Ul'zetueva I.D., Khakhinov V.V., Ulan-Ude, Baikal Institute of Nature
Management SB RAS, idulz@yandex.ru*

В работе представлены результаты экологических исследований поверхностных вод бассейна реки Селенга. Установлено, что лимитирующими показателями качества воды являются концентрации тяжелых металлов – марганца, железа, меди и цинка.

The results of ecological researches of superficial waters of a river basin Selenga are presented in this work. It is established, what limiting parameters of quality of water are concentration of heavy metals - Manganese, iron, copper and zinc.

Река Селенга имеет статус водного объекта РФ высокой экологической значимости, так как является трансграничным объектом и основным притоком озера Байкал, в значительной степени формирующим его гидрохимический режим, а ее устьевая часть входит в Участок всемирного природного наследия. Поверхностные водные объекты в бассейне реки Селенги являются источниками водоснабжения для хозяйственно-питьевых, промышленных и сельскохозяйственных нужд, и поэтому, уровень антропогенного воздействия на водные объекты бассейна реки велик, так как основные промышленные узлы Монголии и Республики Бурятия сосредоточены в ее бассейне. Кроме того, водные объекты бассейна используются рыбохозяйственными водоемами высшей категории. Большое негативное влияние на качество воды бассейна реки Селенги оказывают недостаточно очищенные сточные воды промышленных предприятий, рассредоточенный сток с водосборных территорий, с которых в результате смыва с реки и озера поступает большое количество загрязняющих веществ антропогенного происхождения.

Основными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы (ТМ), соединения которых не подвергаются деструкции в природных водах, а лишь изменяют формы существования. Изменение экологической обстановки требует строгого контроля в объектах окружающей среды содержания ТМ, которые обладают высокой токсичностью для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также имеют способность к биоаккумуляции и активно участвуют в биологических процессах.

Целью работы является экологическая оценка качества поверхностных вод реки Селенга на территории Республики Бурятия.

В работе были исследованы воды реки Селенга, отбор проб производился в июне-июле 2008 г. в 14 контрольных створах, начиная с пограничного поста у пгт Наушки до с. Мурзино, включая р. Модонкуль – приток р. Джиды.

Вода реки Селенга имеет слабощелочную реакцию, значение рН по длине реки от 7,85 до 8,39. Температура воды в период исследований находилась в пределах 19,5-22,2⁰С. Река Селенга по

химическому составу воды относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы первого типа. Среди катионов в ионном составе ведущая роль принадлежит кальцию ($14,0-32,0$ мг/дм³), превышая концентрацию магния ($3,7-8,0$ мг/дм³) в несколько раз. По показателям общей жесткости ($0,9-1,78$ мг-экв/дм³), воды мягкие. В анионном составе преобладают гидрокарбонаты, максимальное значение которых составляло $109,8$ мг/дм³, сульфатов - $6,0-27,9$ мг/дм³, хлоридов - $0,3-1,6$ мг/дм³.

В формировании гидрохимического режима Селенги на территории России большое участие принимают впадающие в нее притоки. Значения минерализации, зафиксированные в контрольных створах на р. Джида и в водах р. Селенга, поступающих из Монголии выше значений, полученных в контрольных створах на р. Селенга после Улан-Удэ. Максимальное значение минерализации наблюдается в створе у п. Новоселенгинск, далее значения минерализации снижаются в связи с разбавлением речных вод притоками и дождевыми осадками. Кислородный режим в период исследования на всем протяжении реки от контрольного створа пгт. Наушки до контрольного створа с. Мурзино, в целом был удовлетворительным. Содержание растворенного кислорода варьировалось в пределах от $6,1$ до $9,4$ мг/дм³.

Исследование вод на содержание ТМ показало, что основными элементами, загрязняющими воды, содержание которых превышают значения ПДК, являются марганец, железо, медь и цинк. Основными источниками поступления ТМ являются производственные отходы и сточные воды промышленных предприятий, в том числе ранее функционировавший Джидинский вольфрамowo-молибденовый комбинат, рудничные воды которого, впадая, загрязняют реку Модонкуль.

Марганец. Как показали наши исследования, повышенное содержания марганца наблюдается в точках отбора проб в зоне основных промышленных узлов – Наушки (Кяхтинский промузел) ($1,3$ ПДК), Улан-Удэнский ($2,4$ ПДК), Кабанск (Нижнеселенгинский) ($2,5$ ПДК). Наиболее высокие концентрации марганца отмечались в водах р. Модонкуль (Закаменский промузел). В рудничных водах значение ПДК было превышено в 3100 раз. Ниже, по течению реки Модонкуль, после впадения в нее шахтных вод наблюдается постепенное снижение концентрации марганца, так, в пробах воды реки Джида у с. Хамней содержание марганца превысило ПДК в $1,2$ раза.

Железо. Исследование содержания общего железа в данных водах показало изменение значений в интервале $<100-370$ мкг/дм³. Превышение концентраций железа характерно практически для всех пунктов отбора проб, которые совпадают с основными промышленными узлами Бурятии. У пгт Наушки превышение составило $2,5$ ПДК. В водах реки Уда в районе г. Улан-Удэ при ее впадении в реку Селенга содержание железа превысило значение ПДК в $1,8$ раз, а после г. Улан-Удэ концентрация железа увеличивается и превышает ПДК в $2,6$ раз. Далее по течению реки наблюдается снижение концентрации железа. В контрольном створе у села Кабанск, после Селенгинского ЦКК содержание железа увеличилось и составило $3,2$ ПДК. В рудничных водах концентрация железа превысила значение ПДК в 14 раз.

Медь. По результатам наших исследований содержание меди изменялось в интервале $0,93-9,7$ мкг/дм³. Основными источниками поступления меди являются сточные воды предприятий промышленных узлов региона. У пограничного створа пгт Наушки превышение ПДК отмечалось по содержанию меди в $3,2$ раза. В водах реки Уда в районе г. Улан-Удэ также отмечалось превышение концентрации меди в $2,7$ раз. Далее по течению до устья реки наблюдалось незначительное снижение концентрации меди. Наиболее загрязнены воды р. Модонкуль. По результатам исследования рудничных вод концентрация меди составила 3000 ПДК. После впадения шахтных вод в реку Модонкуль превышение составило 16 ПДК. После г. Закаменск концентрация меди снизилась до 13 ПДК.

Цинк. У пгт Наушки превышение составило $1,6$ ПДК. Небольшое превышение ПДК наблюдается в районе г. Улан-Удэ. Наиболее загрязненными также является воды р. Модонкуль. В рудничных

водах концентрация цинка превысила значение ПДК в 1000 раз. Далее, разбавляясь водами реки, концентрация заметно снижается и уже в водах реки Джиды у с. Хамней превышений ПДК не наблюдается.

Высокие концентрации таких металлов как кобальт, никель, свинец отмечались только в шахтных водах. Так, концентрация кобальта превышала значение ПДК в 45 раз, никеля и свинца в 25 и 28 раз соответственно.

Таким образом, загрязненность воды р. Селенга на территории РБ начинается с пограничного пгт Наушки, что вероятно обусловлено трансграничным переносом загрязняющих веществ, а также сточными водами поселка. Далее от пгт Наушки до г. Улан-Удэ в результате разбавления вод главными притоками: Джиды, Чикой, Хилок, Темник, а также процессов самоочищения происходит снижение концентраций загрязняющих веществ. Основными источниками загрязнения водных ресурсов в нижнем течении р. Селенга являются г. Улан-Удэ, п. Селенгинск. Концентрация химических элементов в воде р. Селенга контролируется несколькими факторами. Уменьшение концентраций кальция, магния, сульфата вниз по течению р. Селенга связано с эффектом разбавления воды впадающими притоками, которые имеют меньшую общую минерализацию. Другие компоненты, такие как хлориды, нитраты, нитриты, аммоний ведут себя по-разному, их поступление в воды, связано с влиянием населенных пунктов расположенных на берегу реки. Превышение ПДК анализируемых металлов в исследуемых водах является как следствием наличия различных геологических процессов, но в большей степени определяется хозяйственной деятельностью человека. ТМ концентрируются в основном в районе источников загрязнения, не удаляясь от них на значительные расстояния. Качество воды водных объектов по содержанию ТМ не соответствует требованиям, предъявляемым к водоемам рыбохозяйственного назначения.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ АМУР В 2009 ГОДУ*Фишер Н.К.**Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, fisher@ivep.as.khb.ru***MICROBIOLOGICAL ESTIMATION OF THE AMUR RIVER WATER QUALITY IN 2009***Fisher N.K.**Khabarovsk, Institute of water and ecological problems FEB RAS, Khabarovsk, fisher@ivep.as.khb.ru*

Представлены результаты экспедиционных исследований реки Амур. Анализ качества воды на основе микробиологических показателей показал, что худшее качество воды было ниже устья р. Сунгари.

The paper presents results of expeditionary research of the Amur River. It is shows that worst water quality was bellow of the Songhua River mouth.

Река Амур является источником водоснабжения для многих населенных пунктов, расположенных по её берегам. Поэтому большое внимание уделяется качеству воды реки. Значительное внимание к качеству воды р. Амур появилось в середине 1990х годов после появления «химического запаха» в воде и рыбе [1,4]. Еще большее внимание качеству воды р. Амур стали уделять после техногенной аварии в Китае, в результате чего в р. Сунгари поступило около 100 тонн нитробензола с примесями различных ароматических веществ, которые затем поступили в р. Амур.

Летом 2009 г. во время экспедиций были проведены микробиологические исследования качества воды р. Амур на участке протяженностью около 2000 км от г. Благовещенск до с. Савинское. Исследования проводили во время паводка на р. Амур, который сформировался в результате интенсивных дождей шедших в течение 2-3 месяцев.

Объекты и методы исследования.

В качестве объектов исследования использовали планктонные микробоценозы поверхностных слоев воды р. Амур. Пробы воды от г. Благовещенск до г. Хабаровск отбирали на фарватере, так как на данном участке проходит граница с КНР. На участке реки от г. Хабаровск до с. Савинское пробы воды отбирали на середине реки.

Анализ численности бактерий проводили путем посевов на агаризованные селективные среды методом предельных разведений с последующим пересчетом на 1 мл воды и выражали в колонии образующих единицах (КОЕ/мл) [2]. Определяли общую численность жизнеспособных гетеротрофных бактерий (ОЧГБ), аммонифицирующих бактерий (АМБ), нитрифицирующих бактерий (НБ) и группу фенолрезистентных и фенолоксиляющих бактерий (ФРБ/ФОБ). Качество воды оценивали на основании классификации природных вод по микробиологическим показателям [3]. Коэффициент минерализации, или самоочищающую способность рассчитывали по формуле: $M = N_{НБ} / N_{АМБ}$, где N – число микроорганизмов соответствующих групп [2].

Результаты и обсуждение.

Исследования показали, что максимальная численность индикаторных групп микроорганизмов, отмечалась на участке ниже впадения реки Сунгари (рис. 1). На данном участке реки фарватер располагался ближе к правому китайскому берегу, и удалось отобрать воду, наиболее загрязненную сунгарийской водой. Выявлено, что со стоком реки Сунгари поступают азотсодержащие и фенольные соединения, которые могут входить в состав хозяйственно-бытовых и промышлен-

ных сточных вод. На 200 км и 145 км фарватер располагался на середине реки и ближе к левому российскому берегу и сунгарийские воды не достигали фарватера, поэтому не было зафиксировано влияние загрязненных вод реки Сунгари на увеличение численности бактерий (рис. 1). Далее пробы воды отбирали преимущественно на середине реки. На 132 км сунгарийские воды достигли середины реки, что вновь отразилось на увеличении численности бактерий. Интенсивное загрязнение, поступающее со стоком реки Сунгари, распространялось до г. Хабаровска.

На нижерасположенных участках численность индикаторных групп бактерий снизилась. Однако было отмечено резкое увеличение численности группы фенол-резистентных и фенолокисляющих бактерий на участке реки выше озера Хаванда с 66 до 1943 КОЕ/мл. Значительное увеличение численности бактерий данной группы отмечено не только на середине реки, но и у правого берега. В районе с. Софийск загрязнение фенольными соединениями на середине реки снизилось, но попрежнему оставалось высоким у берегов.

Не смотря на большие паводки и интенсивный смыв органических веществ с берегов численность индикаторных групп бактерий летом 2009 г. была примерно в 2-5 раза ниже, чем во время паводков в летние периоды в 1998 г. и 2006 г. [1]. Возможно, это связано с большим разбавлением загрязняющих веществ.

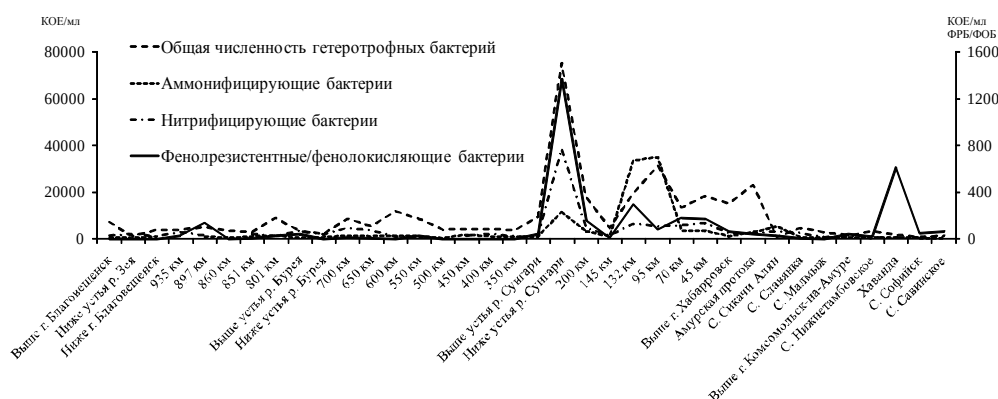


Рис. 1. Динамика численности бактерий реки Амур

Анализ качества воды по классификации на основе численности аммонифицирующих бактерий [3] показал, что воды реки Амур на участке от г. Благовещенска до участка выше устья реки Сунгари характеризуются как слабо загрязненные, от устья реки Сунгари до 70 км — загрязненные и грязные, от 70 км до с. Славянка — умеренно загрязненные, от с. Славянка до с. Савинское — вновь слабо загрязненные (рис. 2).

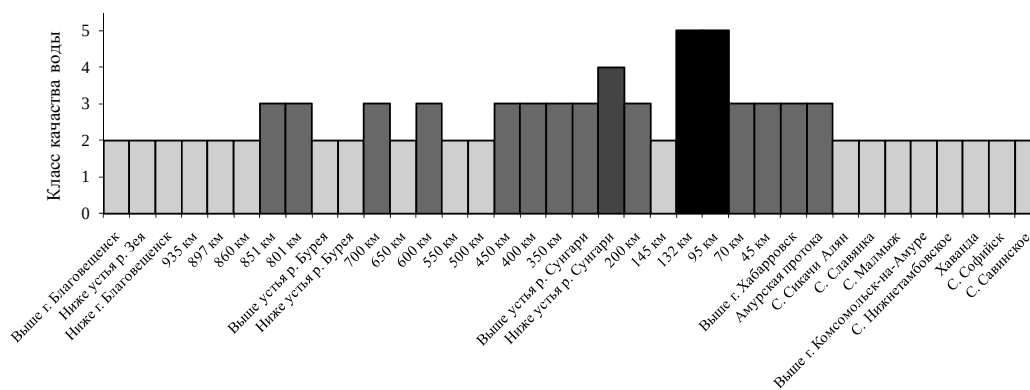


Рис. 2. Динамика качества воды р. Амур : 2 класс — слабозагрязненные, 3 — умеренно загрязненные, 4 — загрязненные, 5 — грязные.

Исследование самоочищающей способности показало, что коэффициент минерализации варьировал от 1 до 3,6. Это говорит об интенсивных процессах минерализации органических веществ, которые поступили с поверхностным стоком во время паводка. Однако на участке реки ниже устья реки Сунгари, где отмечалась максимальная численность индикаторных групп бактерий и вода характеризовалась как грязная, была отмечена очень низкая самоочищающая способность. Коэффициент минерализации на данном участке реки не превышал 0,19, что говорит о серьезном нарушении процессов нитрификации и может привести к накоплению в водной среде нитритов и образованию токсичных нитрозоаминов.

Таким образом, проведенные микробиологические исследования поверхностных вод реки Амур показали, что как и в предыдущие годы, летом 2009 г. основное поступление азотсодержащих и фенольных соединений происходило со стоком реки Сунгари. Загрязненные сунгарийские воды приводят к ухудшению качества воды в реке Амур и снижению ее самоочищающей способности.

Литература

1. Кондратьева Л.М. Экологический риск загрязнения водных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2005. – 299 с.
2. Микроорганизмы в экосистемах Приамурья / Л.М.Кондратьева, Л.А. Гаретова, Е.Л. Имранова и др. Владивосток: Дальнаука, 2000. 198 с.
3. Таубе П.Р., Баранова А.Г. Химия и микробиология воды. – М.: Высш. школа, 1983. – 280 с.
4. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Роль реки Сунгари в формировании химического состава воды Среднего Амура в зимнюю межень // Биогеохимические и гидроэкологические оценки наземных и пресноводных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2003. Вып. 13. – С. 106-120.

БИОГЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В РЕЧНОЙ ВОДЕ БАССЕЙНА СЕЛЕНГИ (РОССИЙСКИЙ УЧАСТОК)

Хажеева З.И., Байкальский институт природопользования СО РАН
г. Улан-Удэ, e-mail: zkhazh@binm.bscnet.ru

BIOGENIC SUBSTANCES IN RIVER WATER SELENGA WATERSHED (RUSSIAN PART)

Khazheeva Z.I., Baikal Institute of Natural Management Siberian Branch, Russian Academy of Science, Ulan-Ude, Russia

Рассмотрено внутригодовое и пространственное распределение биогенных веществ в речной воде бассейна Селенги. Установлены соотношения органических и минеральных форм биогенных элементов.

The concentration of biogenic elements in the river water of Selenga basin is considered in this study. Ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, nitrite nitrogen, phosphorus phosphate are taking the most important on ecological state and formation of water quality Selenge river.

Речной сток – главный фактор формирования гидрохимической основы биологической продуктивности вод рек. Содержание биогенных веществ (БВ) в реках служит комплексной характеристикой биогеохимических процессов в природных водах. Оно отражает развитие естественной трансформации вещества – интенсивность образования и выноса продуктов выветривания горных пород, растворения осадочных пород, эрозии почв, образования и распада органического вещества, а также антропогенного воздействия на окружающую среду обитания (прямые сбросы в водоемы промышленно-бытовых сточных вод и отходов сельскохозяйственного производства).

Гидрохимические наблюдения проводились с 2002 по 2009 гг. (до 10 станций ежегодно) в различные сезоны года: в подледный период (декабрь, февраль), после вскрытия ото льда (май–июнь), в пик вегетации (конец июня – начало августа) и при осеннем охлаждении вод (конец сентября – октябрь).

В верхнем течении р. Селенга максимальная концентрация аммонийного азота N-NH_4^+ во внутригодовом распределении наблюдалась в зимний период и составляла 68-74 мкг/л, в период половодья и летней межени его количество уменьшалось до 9 - 20 мкг/л, а в конце сентября, в октябре возрастало до 40 -55 мкг/л.

В среднем течении реки ниже г. Улан-Удэ (рзд. Мостовой) максимальная амплитуда колебаний рассматриваемой формы азота увеличивается до 153 мкг/л и наблюдается в апреле – мае. В зимний период его содержание варьировало в интервале 90– 120 мкг/л, в летне-осенний период – в пределах 10 – 90 мкг/л. Во внутригодовой динамике колебаний концентрации отчетливо прослеживается цикличность в два–три месяца.

В нижнем течении реки (п. Кабанск) максимальная амплитуда колебаний содержания аммонийного азота было равна 220 мкг/л. В остальные периоды годового цикла пределы варьирования этой формы азота близки таковой на ств. рзд. Мостовой.

Внутригодовая динамика концентрации аммонийного азота в водах главных притоков аналогична таковой в р. Селенга. Воды рр. Чикой и Хилок отличаются повышенным (до 260-280 мкг/л) содержанием аммонийной формы азота в зимний период, в период открытого русла реки его содержание варьирует в пределах 10-70 мкг/л. В водах рр. Уда, Джиды и Темник содержание аммонийной фор-

мы азота ниже. Его максимальная концентрация не превышает 145 – 160 мкг/л. В отдельные годы в летние месяцы содержания аммонийного азота в водах этих рек снижались до аналитического нуля.

Повышенные концентрации нитритов $\text{N}^- \text{NO}_2^-$ повсеместно наблюдаются в феврале – марте вследствие окисления аммонийного азота до нитритов – токсичных, неустойчивых форм азота. В это время в верхнем течении Селенги содержание нитритной формы азота колебалось в пределах 14 – 22 мкг/л, в отдельные годы 2004, 2005, 2007 гг. превышало ПДК_{р.в.} в 1,5 – 1,8 раза и составляло 35 – 37 мкг/л. В мае-июне их содержание падает до аналитического нуля, в конце июля нитриты наблюдались в количестве 3 -5 мкг/л, в августе их содержание уменьшалось до нуля в отдельные годы. Октябрь характеризовался небольшим повышением содержания нитритов до 8- 9 мкг/л.

В среднем течении Селенги ниже г. Улан- Удэ максимальные амплитуды колебаний содержания нитритов в марте были 10 - 14 мкг/л, в отдельные годы (2003, 2005 гг.) отмечалась концентрация 18-20 мкг/л. В мае-июне нитрит присутствовал в количестве 2-4 мкг/л, в начале июля его содержание возрастало до 11-15 мкг/л, в октябре – не превышало 5 - 6 мкг/л.

В нижнем течении (п. Кабанск) максимальная концентрация нитритной формы азота составляла 16 - 18 мкг/л. В мае – июне нитриты присутствуют в количестве 2 - 4 мкг/л, в июле возрастают до 10 – 12 мкг/л, в конце августа их содержание не превышает 0 – 3 мкг/л, а в октябре увеличивается до 8 – 12 мкг/л.

Динамика внутригодового распределения нитритного азота в воде главных притоков аналогична таковой р. Селенга. Воду рр. Чикой, Уда отличает относительно высокая амплитуда колебания содержания нитрита до 12-14 мкг/л в марте, что вызвано сравнительно большим органическим загрязнением этих водотоков по сравнению с другими притоками. В воде рр. Хилок, Джида, Темник максимальная амплитуда колебаний среднемесячных концентраций не превышала 2-9 мкг/л. В остальные периоды годового цикла динамика колебания концентрации нитритной формы азота близка в водах других главных притоков. В конце мая, августа содержание нитритов в водах на уровне аналитического нуля. Максимальная концентрация нитрит-иона отмечаются в р. Уда, подверженной в наибольшей степени органическому загрязнению. Концентрация нитритов в водах рек превышает ПДК р.в. (0,02 мг/л) приблизительно в 20% проанализированных проб.

Во временном распределении азотистых соединений из минеральной триады в водах рек бассейна Селенги преобладает нитрат $\text{N}^+ \text{NO}_3^-$. Для внутригодовой изменчивости нитрата характерно наличие двух максимумов : в феврале-марте и в сентябре - октябре. Эти максимумы связаны с уменьшенным потреблением фитопланктоном минеральных веществ и накоплением органики. Минимумы нитратного азота приходятся на июль-август вследствие интенсивного их потребления (в основном минеральных форм) в процессе фотосинтеза.

По сравнению с главными притоками вода Селенги характеризуется повышенным содержанием нитратной формы азота. В зимний период наибольшее содержание нитрата в воде Селенги на разных участках по течению существенно различается: в верхнем течении п. Наушки – 260-280 мкг/л, в среднем течении рзд. Мостовой – 510 – 540 мкг/л, а в нижнем течении п. Кабанск – 700 -720 мкг/л.

В период открытого русла реки их содержание выравнивается по течению. В мае – июне его содержание варьирует в интервале 80 -120 мкг/л, в июле - в количестве 50 – 80 мкг/л. В конце августа в нижнем течении содержание нитрата в селенгинской воде возрастает до 220 -320 мкг/л вследствие минерализации органики. В октябре нитрат присутствовал в количестве 350–420 мкг/л.

Временная изменчивость режима нитратного азота в водах главных притоков аналогична таковой в р. Селенга. За период исследований максимальная амплитуда изменения концентрации нитратов в воде р. Чикой составляла 580 - 600 мкг/л, р. Хилок – 650-680 мкг/л, р. Уда – 350 – 370 мкг/л, р. Джида – 450 – 490 мкг/л, р. Темник – 280 – 320 мкг/л в зимний подледный период. В пе-

риод открытой воды отмечалось плавное снижение содержания нитрата до уровня 20 – 60 мкг/л, а осенью повышение их до 100 – 160 мкг/л. Воду рр. Чикой, Хилок и Джиды отличает повышенное средне-многолетнее содержание нитрата 94, 89 и 115 мкг/л соответственно по сравнению с другими притоками рр. Уда и Темник – 42 – 63 мкг/л соответственно.

Биогенные элементы, активно участвуя в биопродукционных процессах, определяют интенсивность развития первичных продуктов. Эти процессы определяются не только имеющимися легко доступными биоте минеральными формами N и P, но и органическими соединениями, которые при своей биохимической трансформации способны обеспечивать окружающую среду легко утилизируемыми планктоном формами биогенных веществ. Содержание общего азота $N_{\text{общ}}$ различно в речных водах бассейна Селенги. В воде Селенги его максимальное внутригодовое количество различается по течению реки: на ств. п. Наушки – 345, в среднем течении рзд. Мостовой – 710, в нижнем течении п. Кабанск – 1150 мкг/л. В воде рр. Чикой, Хилок, Уда максимальное содержание общего азота составляет – 850, 915 и 542 мкг/л соответственно, в водах рр. Джиды и Темник – 685 и 384 мкг/л.

Поведение фосфора в водах более сложное, чем нитратов. Нагрузка речного стока по фосфору в несколько раз превосходит природную в результате промышленных и сельскохозяйственных стоков и попадающих в реки детергентов, содержащих полифосфаты. Воды р. Хилок отличаются наибольшей внутригодовой амплитудой содержания фосфатов $P-PO_4^{3-}$ 44 мкг/л, в Селенге эта величина не превышала 18-20 мкг/л. Вода Джиды характеризуется повышенной концентрацией фосфата (29 мкг/л). Внутригодовой режим изменчивости фосфата в воде рек бассейна различается. Так, в Селенге максимальная концентрация фосфата отмечается в феврале – марте, тогда как в притоках максимальные пиковые содержания фиксируются в мае – июне. Среднегодовое содержание фосфата в воде рек бассейна Селенги за период 2002 – 2009 гг. было практически одинаково 3-6 мкг/л при изменении среднегодовых концентраций от 2 до 8 мкг/л. Максимальное содержание фосфата в воде рек на порядок ниже ПДК р.в. (0,200 мг/л).

Динамика режима общего фосфора $P_{\text{общ}}$ отличается ярко выраженным увеличением его содержания в период весеннего половодья в основном за счет органических форм. В этот период в водах Селенги максимальная амплитуда внутригодового содержания общего фосфора составляла 52-54 мкг/л. В остальные периоды годового цикла содержание общего фосфора варьировало в интервале 14 – 28 мкг/л. Среднемноголетнее содержание этого показателя в нижнем течении реки составило 18 мкг/л при колебании среднегодовой концентрации в интервале 14 – 22 мкг/л.

По содержанию общего фосфора главные притоки различаются. Первую группу с наибольшей амплитудой максимального содержания составляет вода рр. Хилок и Уда, в которых величина этого показателя варьировала в пределах 70 – 84 мкг/л. Среднемноголетнее содержание в водах этих рек было равно 21 -22 мкг/л. Вторую группу составляют воды рр. Чикой, Джиды, Темник, в которых максимальная амплитуда концентрации общего фосфора во внутригодовом режиме варьировала в пределах 20 – 44 мкг/л, со среднемноголетним содержанием 9- 15 мкг/л. Среднегодовое соотношение органических компонентов P от $P_{\text{общ}}$ меняется в стоке рек от 0,66 до 0,88. Оно наибольшее в стоках р. Темник (среднее 0,88) и в стоках рр. Селенга и Уда (0,77), а наименьшее в стоке р. Джиды (0,66).

Таким образом, реки различаются по среднегодовым и среднемесечным соотношениям растворенных органических и минеральных форм биогенных веществ. Наибольшее среднегодовое отношение $N_{\text{мин}}/PO_4^{3-} = 66,5$ отмечено в водах р. Селенга, оно почти в 2 раза больше, чем в водах Чикой (33,7) и в 3 раза больше, чем в водах рр. Хилок, Уда, Джиды, и Темник (21,7 – 28,2). В течение года отношение $N_{\text{мин}}/PO_4^{3-}$ в реках довольно изменчиво. Наименьшие его значения (0,4 – 1,4) отмечаются в реках Селенга, Чикой, Хилок в июле – августе, а в меньших по стоку реках Уда, Джиды позже - в конце августа. Наибольшие отношения $N_{\text{мин}}/PO_4^{3-}$ в реках бассейна отмечаются в разные месяцы: в Селенге (450) в феврале, в Чикое, Хилке, Уде (186 – 485) в апреле.

СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ РЕЧНЫХ ВОД БАСЕЙНА СЕЛЕНГИ (РОССИЙСКИЙ УЧАСТОК)

Хажеева З.И.

Байкальский институт природопользования СО РАН

г. Улан – Удэ, ул. Сахьяновой, 6; e-mail: zkhazh@binm.bscnet.ru

CONTENT OF ORGANIC MATTER AND DISSOLVED OXYGEN IN RIVER WATER OF SELENGA WATERCHED (RUSSIAN PART)

Khazheeva Z.I.

Baikal Institute of Natural Management Siberian Branch, Russian Academy of Science

Ulan-Ude, Sakhyanova st. 6, Russia

Рассматривается содержание органических веществ и внутригодовая динамика изменения активной реакции и газового режима речных вод бассейна Селенги.

Seasonal variability of dissolved organic matter and the influence of river type as well as antropogenic impact of watershed on concentration have been shown.

Река Селенга – главная водная артерия Республики Бурятия и Монголии. Она выполняет важнейшие хозяйственные функции: снабжает водой население и промышленные предприятия, принимает хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды, является рыбохозяйственным водоемом высшей категории и имеет важнейшее значение в воспроизводстве омуля пелагической популяции, наиболее многочисленной в оз. Байкал. Гарантированный расход воды р. Селенга в подледный период на ств. с. Новоселенгинск, ниже г. Улан-Удэ, ниже с. Тресково соответственно – 4,98, 7,01 и 8,31 м³/с, а общий годовой расход воды составляет соответственно – 740, 941 и 951 м³/с. Городские очистные сооружения г. Улан-Удэ сбрасывают ежедневно 110 – 120 тыс. м³/сут сточных вод в р. Селенгу, что составляет примерно 20% в зимний и менее 1% расхода воды реки в период открытого русла. Величина БПК₅, сбрасываемых сточных вод, изменяется в пределах 9,8 – 11,3 мг О₂/л. Очевидно, что очищенные сточные воды не соответствуют установленным ПДК для БПК₅.

Температуры воды рек бассейна с конца октября до первой половины апреля близка к нулю. В мае она повышается до 5-7°C, в июне – августе достигает наивысшего уровня – 21,5 – 24,2 °C. С сентября начинается постепенное ее понижение и во второй половине октября – начале ноября речные воды покрываются льдом. Таким образом, реки покрыты льдом в течение семи месяцев в году.

Активная реакция воды Селенги в зимний период в верхнем течении практически нейтральна (рН = 7,4 – 7,7) и лишь в отдельные годы (2003, 2005 гг.) в марте слегка смещалась в кислую сторону до рН равной 7,2 – 7,3. В среднем же течении на ств. Мостовой водородный показатель фиксировал слабокислое состояние среды и варьировал в среднем в интервале 6,8-7,5, в отдельные годы в марте (2004, 2006, 2007 гг.) находился на уровне 6,3-6,5. В нижнем же течении (п. Кабанск) реакция среды воды в этот период была нейтральной и изменялась в интервале 7,5-7,9.

Активная реакция вод рр. Чикой, Хилок, Уда, Джиды и Темник в это время изменялась от нейтральных (рН = 7-7,4) до слабощелочных (рН = 7,7-8,4) показателей.

В период открытого русла реки водородный показатель рН колебался в верхнем течении от 7,2

до 7,6, в среднем – от 7,4 до 8,4, в нижнем – от 7,6 до 8,6. Из приведенных данных видно, что при смещении вниз по течению реки реакция среды воды сдвигается в щелочную сторону.

Сопоставление внутригодовой динамики изменения водородного показателя в воде р. Селенги и рр. Чикой, Хилок, Уда, Джиды, Темник обнаруживает некоторые отличия. В воде притоков во время снеготаяния (апрель, май) наблюдается резкое снижение величины рН. В период паводков (июль, август) понижение водородного показателя характерно для всех притоков. В отличие от притоков в воде Селенги минимальные значения величины рН отмечены в подледный период. В весеннее половодье и во время летних паводков (июль, август) снижение величины рН выражено значительно меньше.

Сопоставление среднегодовых значений рН с опубликованными данными по среднему течению реки (рзд. Мостовой), относящимися к началу 1960 – х годов, позволяет выявить тенденцию смещения активной реакции воды Селенги в слабощелочную область.

Газовый режим исследованных вод благоприятен для гидробионтов. Летний минимум концентрации растворенного в воде кислорода в абсолютных величинах приходится на период максимального прогрева воды. Так, в июле в водах Селенги ($T = 22,3 - 23,4^{\circ}\text{C}$) абсолютное содержание кислорода в поверхностной воде составляло 7,5-8,1 мг/л. Минимальная концентрация двуокиси углерода в годичном цикле отмечается в летнее время и совпадает с периодом активного фотосинтеза.

Величина биохимического потребления кислорода определяет потребление кислорода на окисление биохимически легко- и среднеокисляемых примесей, так как они оказывают основное влияние на изъятие кислорода из воды в ходе ее самоочищения.

В зимний период при смещении вниз по течению р. Селенги после впадения рр. Джиды и Чикой повышенные величины БПК₅ отмечались на ств. с. Новоселенгинск, где наибольшие значения БПК₅ достигали от 2,3 до 2,95 мгО₂/л. Повышенные значения БПК₅ скорее всего связаны с расходом кислорода на биохимическое окисление нестойких органических веществ, выделяемых водорослями фитопланктона, поступающего с водами указанных притоков. Но уже выше г. Улан-Удэ наибольшие величины БПК₅ составляли 1,7 -1,9 мгО₂/л, т.е. в 1,7 раза меньше.

В створе ниже г. Улан-Удэ максимальные величины БПК₅ возрастают до 3,3 мгО₂/л, что характерно для вод, содержащих заметные количества органических веществ. В 20 % пробах величины БПК₅ были выше ПДК_{р.в.}, в 1,2 раза. При среднем значении равном 1,9 мгО₂/л, диапазон колебаний составил 0,68- 3,3 мгО₂/л.

Далее вниз по течению ниже с. Тресково (сброс сточных вод ЖКХ п. Селенгинск) наибольшая величина БПК₅ уменьшается до величины 1,7 мгО₂/л, что связано большим разбавлением сточных вод. В устьевой зоне р. Селенги максимальная величина БПК₅ не превышала 2,0 мгО₂/л.

В период открытого русла реки содержание легкоокисляемой органики в воде Селенги возрастает, о чем свидетельствует повышение уровня диапазона колебаний величины БПК₅. Так, в верхнем течении величина БПК₅ весной и осенью изменялась в интервале 0,9-1,31 мгО₂/л, летом – в пределах 1,24 – 1,65 мгО₂/л. На створе у с. Новоселенгинск максимальная величина БПК₅ летом и осенью возрастают до уровня ПДК_{р.в.}, а весной в 33% проб превышали ПДК_{р.в.} в 1,2 раза. Аналогичная картина наблюдалась ниже г. Улан-Удэ, отличаясь только в том, что весеннее превышение ПДК_{р.в.} возрастало до 1,4 раза. Ниже с. Тресково превышение ПДК_{р.в.} отмечалось в летний и осенний периоды в 28 % проб. В весенний период величина БПК₅ на этом участке реки изменялась в диапазоне 1,2 – 1,98 мгО₂/л. В нижнем течении реки на ств. п. Кабанск наибольшие величины БПК₅ весной и летом не превышали 1,75 мгО₂/л, а осенью в 23 % проб увеличивались до значений близких ПДК_{р.в.}.

При рассмотрении содержания легкоокисляемой органики в воде главных притоков в зимний период отдельно выделяется р. Чикой. В это время в воде р. Чикой диапазон колебаний величины

БПК₅ составляет 1,3 – 2,9 мгО₂/л, тогда как в воде рр. Хилок, Уда, Джиды, Темник он варьирует в пределах 0,5 – 2,2 мгО₂/л.

В период открытой воды существенно возрастают наибольшие величины БПК₅, превышая ПДК_{р.в.} в 1,1- 1,4 раза в 25 – 28 % проб в воде р. Чикой, Хилок, Уда, Джиды. В воде р. Темник величина БПК₅ не превышала ПДК_{р.в.}, диапазон колебаний составлял 0,8 – 2,4 мгО₂/л. При этом отмечаются отличия в сезонных превышениях норматива. Так, в воде рр. Чикой и Уда превышения отмечались в период весеннего половодья, тогда как в воде рр. Хилок и Джиды они фиксировались летом. В 8 % проб, отобранных летом в р. Хилок, величина БПК₅ превышала ПДК_{р.в.} в 1,3 раза.

Однако в воде растворены соединения, в частности гумусовые, спирты различного строения и другие вещества, для которых процесс окисления сопровождается разрывом молекулы. Окисление этих веществ приводит к значительному снижению концентрации растворенного в воде кислорода и отражается обобщенным показателем ХПК.

Для зимних проб воды р. Селенги в верхнем течении характерны значения цветности близкие к аналитическому нулю и перманганатная окисляемость (ПО) равная 1,25 – 1,45 мгО/л, при этом бихроматная окисляемость изменялась в пределах 7,4 – 10,4 мгО/л. Вниз по течению у с. Новоселенгинск наибольшие значения показателя ХПК повышаются до 16,3 мгО/л, хотя величины ПО изменяются в тех же пределах. Выше и ниже г. Улан-Удэ максимальные величины ХПК снижаются до 12,8 – 13,9 мгО/л.

Весной в верхнем течении воды Селенги имели цветность (4-26 град.) и ПО (6,8 – 8,5 мгО/л), а бихроматная окисляемость по величине ХПК составляла 6,4 – 16,3 мгО/л. Вниз по течению цветность воды возрастает до 55 град. в нижнем течении, перманганатная окисляемость повышается до 12,4 мгО/л, величина ХПК – до 23,4 мгО/л. В это время ниже г. Улан-Удэ в 28 % проб воды величина показателя ХПК возросла до 33,6 мгО/л, хотя цветность варьировала в тех же пределах (14-55 град.).

Для лета характерны наиболее повышенные значения цветности (18-48 град.) в годовом цикле, перманганатная окисляемость в летнюю межень не превышает 1,5 – 1,8 мгО/л, однако в период паводков она увеличивается до 8,2 – 10,5 мгО/л. Повышенные практически близкие по величине ХПК (26-30,8 мгО/л) прослеживаются по течению вниз и только в нижнем участке п. Кабанск значение ХПК уменьшается и составляет 14,2 – 16,1 мгО/л.

Осенью значения цветности на ств. п. Наушки и с. Новоселенгинск снижаются до величин 8-18 град., ниже г. Улан-Удэ вплоть до устьевой зоны Селенги цветность в 45% проб воды достигала 31 град. По длине реки перманганатная окисляемость колебалась в интервале 1,46 – 1,65 мгО/л в период осенней межени. После осенних дождей величина ПО повышалась до 4,1 – 5,3 мгО/л. Пространственная динамика колебаний бихроматной окисляемости до с. Тресково по значениям ХПК составляла 5,5 – 17,3 мгО/л, ниже с. Тресково чаще в конце октября отмечались повышения величины ХПК до 23,2 – 24,5 мгО/л. Однако в нижней устьевой зоне реки величины ХПК снижались до 11,8 – 12,8 мгО/л.

В воде рр. Чикой, Хилок, Уда наибольшие значения величины ХПК в 55% проб составляет 24,7 – 34,0 мгО/л, одновременно в воде рр. Джиды и Темник максимальные показатели не превышают 20,3 мгО/л. Перманганатная окисляемость вод притоков в это время варьировала в пределах 5,8 – 8,7 мгО/л.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ГЛАВНЫХ ИОНОВ РЕЧНЫХ ВОД БАСЕЙНА СЕЛЕНГИ (РОССИЙСКИЙ УЧАСТОК)

Хажеева З.И., Байкальский институт природопользования СО РАН
г. Улан-Удэ, e-mail: zkhazh@binm.bscnet.ru

LONG-TERM VARIATIONS OF MINERALIZATION AND MAIN IONS IN THE SELENGA BASIN (RUSSIAN PART)

Khazheeva Z.I.
(Baikal Institute of Natural Management Siberian Branch, Russian Academy of Science
670047, Ulan-Ude, e-mail: zkhazh@binm.bscnet.ru

Приведены результаты долговременных изменений минерализации и главных ионов речных вод бассейна Селенги. Относительный состав анионов в воде заметно изменился: увеличилось содержание сульфатов, снизилось – гидрокарбонатов.

The results of long-term antropogenic changes of hydrochemistry composition mineralization and main ions river water basin Selenga are presented. It is shown that main changes are in correlation of part hydrocarbonate and sulfate ions.

Характерная особенность гидрологического режима рек бассейна Селенги – выраженная сезонная изменчивость стока, обусловленная вариациями количества атмосферных осадков. Только при учете сезонной изменчивости химического состава речных вод можно правильно оценить пространственную изменчивость их гидрохимических параметров, обусловленную различием структурно-ландшафтных особенностей и антропогенной нагрузкой. Периоды максимального стока сопровождаются уменьшением минерализации за счет пониженного количества растворенных солей в атмосферных осадках и, соответственно, в талых водах.

Речные воды бассейна имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав и pH 6,2 – 8,1. Воды пресные с минерализацией меньше 275 мг/л. Тип минерализации не меняется в течение года. Внутригодовое распределение водного, ионного стока и минерализации воды для всех рассматриваемых рек однотипно. На рис. 1 приведена схема района проведенных исследований.

Максимальные величины суммы ионов, минимальные – водности и ионного стока приурочены к подледному периоду. Поступление в русло рек большого объема снеговых вод во время половодья приводит к снижению минерализации воды до минимума. В летний период таяние высокогорных снегов, ливневые дожди также приводят к уменьшению минерализации воды.

Поскольку при смещении вниз по течению реки в воде происходили резкие пространственные изменения содержания химических элементов, а степень этих изменений иногда превышала сезонные колебания (в отдельных случаях сложно было определить обусловленность изменения концентраций сезонным либо пространственным фактором), было решено количественно оценить пространственную и сезонную изменчивость концентраций элементов. Для этого пространственный фактор оценивали как отношение концентрации определенного химического элемента в данной точке отбора проб воды к концентрации на предыдущем участке при поэтапном смещении вниз по течению $ПФ_i = (\Sigma_i - \Sigma_{i-1}) / \Sigma_{i-1}$. Сезонный фактор (СФ) оценивали исходя из соотношения $СФ_i = (\Sigma_i - \Sigma_{сгз}) / \Sigma_{сгз}$ в точке отбора проб, где $\Sigma_{сгз}$ - среднегодовое значение (СГЗ) минерализации в той же точке. Различные участки реки характеризуются различающимися концентрациями хими-

ческих элементов в воде, следовательно, и минерализации воды. Долговременные изменения минерализации воды рек были оценены путем сопоставления среднегодовых и сезонных изменений минерализации для разных лет.



Рис. 1. Схема района исследований, цифрами показано расположение участков отбора проб.

Рассматривая отношение среднегодовой минерализации за период 2002-2009 гг. в воде среднего течения р. Селенги по отношению к СГЗ1958 на этом участке, можно отметить практически одинаковый интервал колебания минерализации воды для сравниваемых периодов, отношение $СГЗ_{2003-2009}/СГЗ_{1955-1960}=1,0-1,05$. Вместе с тем, при сопоставлении с данными 1950 гг. во внутригодовом изменении минерализации воды на этом участке обнаруживается отличие в динамике относительного роста и убыли. В 1950 гг. сезонные факторы составляли $СФ_{зимн} = +(14,7 - 15,8) \%$, $СФ_{весен-летн} = -(19,2 - 23,8) \%$, $СФ_{осень} = -(6,8 - 7,3) \%$, в период 2002-2009 гг. эти факторы имеют следующие значения: $СФ_{зимн} = +(10,5 - 11,8) \%$, $СФ_{весен-летн} = -(0,2 - 23,8) \%$, $СФ_{осень} = +(3,8 - 4,5) \%$. Из приведенных данных следует, что под воздействием антропогенной нагрузки увеличился период отклонения от среднегодового значения в положительную область в годовом цикле (помимо подледного периода добавилась осень), что свидетельствует о возрастании количества растворенных солей в воде р. Селенга.

Оценка долговременных изменений минерализации воды главных притоков Селенги путем сопоставления данных 2002 – 2009 гг. с опубликованными ранее, относящимися к 1950 -1960 гг., обнаруживает практически одинаковый интервал колебаний среднегодовых значений минерализации воды рек (рис.).

В воде рр. Чикой, Хилок, Темник и Джида в период открытой воды преобладают убыль минерализации в отношении СГЗ в пределах 4,2-7,8%, в отличие от них в воде р. Уда в 65 % проанализированных проб отмечалось возрастание осенью на 2,8- 5,6% в отношении СГЗ.

Анализ долговременных изменений абсолютных содержаний ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Na^+ , K^+ в воде р. Селенга и её главных притоков не обнаруживает заметных изменений в величине их концентраций и сезонной динамике, однако отмечались изменения во внутригодовой динамике в отношении СГЗ.

Так, в воде Селенги на рзд.Мостовой в подледный период относительный рост концентрации

в период 2002-2009 гг. уменьшился до 1,5-2,1%, в период 1950 –ые гг. эта величина составляла 20,8-23,2%. В период открытого русла реки в период наблюдений относительная убыль концентрации до 21,5-23,1% отмечалась только в весеннее половодье, в отличие от этого, в 1950-ые гг. эта величина сохранялась на весь период открытого русла реки.

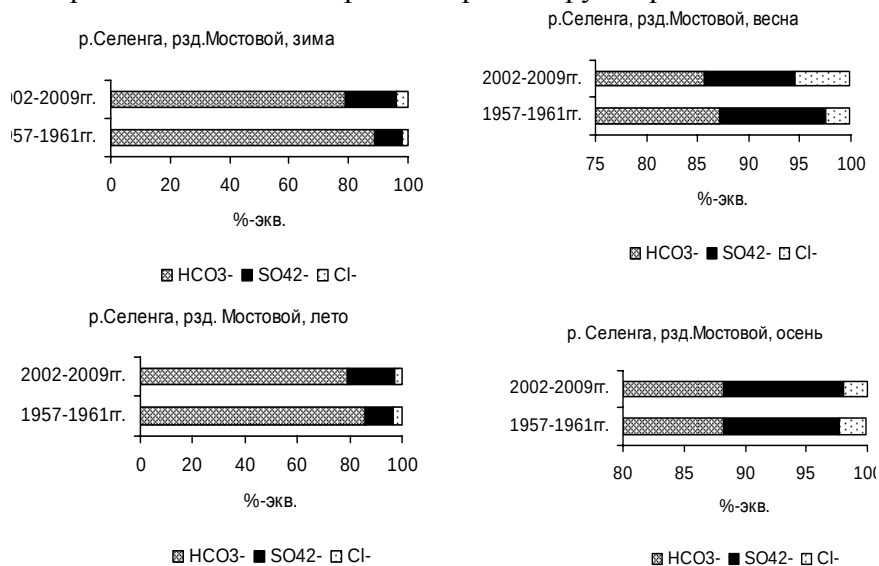


Рис. 2. Долговременное изменение относительного состава анионов воды р. Селенга.

В отличие от других ионов, в воде р. Селенга (рзд. Мостовой) в период наблюдений 2002 – 2009 гг. среднегодовая концентрация сульфат-иона SO₄²⁻ составила 14,8 мг/л, в противоположность этому, в 1950 – ые годы эта величина была 7,2 мг/л. Аналогичное возрастание среднегодовой концентрации сульфат-ионов наблюдалось в воде главных притоков р. Уда (1,8 раза), прр. Джида, Хилок, Чикой (1,2-1,5 раза). Увеличение концентраций сульфатов в речных водах обусловлено длительным атмосферным загрязнением водосборных бассейнов рек серосодержащими выбросами от локальных и региональных источников.

Внутригодовое распределение долей ионов Ca²⁺, SO₄²⁻, Na⁺ + K⁺ характеризуется наибольшими величинами в зимний период, наименьшими – в период открытого русла и возрастанием их долей по течению вниз. При этом наиболее контрастно выражены сезонные изменения для ионов SO₄²⁻, Na⁺ + K⁺, подверженных в наибольшей степени антропогенному влиянию. Так, ниже г. Улан-Удэ доля сульфатов в зимний период и летнюю межень варьировало в пределах 17,2-17,8 % - экв., в весеннее половодье и осенью уменьшилось до 9,0-13,6% - экв. Аналогичная динамика колебания долей характерна для щелочных металлов.

Сравнение долевого содержания ионов в воде р. Селенга в период наблюдений путем сопоставления с данными 1950-х гг. на ств. рзд. Мостовой показывает, что наибольшие изменения произошли в зимний период. В период наблюдений снизились доли ионов Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ в среднем на 5-6 % - экв., в противоположность этому, доли ионов Na⁺ + K⁺, SO₄²⁻, Cl⁻ возросли на 6,5 – 9,2% - экв. В период наблюдений открытого русла реки значительно увеличились амплитуды сезонных флуктуационных колебаний, которые увеличились до 4-9 % - экв. по сравнению с 2-3% - экв. в 1950-ые годы.

Таким образом, формирование гидрохимического режима и химического состава рек бассейна Селенги обусловлено природными процессами на водосборных территориях и антропогенной деятельностью. Повышенное поступление загрязняющих веществ в составе атмосферных осадков играет значимую роль в изменении состава речных вод.

ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Хващевская А.А., Копылова Ю.Г., Гусева Н.В.

г. Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
unpc_voda@mail.ru

HIGH QUALITY HOUSEHOLD WATER

Khvashevskaya A.A., Kopylova Y.G., Gyseva N.V.

g. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, TPU, unpc_voda@mail.ru

Представлены данные по составу природных подземных вод высокого качества, формирующихся в условиях гумидного климата, использующиеся для питьевого водоснабжения.

Data on the composition of natural high quality underground water formed in humid climate and used for drinking purposes are presented.

Обеспечение населения качественной питьевой водой является проблемой носящей социальный характер. Это связано с тем, что подавляющая часть рек и озер России по разным причинам практически утратили свое значение как источники питьевого водоснабжения. Для этих целей используются подземные воды, которые надежно защищены от поверхностного загрязнения. Их широкое использование для хозяйственно-питьевых нужд ставит перед наукой ряд специфических задач, связанных с выявлением их качества, физиологической полноценности, изучение их химического состава с использованием новых высокочувствительных методов и анализом причин его изменения в процессе эксплуатации месторождения, изучением геохимии некондиционных элементов и т.д.

Шварцевым С.Л. (1998) изучен состав подземных вод зоны активного водообмена или зоны гипергенеза всех ландшафтных и климатических зон земного шара, для каждой из которых получены средние содержания химических элементов в водах. Сравнительный анализ интересующей нас части этих данных, представленный в таблице 1, выявил геохимическую их специфику, заключающуюся, прежде всего, в различной степени их минерализации, разном составе, комплексе химических элементов и характере среды. Средний химический состав подземных вод зоны гипергенеза, рассчитанный С.Л. Шварцевым (1998 г) показал, что эти воды являются умеренно пресными, практически нейтральными, гидрокарбонатно-хлоридными натриево-кальциевыми.

Принимая во внимание, что исторически человек использовал для питья, в основном, либо речную, но чаще родниковую воду можно предположить требуемое для нормальной жизни необходимое качество воды. Исходя из исторического аспекта преимущественного расселения людей по берегам рек в теплом климате или в горных областях, предположено, что для питьевых целей наиболее полезной является такая вода, состав которой наиболее соответствует качеству подземных вод субтропических и горных регионов. В связи с этим С.Л. Шварцевым рекомендованы желательные пределы концентраций элементов в питьевых водах, представленные в табл.1.

Питьевое водоснабжение г. Томска полностью обеспечивается подземными водами Томского месторождения, которое открыто в 1964 г. на территории Обь-Томского междуречья и имеет исключительно важное значение для города. Томский подземный водозабор – одно из крупнейших

подземных сооружений, в составе которого 177 эксплуатационных скважин, связанных подземным водоводом протяженностью около 60 км, ежедневно дает городу 220-230 тыс. м³ питьевой воды. Основные водоносные горизонты неоген-четвертичных и палеогеновых отложений сложены рыхлыми песчано-глинистыми образованиями, разделенными водоупором. В следствии этого в палеогене развиты напорные воды, которые эксплуатируются скважинами глубиной 60-100 м. В условиях гумидного климата южно-таежных ландшафтов и неравномерной проницаемости песчано-глинистого разреза Томского месторождения формируются пресные, нейтральные или слабощелочные, умеренно жесткие, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые воды с широким диапазоном общей минерализации от 150 до 600 мг/дм³, повышенным содержанием Fe, Mn и органического вещества [1]. Это типичные воды зоны гипергенеза, которые широко развиты во всех регионах мира [2]. Столь обширный разброс значений минерализации обусловлен естественными причинами и отражает разнообразие геоморфологических условий, интенсивность водообмена и пестроту литологического состава водовмещающих отложений. Причем, все макрокомпоненты, входящие в состав подземных вод, находятся на оптимальном уровне, т.е. соответствуют нормативам физиологической полноценности воды, регламентируемых СанПиН 2.1.4.1116-02.

Таблица 1

Средний состав речных и подземных вод тропических, субтропических и горных областей, мг/л

Компоненты	Реки мира		Тропики	Субтропики	Горно-луговая зона	Горно-лесная зона	Рекомендуемые пределы (С.Л.Шварцев,1998)
	по Ливингстону	по Мейбеку					
pH	-	-	6.1	6.9	7.0	7.1	6.8-7.2
HCO ₃ ⁻	58.4	52.0	103	119	61	154	50-160
SO ₄ ²⁻	11.2	8.25	3.7	6.2	3.8	10.7	3-12
Cl ⁻	7.8	5.75	6.0	8.2	2.2	8.4	2-10
NO ₃ ⁻	1.0	0.44	1.3	2.4	0.9	2.4	0.3-3
F ⁻	0.10	0.10	0.22	0.37	0.14	0.22	0.1-0.5
PO ₄ ³⁻	-	-	0.20	0.18	0.06	0.12	0.05-0.20
NO ₂ ⁻	-	0.03	-	-	-	0.19	0.01-0.1
Na ⁺	6.3	5.15	8.9	12.5	3.8	13.5	5-20
Ca ²⁺	15	13.4	16.1	19.8	14.5	28.6	15-30
Mg ²⁺	4.1	3.35	8.2	9.3	6.0	11.6	3-12
K ⁺	2.3	1.30	2.7	2.4	0.7	0.9	0.5-3
NH ₄ ⁺	-	0.02	0.13	0.14	-	0.41	0.02-0.2
SiO ₂	13.1	10.4	17.6	23.1	10.5	16.2	10—25
Сумма	120	100	170	203	103	246	100-300
C _{орг}	6.9	-	10.9	8.2	3.8	4.2	3-8
Fe	0.67	0.04	0.40	0.18	0.18	0.54	0.05-0.5

Качество подземных вод палеогенового горизонта ухудшалось за счет присутствия в водах повышенных концентраций железа. Для его удаления разработана система аэрации воды с последующим удалением осаждающегося железа. Повышенные содержания перечисленных показателей, ухудшающих качество питьевых вод, обусловлены естественными причинами и обязаны особым гидрогеологическим условиям региона. Этим же фактором обусловлено невысокие

Химический состав подземных вод Томской, Кемеровской областей и Алтайского края.

Компонент	ПДК	Концентрация, мг/дм ³			
		Источник Каларовский, г.Томск	Скв., г.Горно- Алтайск	Родник г. Горно- Алтайск	Скв. г. Мариинск
Мутность, мг/дм ³	1,5		0,1		1,07
Цветность, град.	20		2,0		0,7
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	2500	449		300	
Окисл.перманг., мгО ₂ /дм ³	5,0	1,04	0,62	<0,4	0,28
Сорг				0,59	2,53
pH, ед. pH	6,5-8,5	7,23	7,31	7,42	8,95
Общ. жесткость, °Ж	7,0	4,9	6,0	3,1	0,22
Щелочность, моль/дм ³	0,5-6,5		5,9	4,88	
Нитрит-ион	3,0	0,007	<0,02	<0,003	<0,003
Нитрат-ион	45	1,85	18,0	2,62	<0,6
Гидрокарбонат-ион		300	357	199	207
Карбонат-ион*			Не обн.		12
Углекислота св.		4,4	3,52		0
Фосфат-ион	3,5	0,34	0,1	0,16	0,06
Сульфат-ион	300	<2,0	12,4	6,75	<2
Хлорид-ион	350	2,58	12,1	1,06	1,91
Фторид-ион	1,2-1,5	0,59	0,22	0,19	0,38
Бромид-ион	0,2		0,05	0,0069	0,039
Иодид-ион	0,06	0,0025	0,023	<0,0007	
Аммоний-ион	2,0	0,13	<0,1	0,09	<0,05
Кальций		87	96	50	3
Магний		7	14,6	7,2	0,9
Натрий	200	6	10	7,7	78
Калий		0,6	0,6	0,2	0,56
Железо общее	0,3	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1
Кремний	10	8,28	7,02	6,03	3,84
Минерализация	1000	403	503	272	303
Фенол	0,25		<0,002	<0,002	
Литий	0,03	0,013	0,012	0,006	0,002
Свинец	0,03	0,0011	0,0027	0,0002	0,0017
Медь	1,0	0,00075	0,0006	<0,0006	0,0048
Цинк	5,0	0,012	0,013	0,018	0,022
Кадмий	0,001	<0,0002	0,0003	<0,0002	0,0003
Марганец	0,1		0,015	0,028	0,013
Мышьяк	0,01	0,0035	0,0012	0,00049	<0,002
Барий	0,1		0,068	0,035	
Стронций	7,0	<0,5	0,258	0,15	
Ртуть	0,0005		0,000105	<0,00005	
Бор	0,5		<0,010	<0,30	
Селен	0,01		<0,0007	0,00021	
Сурьма	0,05		<0,0004	0,00046	
Бериллий	0,0002		<0,00006	0,000023	
Алюминий	0,5		0,042	0,055	
Никель	0,1		0,00138	0,0013	<0,0005
Кобальт	0,1		0,00028	0,0006	<0,0005
Молибден	0,25		0,0008	0,0012	
Хром (6+)0,05			0,00073	0,0051	
Серебро0,05			0,00056	0,0025	
Химический тип		HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Na

концентрации в водах фтора, составляющие в среднем около 0,25-0,50 мг/дм³, что находится на нижней границе нормативов физиологической полноценности воды. При этом благодаря нали-

чению микроэлементов, содержащихся на обычном (естественном) уровне питьевая вода не просто пригодна для питья, но и полезна. По бактериологическим свойствам воды также характеризуются высоким качеством.

Но, несмотря на тщательный производственный контроль за качеством воды из водозаборных скважин, показывающий полное соответствие состава воды требованиям СанПиН 2.1.1074-01, среди населения бытует мнение, что вода из крана имеет низкое качество из-за ее хлорирования, используемое для обеззараживания, что вызывает у потребителя боязнь возникновения в водах хлор-органических соединений. В этой связи возрос процент потребления населением в питьевых целях бутилированной воды, полученной из природных источников, но чаще всего прошедшую через серьезную систему очистки.

Изучение состава бутилированных вод, подвергшихся водоподготовке, показало, что при умягчении воды нарушается катионный состав природных вод в сторону увеличения уровня натрия, превышающего требования для вод высшей категории и почти достигающего ПДК. Изменение анионного состава происходит в сторону не свойственного природным условиям составу. Принимая во внимание, что природные подземные воды в г. Томске имеют гидрокарбонатный преимущественно кальциевый состав, отмечено, что происходит существенная метаморфоза состава воды. Из-за последующей минерализации очищенной воды в ней появляются сульфат-ион, хлор-ион и натрий, не свойственные природной обстановке. Следовательно, жесткая очистка воды не является улучшением её качества. В этом отношении зачастую рекомендуемые как суперсовременные и наиболее качественные способы очистки воды, несомненно, такими являются, но это не приводит к улучшению качества воды, а способствует получению водного раствора высокой чистоты. Он в полной мере может использоваться для приготовления пищи, производства напитков и пр., но в питьевых целях его использование не желательно.

Наряду с этим для улучшения качества воды из крана население использует бытовые фильтры, снабженные либо картриджами активированного угля, либо фильтры с системой обратноосмотической мембраны. Исследования состава вод, полученные на этой системе, продемонстрировали результат получения по-сути дистиллированной воды с минерализацией до 25 мг/дм³, не снабжающей организм необходимым количеством химических элементов, поддерживающих физиологические функции организма.

Таким образом, попытки населения улучшить качество потребляемой ими в питьевых целях воды не всегда имеют положительный результат.

Следует заметить, что в природе есть воды естественного высокого качества, не требующие водоподготовки (табл.2), которые на прямую могут использоваться в питьевых целях.

Приведенные примеры показывают наличие чистой воды такой, как задумано природой и которая может быть рекомендованной к полезному использованию.

Литература

1. Зуев В.А., Картавых О.В., Шварцев С.Л. Химический состав подземных вод Томского водозабора // Обской вестник. 1999. №3-4. с. 69-77.
2. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза.-2-е изд., исправл. И доп.-М.:Недра, 1998.-366 с.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И СТОКА РЕК ПРИАЗОВЬЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ «РЕКА-МОРЕ» ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА

Хорошевская В.О.

ГУ «Гидрохимический институт» Росгидромета, г. Ростов-на-Дону, ghi@aanet.ru

AN EFFECT OF CHANGES IN THE RIVER DISCHARGE OF NEAR THE SEA OF AZOV REGION ON THE CONTERNT OF AN ORGANIC MATTER IN THE «RIVER-SEA» MIXING ZONE OF THE TAGANROG GULF.

Khoroshevskya V.O.

SI «Hydrochemical Institute» of Rosgidromet, Rostov-on-Don, ghi@aanet.ru

В докладе рассматриваются закономерности распределения растворённого органического и минерального вещества (по углероду) в устьевых областях рек аридной зоны Приазовья. Дается характеристика изменения речного стока и содержания в нем органических веществ в воде низовьев рек Дон, Северский Донец и Миус за период 1995-2008гг.

The patterns of distribution of dissolved organic and mineral substance (for carbon) in the mouth areas of the rivers in the arid zone of near the Sea of Azov region are considered in the paper. The characteristic of change in the river discharge and the content of organic substances in it in the water of the Gower Don, Seversky Donets and Mius Rivers for the period of 1995-2008 is presented.

Для морей аридной зоны, по сравнению с морями гумидной зоны, характерно ограниченное поступление органического вещества, хотя осадочный материал речного стока и в тех и в других имеет определяющее значение в балансе. Основной продуцент органического углерода – фитопланктон, продукция макрофитов незначительна, и не оказывает существенного влияния на формирование органического вещества донных осадков. Первичная продукция во внутриконтинентальных морях аридной зоны значительно выше, чем в гумидных морских водоёмах. Деструкция органического вещества в морских водоёмах достигает почти тех же размеров, что и его продукция. Общеизвестно, что величина минерализации зависит от ряда природных факторов. Наиболее интенсивно процесс деструкции протекает при хорошем прогреве водной толщи. Следовательно, можно было бы ожидать низкие коэффициенты захоронения ОВ в морях аридной зоны, отличающиеся продолжительными теплыми сезонами и высокими среднегодовыми температурами воды. В действительности доля перешедшего в осадок ОВ от суммы первичной продукции и поступлений с континентального блока в Азовском море – 4,8 % в то время как в Балтийском и Белом морях, находящихся в зоне гумидного климата, всего 1,4% и 0,7%, соответственно [4]. Взвешенное органическое вещество автохтонного и аллохтонного происхождения, прежде чем достичь дна, обычно на 80-90% подвергается аэробному разложению. В Азовском море из-за мелководности, этот процент ниже. Весной и осенью для Азовского моря характерна равномерная деструкция ОВ в водной толще. И только летом интенсивность процесса возрастает в придонном слое и донных отложениях вследствие седиментации взвешенных и коллоидных частиц и активизации анаэробных процессов при прогреве водной толщи. Участие зоопланктона в ассимиляции органического вещества невелико и составляет около 3% продуцируемой фитопланктоном органики. Оставшаяся часть органического вещества поступает в придонный слой или переходит в дон-

ные отложения. Несмотря на то, что дна достигает наиболее устойчивая разложению часть органического вещества, процесс деструкции продолжается, как на границе раздела «вода - донные отложения», так и в анаэробной зоне подповерхностного слоя донных отложений. Деструкция органики в донных отложениях Таганрогского залива - наиболее мелководной части Азовского моря - достигает 25% минерализации её в водной тоще, а в открытой части водоёма данный показатель не превышает 15% [4].

Высокая биологическая продуктивность Азовского моря находит своё отражение в интенсивности образования органического вещества. Абсолютные массы $C_{\text{орг.}}$ в Азовском море в 10 раз выше, чем в Балтийском, и почти в 33 раза - в Белом. При этом средние содержания органического углерода в донных отложениях этих морей относительно близки. Характерной чертой регионального распределения концентраций $C_{\text{орг.}}$ в донных отложениях является отсутствие корреляций с первичной продукцией. Доказательством служит увеличение органического вещества в осадках, по мере удаления от прибрежных участков, как правило, наиболее продуктивных, к центральным халистическим областям, где величины биомасс фитопланктона невысоки. Данная закономерность для Азовского моря установлена ещё в 50-х годах прошлого века и не меняется во времени, что подтверждается последними исследованиями. Пространственное распределение $C_{\text{орг.}}$, определенного в 2006г. в донных отложениях Азовского моря, выражается в плавном росте концентраций по акватории в направлении «устье р. Дон - Таганрогский залив - открытая часть моря» [3]. В донных отложениях Азовского моря, самого продуктивного водоёма Мирового океана, концентрация органического вещества ниже, чем в некоторых водоёмах гумидного климата. Основная причина сравнительно невысоких содержаний $C_{\text{орг.}}$ в донных отложениях морей аридной зоны - разбавление его $C_{\text{мин.}}$ терригенного, биогенного (карбонатного) и хемотрогенного материала, связанного с речным стоком [4]. Накопление $C_{\text{орг.}}$ и в донных отложениях в зоне смешения «река-море» Таганрогского залива связано с присутствием в речной воде растворённых труднорастворимых гумусовых веществ, которые составляют в среднем 60-80% общей массы органического вещества. В условиях смешения морских и речных вод преобладающая часть аллохтонного органического вещества удаляется из воды и переходит в донные отложения на взморье. Седиментация органических веществ почвенного генезиса преимущественно происходит на границе раздела пресная - морская вода, в результате образования коллоидов и их флокуляции и адсорбции во взвешях. Наиболее активно коагуляция взвешенных частиц происходит в диапазоне солёности 2-5 ‰. Смешение речных вод с морскими приводит к процессу флокуляции, т.е. объединения коллоидных частиц размером 0,1-0,45 мкм, а также некоторых растворённых веществ, в относительно крупные, часто хлопьевидные агрегаты и их осаждение [5]. Важной гидрохимической особенностью устьевые области рек Приазовья и прибрежных вод Азовского моря, расположенных в аридной зоне, является пресыщение ионами Ca^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} . В Таганрогском заливе наблюдается два максимума пресыщения, по сравнению с пределом растворимости, карбонатом кальция. При содержании хлора от 2 до 2,5‰ нарушается карбонатное равновесие, а избыток углекислого газа, вступая в соединение с кальцием, переходит в твёрдую фазу, чем повышает концентрацию CaCO_3 во взвеси. Новое осаждение карбоната кальция здесь происходит при значениях солёности 5‰, при этих же значениях солёности -5‰, начинают интенсивно формироваться флокулы из более мелких фракций коллоидных фракций органических (гумусовых) веществ. Карбонат кальция является прекрасным сорбентом, поэтому вместе с ним осаждаются органические вещества (гумусовые) и микроэлементы.

Несмотря на то, что вода устьевой области Дона пресыщена CaCO_3 , выпадения твёрдой фазы в самой реке не происходит. Одной из важных причин стабильности пресыщенных растворов карбоната кальция является присутствие в речных водах органических веществ (гумусовых), адсорбирующих на поверхности вновь образующихся кристаллов карбоната кальция «защитные» коллоидные плёнки, препятствуя их росту и спонтанной минерализации. Причем органические вещества,

образовавшиеся при разложении речного планктона, не замедляют выпадения CaCO_3 . Основную роль в стабилизации карбонатной системы играют гуминовые вещества почвенного генезиса [2].

Для формирования состава поверхностных вод важен тот факт, что химический состав растворов, циркулирующий в почве (чернозёме), имеет сезонную и межгодовую динамику. Основная особенность сезонной динамики заключается в том, что общая концентрация веществ в почвенном растворе увеличивается в холодное время года и снижается в летний период [1]. С растворами, формирующимися в период поздних осенних дождей и весеннего снеготаяния, мигрирует преобладающая часть (70%) водно-растворимого углерода. Миграция органического углерода зависит от количества влаги поступившей в почвенные горизонты, и в связи с этим колеблется по годам [1]. Содержание гуминовых веществ в речной воде так же не постоянно и зависит как от сезона года, так и от увлажнённости дренируемой территории в различные годы. Что было выявлено при анализе данных по изменению стока рек Приазовья и содержания в них растворённых органических веществ за период 1995г-2008 гг., опубликованных в Ежегодниках «Качества поверхностных вод суши» ГУ ГХИ Росгидромета, 1996-2009 гг.

Река Дон и её притоки являются равнинными степными реками. Питание их в основном происходит водами, образующимися от таяния зимних запасов снега (60-65%) и, в значительно меньшей степени, - грунтовыми (25-30%) и дождевыми (3-5%) водами. Годовой ход стока на реках рассматриваемой территории характеризуется обычно высокими весенними половодьями и низкой летне - осенней и зимней меженью. По опубликованным в свободной печати данным Росгидромета измерений расходов воды в пункте ст. Раздорская, наиболее близко расположенной к устью (151 км) в 1995-1998 гг. можно сделать следующие выводы. Начиная с 1995г. по 2001г. среднегодовая водность р. Дон была ниже среднегодовых многолетних значений, только в 1999г. произошло небольшое повышение на 7% по сравнению со среднегодовой многолетней. Начиная с 2002г по 2005г.г. водность р. Дон начинает планомерно возрастать и превышать среднегодовой многолетний уровень. Максимальные значения из всего исследуемого периода фиксируются в 2004-2005гг., когда среднегодовой уровень на 23% превышает среднегодовой многолетний, а в 2006г. на 20%. В 2007-2008гг. водность р. Дон снова снизилась и её средние годовые значения снова стали ниже среднегодовых многолетних. Для реки Северский Донец (крупного притока нижнего течения р. Дон) период с 1995г. по 1997г. отмечается превышением среднегодовой водности на 10%-30% среднегодовой многолетней. Снижение водности р. Северский Донец на 10% начинается с 1998г. до 30% ниже среднегодовой многолетней в 2001г. К сожалению, обобщённые данные, по среднегодовой водности рек, опубликованные в Ежегодниках «качество поверхностных вод суши» не дают представления, как распределялась водность по сезонам в изучаемый период времени. Важно отметить региональную особенность водосборов рек Северский Донец (крупного притока Дона) и Миус формирующих прибрежные воды Таганрогского залива. Дренируемых территории этих рек, представлены древними южными чернозёмами, содержание гумуса в которых доходит до 8% и снижается до 2% при продвижении на восток, где происходит смена типов почв на более молодые темно-каштановые и каштановые на востоке Ростовской области. Изменение содержания гумусовых веществ (определяемых по показателю ХПК(О)) в речной воде по годам представлено в табл.1. Из анализа данных приведённых в таблице видно, что если левоокисляемые органические вещества (определяемые по показателю БПК₅(O₂)), присутствуют в

Содержание органических веществ определяемых в воде нижнего течения р. Дон (г.Ростов-на-Дону - г.Азов - устье), р. Миус и р. Кагальник за период 1995-2008гг. речной воде практически в постоянных количествах и межгодовые их вариации выражены слабо. В то время, как содержание гумусовых веществ в речной воде повышается более чем в два раза в 2007,2008 гг., т.е в те годы, когда происходит уменьшение среднегодового стока рек по отношению к среднегодовому

Таблица 1

Годы	БПК ₅ (O ₂), мг/л (ПДК-2,0 мг/л)	ХПК (O) мг/л (ПДК- 15,0мг/л)	ХПК (O), мг/л ПДК- 15,0мг/л	БПК ₅ (O ₂), мг/л (ПДК-2,0 мг/л)	ХПК (O), мг/л ПДК- 15,0мг/л
	р.Дон		р.Миус	р.Кагальник	
1995	4,0-8,0 (2 ПДК)	ниже ПДК	нет данных	нет данных	нет данных
1996	2,0-4,0 (1-2 ПДК)	ниже ПДК	нет данных	менее 2,0	менее 15,0
1997	4,0 (2 ПДК)	ниже ПДК	нет данных	менее 2,0	менее 15,0
1998	2,0-4,0 (1-2 ПДК)	91,0-343,0 (< 6 ПДК - 20 ПДК)	нет данных	4,0 (2ПДК)	менее 15,0
1999	4,0 (2 ПДК)	ниже ПДК	меньше 15,0	4,0-6,0 (2-3 ПДК)	менее 15,0
2000	2,15-4,13 (1-2 ПДК)	ниже ПДК	меньше 15,0	6,0 (3 ПДК)	менее 15,0
2001	2,42-3,64 (1-2 ПДК)	ниже ПДК	меньше 15,0	2,0-4,0 (1-2 ПДК)	менее 15,0
2002	3,65-3,89 (2 ПДК)	ниже ПДК	меньше 15,0	4,0-8,0(2- 4ПДК)	менее 15,0
2003	2,94-4,91 (1,5-2,5 ПДК)	ниже ПДК	меньше 15,0	4,0-10 (2- 5ПДК)	менее 15,0
2004	2,72-3,07 (1-1,5 ПДК)	ниже ПДК	меньше 15,0	4,0-6,0 (2-3 ПДК)	менее 15,0
2006	3,37-4,02 (1,5-2 ПДК)	25,2-30,3 (1,5-2 ПДК)	меньше 15,0	4,0-6,0 (2-3 ПДК)	менее 15,0
2007	3,22-3,83 (1,5-2 ПДК)	26,6-34,3 (1,5-2 ПДК)	30,0 (2ПДК)	4,0-6,0 (2-3 ПДК)	37,3- 60,0 (2,5-4 ПДК)
2008	2,72-3,21 (1,5 ПДК)	27,7-38,1 (1,5-2 ПДК)	30,0/ 45,0-150,0 (3-10 ПДК)	4,0-6,0 (2-3 ПДК)	30,0 (2ПДК)/ 45,0-150,0 (3- 10ПДК)

межмноголетнему. Многократное повышение содержаний гумуса в 1998 г. для реки Дон, может быть следствием особых условий на водосборе Северского Донца, а в 2006 г. проведением противопаводковых мероприятия в нижнем течении бассейна р.Дон (расчисткой балок и оврагов). Важно, что предшествующие годы характеризовались повышенным среднегодовым стоком рек, а значит и достаточной увлажненностью почв на водосборе. В результате этого в почве проис-

ходил ряд процессов, когда с почвенными растворами в верхние слои почв поступал $C_{\text{мин}}$, а $C_{\text{орг}}$ мигрировал в подповерхностные, более глубокие слои.

Литература

1. *Вольвач Ф.В.* Водно-почвенная миграция углерода в ландшафтах южной лесостепи // Физическая география и геоморфология. Киев, Изд-во: при Киевском универ. «Вища школа», 1979, вып.22, С.62-67.
2. *Матвеева Н.П., Тарасов М.М.* Влияние некоторых факторов на выделение CaCO_3 из искусственных растворов и природных вод // Гидрохимические материалы: Формирование химического состава вод и методы автоматического анализа их, том LXI, Л.: Гидрометеиздат, 1974, С.62-73.
3. *Федоров Ю.А., Доценко И.В., Кузнецов А.А. и др.* Закономерности распределения Сорг в донных отложениях российской части Азовского моря // Океанология, 2009, Том.49, №2, С.229-236.
4. *Хрусталёв Ю.П.* Закономерности осадконакопления во нутриконтинентальных морях аридной зоны. - Л.: Наука, 1989.-267 с.
5. *Sholkovitz E.R.* Flocculation of dissolved organic and inorganic matters during the mixing of river water and sea water// Geochim. et cosmochim. Acta, 1976, V.40, №7, P.831-845.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Цветова Е.А., ИВМ и МГ СО РАН, г. Новосибирск, E.Tsvetova@ommgp.scc.ru

MODELING OF TEMPERATURE REGIME AND CIRCULATION IN LAKE BAIKAL UNDER CHANGING ATMOSPHERIC IMPACT

Tsvetova E.A., ICM&MG SBRAS, Novosibirsk, E.Tsvetova@ommgp.sccc.ru

Представлены результаты сценарных расчетов по моделированию термического режима и циркуляции вод озера Байкал с помощью 3D негидростатической модели.

Some results of scenario calculations on modeling thermal regime and circulation in Lake Baikal with the help of a 3D non-hydrostatic model are presented.

Основные проблемы при моделировании физических процессов в природных объектах возникают из-за существенной разницы в их горизонтальных и вертикальных масштабах. Для озера Байкал эти масштабы различаются примерно от 70 до 600 раз. Если говорить о горизонтальных размерах, то и они различаются между собой практически на порядок: озеро заполняет узкую глубокую щель в разломах горных массивов. Благодаря экстремальным глубинам (максимальная глубина более 1600 м) и химическому составу воды, она практически пресная, специфика этого уникального водоема состоит еще и в том, что в определенных условиях изменения температуры по вертикали в десятые и сотые доли градуса оказываются критическими и определяют процессы водообмена в значительных масштабах. Уже из этих фактов видно, что возникают специальные требования к математическим моделям и качеству их реализации на ЭВМ.

Здесь представлена базовая версия негидростатической модели озера, а также приводятся некоторые результаты сценарных расчетов по этой модели. Это трехмерная нестационарная модель несжимаемой жидкости, описываемая уравнениями Навье-Стокса в приближении Буссинеска:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} + 2\Omega_y w - 2\Omega_z v \\ &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial}{\partial y} \right) u + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial u}{\partial z}, \\ & \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} - 2\Omega_x w + 2\Omega_z u \\ &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial}{\partial y} \right) v + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial v}{\partial z}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} + 2\Omega_x v - 2\Omega_y u \\
& = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\rho}{\rho_0} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial}{\partial y} \right) w + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial w}{\partial z} \\
& \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} + Q_s \\
& = \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{\mu}_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{\mu}_y \frac{\partial}{\partial y} \right) T + \frac{\partial}{\partial z} v_T \frac{\partial T}{\partial z}, \\
& \rho = f(p, T, S), \\
& \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.
\end{aligned}$$

Здесь u, v, w - компоненты вектора скорости в направлениях x, y, z , соответственно, ось x направлена на восток, y - на север, z - положительна вверх. Все остальные обозначения общеприняты и понятны из контекста. Плотность рассчитывается по нелинейному уравнению состояния, введенному UNESCO: учитывается изменение плотности в зависимости от температуры и давления при постоянной средней солености. Соленость в базовой версии модели не участвует.

Краевые условия по вертикали ставим на поверхности при:

$$z = 0: v \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_x / \rho_0; v \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_y / \rho_0; v_T \frac{\partial T}{\partial z} = Q / \rho_0 c_p;$$

$$w = \frac{d\xi}{dt}, \quad p = p_a;$$

$$z = -H(x, y):$$

и на дне при:

$$u = 0, v = 0, w = 0, \frac{\partial T}{\partial N} = 0, \frac{\partial S}{\partial N} = 0.$$

Приток тепла на поверхности водоема Q рассчитывается через тепловой баланс на границе раздела вода-воздух по атмосферным данным, причем половина солнечной радиации участвует в балансе тепла, а другая половина Q_s поглощается в водной толще по экспоненциальному закону.

На твердых боковых границах заданы условия прилипания для скоростей и нормальные производные для температуры. В краевых условиях для уравнений движения и тепла в местах впадения рек также учтено влияние крупных притоков и сток Ангары. Процессы вертикального турбулентного обмена либо параметризуются, либо рассчитываются по $e-e$ модели. Для

параметризации горизонтального обмена используется формула Смагоринского.

Другие версии моделей отличаются от базовой выбором граничных условий, параметризаций, использованием различных алгоритмов и их реализаций.

Чтобы при реализации модели более рационально учесть серповидную форму озера, была введена цилиндрическая система координат [1]. Численная реализация осуществлялась с использованием вариационного принципа и метода расщепления. Для повышения точности расчетов для основных задач конвекции-диффузии применялись дискретно-аналитические аппроксимации [2].

При моделировании поведения объекта на длительный период всегда возникает вопрос о задании внешних воздействий, в частности, полей ветра. В данном случае используется подход, согласно которому по известным данным составляется сценарий изменяющихся в пространстве и времени атмосферных воздействий.

Поскольку эти данные являются обобщением наблюдений за длительный срок, то такой сценарий мы условно считаем «климатическим». В наших расчетах используются данные из [1] о типизированных полях ветра над Байкалом и их режимных характеристиках. Метод Монте-Карло используется для формирования сценариев чередования и продолжительности действия типовых ветровых полей [2].

На рисунках 1-2 представлены результаты численных экспериментов по воспроизведению циркуляции и изменения поля температуры в июньском климатическом сценарии. Июнь относится к переходному периоду для озера, когда температурная стратификация переходит от зимнего устойчивого положения с увеличением температуры поверхностного слоя с глубиной, к другому устойчивому положению, летнему, когда температура убывает с глубиной. В этот период в озере происходят такие процессы и явления, как термобар, естественная и вынужденная конвекция, разрушение мезотермического максимума, процессы обновления глубинных вод и др. На рис.1 представлено поле температуры на поверхности на 15-й день сценария. Цифры внизу рисунков – время в часах от начала сценария. На вставке рис.1. показано изменение кинетической энергии системы. Видно, что за месячный интервал имело место несколько событий с сильными ветровыми воздействиями. На рис. 2 можно проследить изменчивость полей течений и температуры в поверхностном слое Южного Байкала под действием поля ветра, изменяющегося по рассчитанному сценарию.

В отличие от сложившегося мнения о наличии в Байкале системы «постоянных круговых течений» математическое моделирование по нашим моделям с использованием всей доступной информации не подтверждает их постоянного присутствия. Главным фактором, определяющим поверхностные течения в период открытой воды, является ветер, который, по имеющимся сведениям, обладает сильной пространственно-временной изменчивостью. Поэтому имеет смысл говорить лишь о системах временных изменяющихся циркуляций, пространственно ограниченных естественными геометрическими границами озера.

Работа выполняется по Программам фундаментальных исследований РАН № 20 и ОМН РАН № 3.

Литература

1. Атлас волнения и ветра озера Байкал. 1977. Л.: Гидрометеиздат, 117 с.
2. Цветова Е.А.. О параметризации атмосферных воздействий в задачах численного моделирования динамики моря// Метеорология и гидрология. 1979, №2, с.105-108.
3. Penenko V., E. Tsvetova. Discrete-analytical methods for the implementation of variational principles in environmental applications// Journal of Computational and Applied Mathematics. 2009. V.226. P. 319-330.
4. Tsvetova E.A. Mathematical modeling of Lake Baikal hydrodynamics. //Hydrobiologia, 1999.

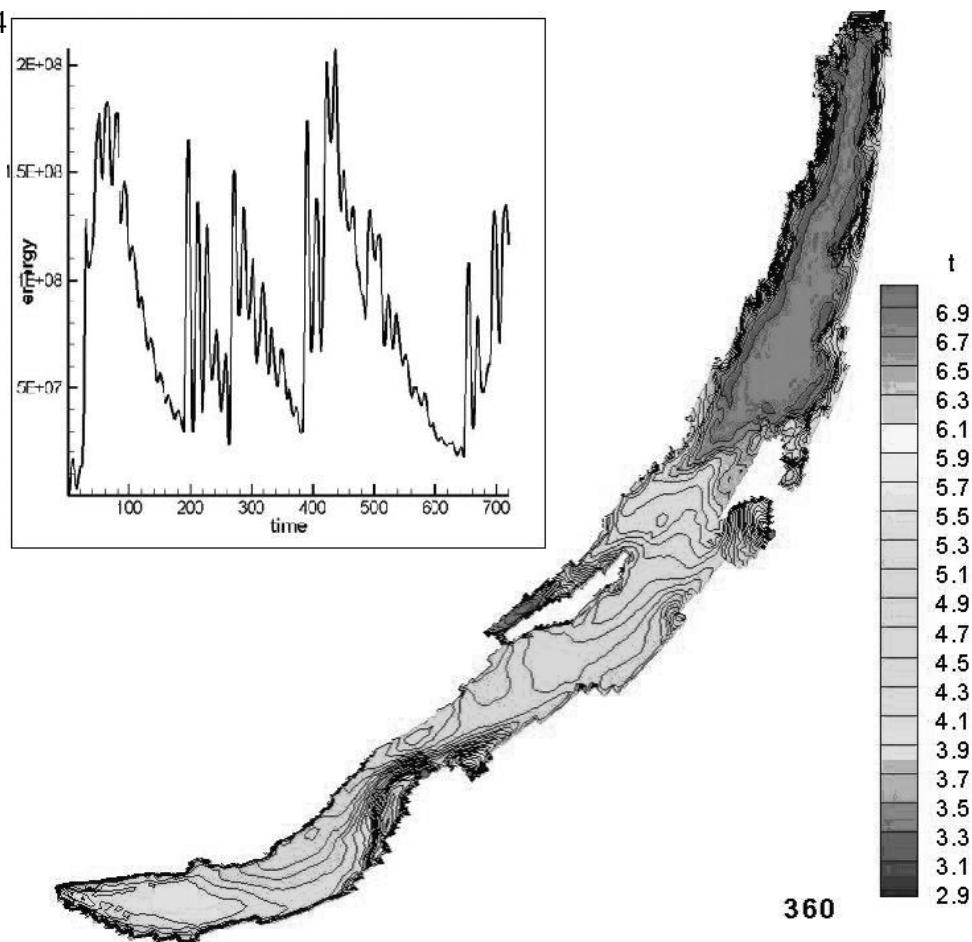


Рисунок 1. Поле температуры на поверхности озера в июньском “климатическом” сценарии. На вставке показано изменение кинетической энергии за месяц.

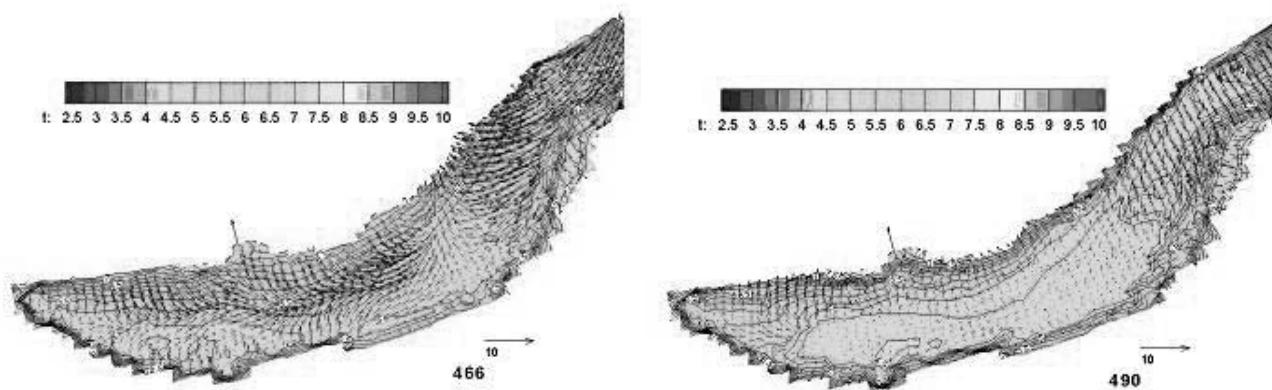


Рисунок 2. Изменчивость полей течений и температуры в поверхностном слое Южного Байкала под действием поля ветра, изменяющегося по рассчитанному сценарию. Фрагменты “климатического” июньского сценария: слева – 20-й день, справа – 21-й день.

ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИБРЕЖНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЮГА ПРИМОРЬЯ

Челноков Г.А., Харитонов Н.А., Брагин И.В.

Дальневосточный геологический институт

Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, geowater@mail.ru

GROUNDWATERS ISOTOPIC CHARACTERISTICS OF THE SOUTH PRIMORYE COASTLAND

Chelnokov G.A., Kharitonova N.A., Bragin I.V.

Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, geowater@mail.ru

В статье приведены данные по изотопному составу уникальных проявлений слабосоленых минеральных подземных вод Раздольненского месторождения и слабых рассолов проявления Речица локализованных в прибрежной зоне юга Приморья.

New isotopic data on the brackish groundwaters of Razdolnoe manifestation and weak brine of Rechitsa manifestation located in coastal zone of south of Primorye are presents in the article.

Проявления подземных вод с высокими содержаниями солей в прибрежной зоне Японского моря фиксировались в ходе поисково-разведочных буровых работ на уголь, углеводороды, минеральные воды и пр. [1, 2 и др], однако вопросы их формирования и геохимии изучены не были. На сегодняшний день, наиболее изученными являются слабосоленые воды Раздольненского месторождения расположенные в прибрежной части Амурского залива (рис. 1) [3], а также слабые рассолы проявления Речица, локализованные в прибрежной части Уссурийского залива (рис. 1) [5]. Оба проявления обнаружены в 90-х годах прошлого столетия в ходе буровых работ для различных целей.

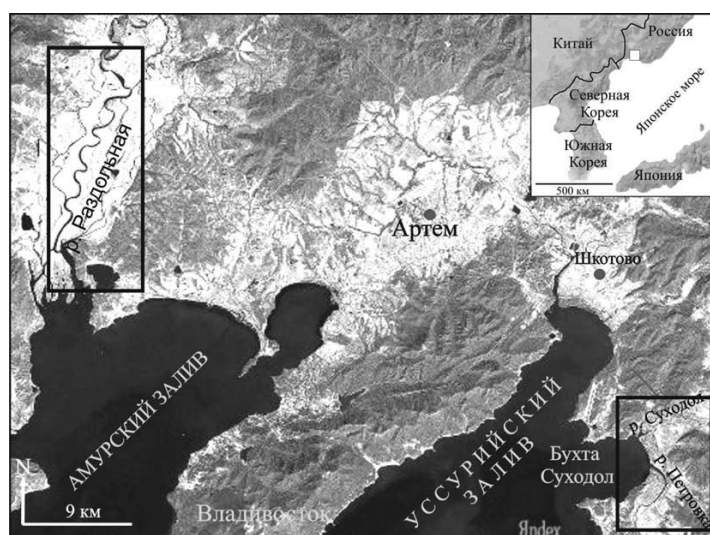


Рис. 1. Обзорная карта района. (<http://maps.yandex.ru>)

Характерной чертой этих проявлений является приуроченность вод с повышенной минерали-

зацией к вулканогенно-осадочным образованиям мезозоя (МЗ). В прибрежной части мезозойские породы всегда перекрыты более молодыми отложениями и на поверхность выходят на значительном удалении. Изученные слабосоленые воды и слабые рассолы приурочены к зонам повышенной трещиноватости, мощность которых достигает 100 м, и к зонам тектонических нарушений. Водовмещающие породы представлены алевролитами, песчаниками, песками. Водообильность пород очень пестрая и неравномерная. Коэффициент фильтрации обычно не превышает 1 м/сут.

Скважинами пробуренными в пределах Раздольненского проявления в интервале глубин 150-500 м вскрыты гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией от 6,0 до 14 г/л [1]. Вместе с тем, в интервале глубин 235-280 м., скв. № 2-Э (глубина 314 м) вскрыла гидрокарбонатные натриевые борные воды с минерализацией 2,5-6,0 г/л.

На проявлении Речица, в междуречье рек Суходол и Петровка скважины, вскрыли низко-среднеминерализованную воду (0,6-8,5 г/л) в интервале глубин 8-15 м, в то время как в интервале 15-300 м были встречены хлоридные кальциевые, хлоридные натриево-кальциевые соленые воды и рассолы (20-140 г/л). Опорными скважинами на данном проявлении выступали скважины № 2ПР (300 м) и № 3 (15 м).

Исследования изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) и водорода ($\delta^2\text{H}$) в изученных подземных и поверхностных водах позволили определить их генезис, а концентрации трития оценить скорость водообмена. Полученные данные приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

На рисунке 2 хорошо видно, что изотопный состав, как морской воды, так и поверхностных вод обогащен тяжелым изотопом $\delta^{18}\text{O}$ относительно общепринятой линии метеорных вод. Это вероятно вызвано несколькими причинами: во-первых, испарением, в процессе которого из воды удаляется легкий изотоп $\delta^{16}\text{O}$, обогащая таким образом воду более тяжелым изотопом $\delta^{18}\text{O}$; во-вторых, многочисленные данные по изотопам кислорода и водорода собранные исследователями подземных и поверхностных вод юга Дальнего Востока [4] позволяют предполагать, что региональная линия метеорных вод Приморья имеет сдвиг в сторону утяжеления кислорода относительно глобальной линии метеорных вод. Анализ подземных вод прибрежных областей (№3 в таблице 1), показывает, что воды не претерпевают интенсивного взаимодействия с морскими интрузиями.

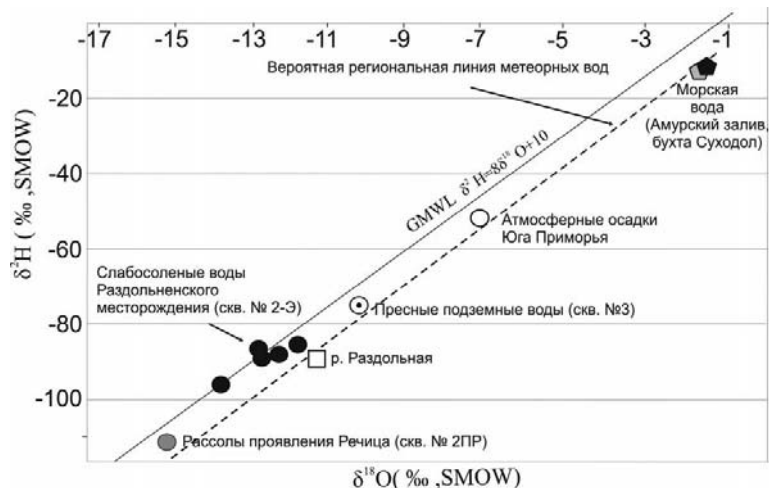


Рис. 2 Соотношения изотопов кислорода и водорода изученных вод.

Изотопные данные как по слабосоленым гидрокарбонатным натриевым водам (скв. № 2-Э) так и по Ca-Na-Cl слабым рассолам (Скв. 2-ПР) показывают их атмосферное происхождение. Однако рассолы являются более легкими, чем слабосоленые воды. Подобное облегчение изотопами характерно для ледниковых вод либо вод, формирующихся в холодном климате.

Изотопный состав кислорода и водорода изученных вод

№	Место отбора, объект исследований, тип воды, глубина взятия пробы, минерализация	Год иссле- дования	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (SMOW)	$\delta^2\text{H}\text{‰}$ (SMOW)
1	Атмосферные осадки юга Приморья	2002	-7,0	-52
Амурский залив				
2	Морская вода	2007	-1,7	-13
3	Режимная скважина, пресная	2007	-10,1	-76
4	р. Раздольная	2007	-11,2	-88
5	Скв. № 2-Э, Na-HCO ₃ тип, 120 м, M=6 г/л.	2002	-11,85	-86,6
6		2006	-12,5	-89
7		2007	-12,8	-90
		2008	-13,7	-99
Уссурийский залив				
8	Морская вода	2007	-1,5	-12,8
	Скв. №2ПР, Ca-Na-Cl тип, 100 м, M=51 г/л		- 15,2	- 111

Изотопные данные показали отсутствие смешения подземных вод с морскими и поверхностными водами, что указывает на сложные гидрогеологические условия формирования месторождений в прибрежной зоне. Низкие дебиты скважин и наличие водоупоров указывают как на сложность питания водоносной зоны рассолов, так и на обширную площадь водосбора.

С целью установления скорости водообмена на месторождениях были измерены концентрации трития. Для морских и речных вод исследуемого района концентрации трития составляют средние значения для поверхностных вод юга Приморья – 12,1-12,3 ТЕ, в то время как в слабосоленых водах концентрации составляют 5,4 ТЕ и рассолах 2,5 ТЕ, что указывает на затрудненный водообмен и отсутствие связи с поверхностными водами.

Изотопные исследования слабосоленых вод и слабых рассолов распространенных в прибрежной зоне Японского моря позволили сделать следующие выводы:

1. Соотношения стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в подземных и поверхностных водах района показывают единое атмогенное происхождение как слабосоленых вод так и слабых рассолов.
2. Время циркуляции, оцененное на основании тритиевых измерений, показало, что в условиях замедленного водообмена слабые рассолы формируются в два раза дольше, чем изученные слабосоленые воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 10-05-00658_а, 10-05-91158 ГФЕН, ДВО РАН 09-III-A-08-413, 09-3-A-08-411

Литература

1. Возняковская И.Г., Шамин А.И., 1993. Результаты незавершенных детальных поисков термальных вод энергетического значения в долине р. Раздольная на участке Термальном за 1989-1993гг., ТГФ Владивосток, 1993, с. 110.
2. Рышков В.С. Подземные воды Дальнего востока/ ТГФ, Владивосток, 1988 г., 342 с.
3. Челноков Г.А., Харитонов Н.А., Зыкин Н.Н., Верецагина О.Ф. Генезис подземных минеральных вод прибрежных областей Приморья// Тихоокеанская геология, 2008, №6, с. 65-72.
4. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Челноков А.Н., Edmunds W.M., Shand P., Минеральные воды Приморья (химический аспект), Владивосток, Дальнаука, 1999, с. 156.
5. Chelnokov G.A., Kharitonova N.A. Preliminary results of Primorye coastal zone groundwaters investigations (Far East Russia) Volume of Abstract of 33 International Geological Congress, Oslo, Norway, 2008

ГЕОХИМИЯ АЗОТНЫХ ТЕРМ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ И ЗАБАЙКАЛЬЯ

Чудаев О.В., Владивосток, ДВГИ ДВО РАН, chudaev@fegi.ru

Чудаева В.А., Владивосток, ТИГ ДВО РАН, valchud@hotmail.com

Брагин И.В., Владивосток, ДВГИ ДВО РАН, bragin_ivan@mail.ru

Еловский Е.В., Владивосток, ДВГИ ДВО РАН, eelovsky@mail.ru

Кулаков В.В., Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, vvkulakov@mail.ru

Плюснин А.М., Улан-Удэ, ГИ СО РАН, plyusnin@gin.bscnet.ru

GEOCHEMISTRY IF NITRIC THERMAL WATERS OF THE FAR EAST RUSSIA AND TRANSBAIKALIA

Chudaev O.V., Vladivostok, FEGI FEB RAS, chudaev@fegi.ru

Chudaeva V.A., Vladivostok, PIG FEB RAS, valchud@hotmail.com

Bragin I.V., Vladivostok, FEGI FEB RAS, bragin_ivan@mail.ru

Elovsky E.I., Vladivostok, FEGI FEB RAS, eelovsky@mail.ru

Kulakov V.V., Khabarovsk, IWEP FEB RAS, vvkulakov@mail.ru

Plyusnin A.M., Ulan-Ude, GIN SB RAS, plyusnin@gin.bscnet.ru

Рассматриваются новые геохимические данные по азотным термам Дальнего Востока России и Восточной Сибири. Воды принадлежат к $\text{HCO}_3\text{--Na}$ основному типу в пределах которого наблюдаются вариации химических элементов. Данные по изотопам кислорода и водорода свидетельствуют о метеорное происхождение терм. Атмосферный азот - основной газ. Формирование химического состава вод обусловлено взаимодействием вода-порода, и временем циркуляции вод.

New geochemical data are reported on the low temperature thermal waters in Siberia and the Far East Russia. The studied alkaline waters belong to the $\text{HCO}_3\text{--Na}$ type with significant trace element variations. The oxygen and hydrogen isotopic data of thermal waters suggest their meteoric origin. Dissolved gas is mainly nitrogen of atmospheric origin. The chemical composition of these results from water-rock interaction and strongly depends strongly on residence time and water/rock

Основные геохимические данные по азотным термальным водам были получены ранее по основным ионам и некоторым специфическим ионам, имеющим медицинский эффект (В, Вг, As, и др.) Первые достоверные результаты по микроэлементному составу азотных терм Приморья и Хабаровского края были получены нами [1,2]. Однако эти данные фрагментарны, касаются отдельных проявлений азотных термальных вод. В предлагаемой работе, приводятся новые комплексные геохимические данные по азотным термальным водам, полученные нами в 2006-2010гг по единой методике и на большой территории Дальнего Востока России и Восточной Сибири (Чистоводненские и Амгинские источники Приморья, Анненские, Тумнинские, Турминские и Лазаревские -Хабаровского края, Кульдурские - Еврейской АО, Группа источников северной части Байкальского рифта (Северо-Байкальские, Ангарские, Зипа-Баунтовские). Для сравнения проанализированы и воды известного месторождения Белокуриха (Алтайский край).

Методика. Нестабильные параметры воды (рН, Eh, SEC (электропроводимость), растворенный кислород и гидрокарбонат-ион замерялись на месте. Основные ионы и микроэлементы

анализировались с использованием ICP-AES и ICP-MS на приборах Thermo scientific iCAP 6000 и Agilent 7500с. Анионы определялись на жидкостном хроматографе LC-10Avp (Shimadzu). Изотопы кислорода и водорода анализировались на масс-спектрометре Finnigan-MAT 252. Все указанные анализы выполнены в аналитическом центре Дальневосточного геологического института. Концентрация трития определялась на приборе Quantulus 1220 в аналитическом центре ВСЕГЕИ. Компьютерное моделирование и расчет равновесных реакций выполнялось с использованием пакета программ SOLMINEQ.

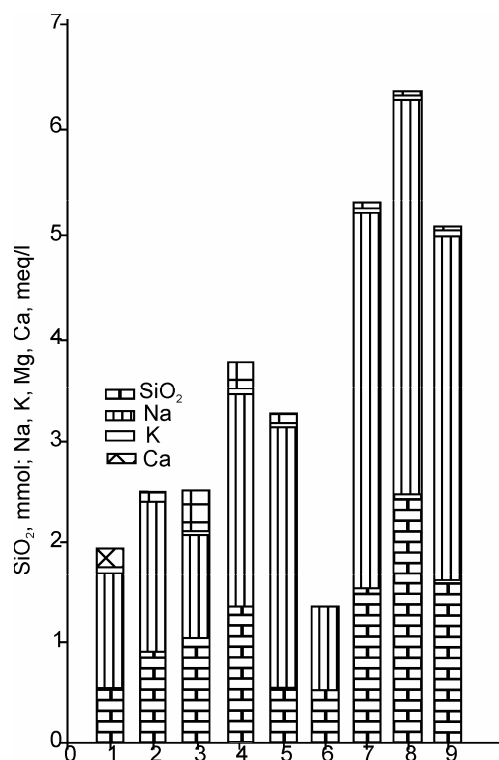


Рисунок 1. Соотношение основных катионов в SiO₂ в изученных азотных термальных водах 1-Чистоводное; 2-Амгу; 3-Тумнинские; 4-Анненские; 5-Турма; 6-Лазаревские; 8 – Байкальский рифт; 9-Белокуриха

Основные результаты. Изученные проявления термальных вод локализованы, как правило, в гранитах и/или контактовых зонах. Возрастной диапазон гранитов достаточно широк PR-K и их положение контролируется разломной тектоникой. Вода проникает на глубину вдоль трещин, максимальная глубина проникновения – 400-450м. Максимальная измеренная температура на поверхности около 90°C, минерализация вод не превышает 500 мг/л. Изученные термальные воды характеризуются щелочной реакцией (pH>9), среди катионов преобладает натрий, концентрация которого увеличивается с увеличением температуры вод (рис. 1). Наименьшее значение натрия обнаружено в Приморье -19мг/л, наибольшее - в источниках Байкальского рифта (153мг/л). Эти значения ниже чем в европейских источниках сходного геохимического типа, описанных в работе [3] и близки величинам корейских азотных терм [5]. Кремний в изученных водах варьирует в широких пределах 14.8-72 мг/л. Минимальные значения обнаружены в Приморских термах, максимальные в Байкальском рифте. Содержания кремния прямо пропорционально температуре воды. Так, максимальное значение 72мг/л в Байкальском рифте соответствует 116°C воды, рассчитанной по кварцевому геотермометру. Минимальное значение - 14.8 мг/л соответствует минимально рассчитанной температуре для Чистоводненской группы источников Приморья (61°C). Концентрации Ca, Mg, K – невелики и укладываются в пределы колебаний характерных для данного типа вод. Среди основных

анионов преобладает гидрокарбонат-ион, содержания которого варьирует в широких пределах от 63.4 мг/л в Приморье, до 207 мг/л в Байкальском рифте. Концентрации хлора и серы невелики и, как правило, не превышают 10 мг/л. Так, минимальное значение серы -5.7 мг/л обнаружено в Приморье (Чистоводненская группа вод), максимальное -22.6 мг/л в Белокурихе. Таким образом, основу минерализации данных вод определяют натрий, гидрокарбонат-ион и отчасти кремний.

Микроэлементы. Среди проанализированных элементов (> 50), рассмотрим те, которые характерны именно для данного геохимического типа вод, предварительно разбив их на три геохимические группы согласно классификации Гольдшмита: сидерофильные, халькофильные и литофильные. Среди сидерофильных элементов рассмотрим, железо, марганец, молибден, кобальт и никель. Изученные термальные воды содержат довольно низкие содержания Fe в пределах 0.013-0.005 мг/л, содержания которого увеличивается в окружающих холодных водах до 0.04 мг/л. Низки содержания и Mn, как правило, ниже 0.01 мкг/л. Все воды имеют повышенный Mo, что естественно, так как в щелочных водах растворимость молибдена увеличивается. Наивысшие содержания молибдена обнаружены в Белокурихе - 68.7 мкг/л, минимальные в Анненских источниках - 6.2. мкг/л. Колебания концентраций кобальта незначительны в пределах 0.005–0.009 мкг/л. Никель увеличивается с 0.033 мкг/л (Чистоводненская группа) до 0.43 мкг/л в Анненских источниках. Отметим, что окружающие холодные воды содержат кобальта до 0.1-0.2 мкг/л. Среди халькофильных элементов рассмотрим мышьяк и медь. Содержания меди не испытывает значительных колебаний: 8 мкг/л в Белокурихе и 1.2 мкг/л в источниках Байкальского рифта. Для мышьяка отмечен значительный разброс значений. Минимальные его концентрации (2.41 мкг/л) отмечены в Турминских и Лазаревских источниках. Максимальные - 86.02 мкг/л в Кульдурских водах. Среди литофильных элементов рассмотрим Al, F, Li и редкоземельные элементы (РЗЭ). Содержания алюминия варьирует в интервале 3.6-19.5 мкг/л. Максимальные значения отмечены в Анненских источниках (19.5 мкг/л) и минимальные – 3.6 мкг/л характерны для Чистоводненских источников. Содержания F варьирует в широких пределах 0.8-24.7 мг/л. Минимальные значения типичны для Тумнинских вод и Амгу, а максимальные значения характерны для источников Байкальского рифта. Расчеты показывают, что даже при максимальном значении фтора 24.7 мг/л при низких содержаниях кальция, что характерно для изученных вод, не происходит насыщение по отношению к флюориту. Литий варьирует в пределах 6.26 мкг/л -270 мкг/л. Максимальные значения характерны для Кульдурских терм, минимальные- для Анненских. Щелочные воды обычно содержат низкие содержания РЗЭ, близкие атмосферным осадкам. Использование технологии фирмы Agilent позволило прямым методом определить их концентрации. Следует отметить, что общим для всех вод является некоторое обогащение тяжелыми РЗЭ и Eu аномалия, связанная с поступлением его за счет растворения плагиоклаза.

Газовый состав. Во всех изученных водах среди растворенных газов атмосферный азот составляет 99% . Не отмечено поступление глубинных эманаций, о чем свидетельствует крайне низкие отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($0.1-0.24$)* 10^{-6} .

Изотопный состав. Соотношение изотопов кислорода и водорода свидетельствует о метеорном происхождении водной компоненты изученных терм (рис. 2). Отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ равно 0.70638 для Чистоводненской группы термальных вод, для окружающих холодных вод 0.71027. Для терм Амгу изотопные отношения стронция варьируют в пределах 0.70458-0.70483. Указанная разница свидетельствует, на наш взгляд, разницей времени взаимодействия гранит-вода. Говоря о времени циркуляции вод, отметим, что по нашим данным, судя по значению трития, время циркуляции изученных вод более 50 лет.

Таким образом, говоря о модели формирования данных вод можно отметить следующее. Согласно нашим данным в атмосферных осадках Дальнего Востока России среди катионов значительно преобладает натрий, тогда как в грунтовых водах кальций занимает значительное место. Разложение органики приводит к увеличению доли кальция и гидрокарбонат иона. Фактически, формируются

подземные холодные воды смешанного состава $\text{HCO}_3\text{--Ca--Na--Mg}$. Дальнейшее погружение вод в земную кору и увеличение их температуры с глубиной приводит к преимущественному накоплению натрия, за счет растворения альбита. Все это происходит при условии преобладания вода/порода отношения, что фактически приводит к формированию $\text{HCO}_3\text{--Na}$ геохимического типа вод. Это подтверждается и компьютерным моделированием системы гранит-вода, проведенным Б.Н. Рыженко [4], показавшим, что при гранит/вода отношении $\gg 1$ и температуре $< 100^\circ\text{C}$ формируются слабоминерализованные щелочные воды $\text{HCO}_3\text{--Na}$ геохимического типа.

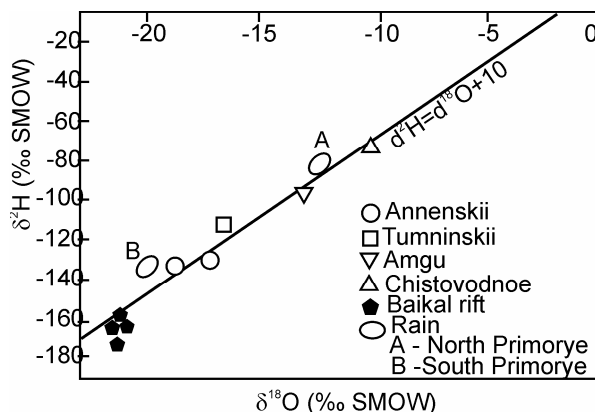


Рисунок 2. Соотношение изотопов кислорода и водорода изученных термах и их положение по отношению к линии метеорных вод Крейга.

Формирование данного типа вод сопровождается образованием вторичных минералов. Наши расчеты показали, что изученные воды пересыщены по отношению к глинистым минералам (сметкиту, иллиту и каолиниту) низкотемпературным цеолитам и альбиту. Изучение измененных гранитов, показало, что большинство вторичных минералов, полученных расчетным путем, обнаружены в гранитах, причем глинистые минералы и цеолиты формируются за счет растворения плагиоклаза. Все изученные воды находятся на разных стадиях формирования в плане времени взаимодействия с окружающими породами и глубиной циркуляции, что обусловило различие в температурах вод, их минерализации, распределении микроэлементов, включая РЗЭ, но важно, что они находятся на стадии накопления натрия. Расчетные данные по кварцевому геотермометру показали, что Чистоводненские фоды формируются при температуре близкой 61°C , Амгу - 81°C , Тумнинские - 86°C , Анненские - 99°C , Кульдур и Белокуриха - 116°C и источники Байкальского рифта - 116°C .

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 10-05-00658-а и проекта ДВО РАН, 09-III-A08-414.

Литература

1. Chudaeva, V.A., Lutsenko, T. & Chudaev, O.V. 1995. Thermal Waters of the Primorye Region. Eastern Russia. In Y. Kharaja & O. Chudaev (eds), Proceedings of International Symposium on Water-Rock Interaction: 375–378. Rotterdam: Balkema
2. Chudaev, O.V., Chudaeva, V.A. & Bragin, I.V. 2008. Geochemistry of the thermal waters of Sikhote-Alin. Russian Journal of Pacific Geology 2(6): 528–534.
3. Michard, G. 1990. Behaviour of Major Elements and Some Trace Elements (Li, Rb, Cs, Sr, Fe, Mn, W, F) in Deep Hot Waters from Granitic Areas. Chemical Geology. 89: 117–134.
4. Ryzhenko, B.N., Barsukov, V. & Knyazeva, S.N. 1999. Chemical Characteristics (Composition, pH, and Eh) of a Rock–Water System: 1. Granitoids–Water System. Geokhimiya. 34 (5): 436–454.
5. Yum, B.W. 1995. Movement and Hydrochemistry of Thermal Waters in Granite at Cosung, Republic of Korea. In: Y. Kharaka & O. Chudaev (eds), Proceedings of the 8th International Symposium on Water-Rock Interaction: 401–404. Rotterdam: Balkema.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ВОДАХ БАССЕЙНА Р.АМУР

Чудаева В.А. (Владивосток, ТИГ ДВО РАН, valchud@hotmail.com)

Шестеркин В.П. (Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, shesterkin@ivep.as.khb.ru)

Чудаев О.В. (Владивосток, ДВГИ ДВО РАН, chudaev@fegi.ru)

MICROELEMENTS IN THE WATERS OF AMUR RIVER BASIN

Chudaeva V.A. (Vladivostok, PIG FEB RAS, valchud@hotmail.com)

Shesterkin V.P. (Khabarovsk, IWEP FEB RAS, shesterkin@ivep.as.khb.ru)

Chudaev O.V. (Vladivostok, FEGI FEB RAS, chudaev@fegi.ru)

Рассмотрен широкий круг микроэлементов в растворе и взвеси в водах различной степени антропогенной нагрузки в бассейне р. Амур. Их значительные вариации связаны как с природными условиями, так и с воздействием антропогенного фактора в районах крупных городов, а также трансграничным переносом с территории Китая.

The wide range of microelements was studied in dissolved and suspended material in the waters with different pollution degrees in the basin of Amur River. Their significant variations are due to natural conditions as well as anthropogenic influence of big cities and discharges from the Chinese territory.

В данной работе представлена сводка авторских данных, полученных в последние годы, что позволяет дать общую оценку содержания микроэлементов как в р. Амур, так и некоторых притоков с разной степенью антропогенной нагрузки, а также дополнить и уточнить полученные ранее данные, сопоставить их с имеющимися литературными сведениями для крупнейших рек мира.

Методика. Пробы воды отбирались в разных точках бассейна р. Амур в различные периоды времени, как в основном русле, так и в некоторых притоках разного порядка и разной степени антропогенной нагрузки. Наиболее детально – в бассейне правого притока р. Амур – р. Уссури, сток которой формируется на территории Приморья и Китая (рис.1).

По единой методике были проанализированы также 2 пробы в р. Сунгари, крупном правом притоке, дренирующем территорию Китая. Опробовался створ р. Амур выше г. Хабаровск, позволяющий проследить возможное загрязнение, поступающее с р. Сунгари.

Трижды опробовался створ р. Амур у Хабаровска, где вносится и местное загрязнение. Локальное загрязнение хорошо прослеживается на примере 2-х отборов (летнего и зимнего) в р. Березовая, протекающей по территории г. Хабаровск.

В разные годы проводились исследования на Нижнем Амуре. В качестве фона были взяты 2 точки на р. Анной и 9 точек (3 створа с разных глубин) на Бурейском водохранилище. Всего было отобрано более 110 проб.

Пробы фильтровались непосредственно в процессе отбора или в ближайший период времени после на мембранных фильтрах с размером пор 0,45 мкм. Таким образом, проводилось разделение форм на взвешенную (> 45 мкм) и растворенную ($< 0,45$ мкм). Кроме того для 3 проб на месте отбора проведено их последовательное перефильтровывание на фильтрах 0,1 мкм для установления доли «растворенной» формы, находящейся в виде коллоидного и тонкодисперсного вещества размером 0,1-0,45 мкм. Фильтры со взвесью перед определением разлагались сильными кислотами.

Определение микроэлементов проводилось масс-спектрометрией с индуктивно-связанной

плазмой (ИСП-МС) в Токийском университете на приборе фирмы «Hewlett Packard-4500» в трех параллелях. Дополнительные исследования аналогичным методом выполнены в ДВГИ ДВО РАН на приборе Agilent 7500С.

Основные результаты. Полученные материалы по микроэлементному составу вод р. Амур и некоторых его притоков, хотя и не дают единовременной картины распределения отдельных элементов, но позволяют оценить их уровни и соотношения на разных участках.

Растворенная форма. Поскольку воды р. Амур и притоков имеют, чаще всего, слабощелочную реакцию, это не благоприятствует миграции многих элементов, в том числе Fe, Mn и многих связанных с их окислами микроэлементов, прежде всего сульфидной группы. Однако загрязнение малых водотоков промышленно-бытовыми стоками и отходами горнопромышленного техногенеза может быть значительным. В бассейне р. Амур это рассматривалось нами для р. Силинка (в районе г. Комсомольска-на-Амуре), р. Березовой, р. Абрамовки [3] и др. В частности, в р. Березовая возрастает содержание не только тяжелых металлов, но и большой группы других элементов. Причем в зимнее время отмечается резкое возрастание содержаний Br, I, As, V, Ni, Cr, в меньшей степени Li, Rb, Sr, Cs, Cu, U.

Существенное влияние р. Сунгари на сток р. Амур проявляется прежде всего в выносе большого количества органических и биогенных веществ [1, 5]. Вместе с тем, непосредственно в р. Сунгари найдены повышенные содержания Mo, Sb, As, V, Cr, J, Br, в меньшей степени Li, Rb, Sr, Ba, что в целом соответствует аналогичному спектру элементов в окрашенных атмосферных осадках, переносимых с северных районов Китая и Монголии [4]. Наиболее низкие содержания отмечаются в р. Анюй в силу низкой минерализации и отсутствия какого-либо загрязнения.

В Бурейском водохранилище отмечаются более высокие значения, связанные во многом, как с разными источниками пространственного поступления, так и с вертикальным распределением.

Значительные вариации содержаний микроэлементов были найдены в бассейне р. Уссури, поскольку здесь имеют место, как разнообразные природные условия, так и различные по характеру источники загрязнения. Вместе с тем, имеются сходные уровни многих элементов нижней части р. Уссури и Амурской протоки, куда изначально поступают воды р. Уссури. На опробованных створах основного створа р. Амур в районе г. Хабаровск и выше. Растворенный Mo, как правило, выше у правого берега, Это подтверждает его устойчивый вынос с р. Сунгари, что может служить определенным маркером ее воды, как правило, ближе к правому берегу наряду с основными ионами выше и I, Br. В то же время Fe, меньше Al в период всех отборов несколько повышены у левого берега и вероятно в большей степени поступают с р. Уссури и Амурской протоки.

На Нижнем Амуре концентрация микроэлементов в выравнивается, отмечается явное увеличение группы элементов ниже Хабаровска и частично – ниже Комсомольска-на-Амуре. В поперечном створе у Комсомольска-на-Амуре значительные изменения отсутствуют, отмечается лишь некоторое увеличение элементов (Mo, Sb, Li, Al, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Ba, U) к левому берегу, где влияние оказывает г. Комсомольск-на-Амуре и р. Силинка загрязняющая Амур горнопромышленными отходами [3].

Содержание растворенных микроэлементов в р. Амур в основном сопоставимо с содержанием в крупнейших реках мира или ниже последних, хотя литературные данные приводятся для ограниченного числа элементов, порой значительно различающихся в содержаниях даже для одной реки.

Взвешенная форма. Роль взвешенной формы (в мкг/л) в водотоках меняется весьма существенно в зависимости от мутности речной воды. Вместе с тем, соотношение элементов в целом сохраняются, т.к. их накопление во взвешенном веществе определяется, прежде всего, степенью их индивидуальной растворимости и сорбируемости. На основании имеющихся наиболее достоверных данных по створу р. Амур элементы по уменьшению роли взвешенной формы можно

выстроить в ряд: Al, Fe, Mn, Cs, Co, V > As, Rb, Sb, Th, Ba, Zn, Li, U, Cu > Bi, Mo, Sr, который соответствует соотношению ограниченного количества элементов, полученному в более раннем исследовании [3]. Сходные черты характерны и бассейна р. Уссури. При сопоставлении этих соотношений с распределением элементов в снеговых водах (взвесь-вода) (Al, Fe, Cs, V > Rb, Ba, Li, Cu, Co, As > Mo, Mn, Sr, Sb, Zn [4] видно, что высокая взвешенная форма характерна для Al, Fe, Cs, V, низкая для Sr, Mo, и средняя для Rb, Ba, Li, Cu, что подтверждает сходные черты поведения элементов в водах.

В пересчете на сухое вещество взвеси (мкг/г) наиболее заметное возрастание найдено для Sb в районе г Хабаровска, которое отмечается и вниз по реке (в р-не Комсомольска-на Амуре), можно говорить о более высоких концентрациях ряда элементов, приносимых в составе взвеси р. Уссури (Li, Al, Co, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Pb, Bi, Th, U, V). В то же время в составе взвеси р. Сунгари выше содержания Cu, Zn. Содержание большей части элементов (Mo, Al, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Ba, Pb, Bi, Th, U, V) во взвеси р. Амур ниже Хабаровска уменьшается.

В целом, уровни во взвеси рек бассейна р. Амур по нашим данным для большинства элементов соответствуют или ниже, чем средние мировые значения для речных взвесей по [2], в том числе и для крупнейших рек мира.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ДВО РАН: 09III-A09-518, 09-I-ОНЗ-20, 09-I-П16-03, 09-II-СО-08-008, 09-III-A08-414, 09-III-A09-49; РФФИ 10-05-00658-а.

Авторы также выражают благодарность К.Сугимори, М.Матсуо, А.Куно, С.Г.Юрченко, Молокеевой Е.П. за помощь в отборе проб и выполнении аналитических работ.

Литература

1. Левшина С.И. Растворенное и взвешенное вещество вод Амура и Сунгари // Водные ресурсы. 2008. Т.35. №6. С.745-753.
2. Савенко В.С. Химический состав материкового стока твердых веществ // Геохимия. 2007. №8. С. 889-897.
3. Чудаева В. А. Тяжелые металлы в р. Амур // Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных объектов экосистем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1995. С. 147-183.
4. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // Водные ресурсы. Т.35. №1. 2008. С. 1-12.
5. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды р. Сунгари. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. №1. 2009. с. 50-53.

О КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСНОВАХ МЕЗОТЕРМИЧЕСКОГО МАКСИМУМА ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ГЛУБОКИХ ПРЕСНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Шерстянкин П.П., Иванов В.Г., Куимова Л.Н.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, ppsherst@lin.irk.ru

ON CLIMATIC BASES THE MESOTHERMAL TEMPERATURE MAXIMUM AND THERMODYNAMIC PROPERTIES DEEP FRESH WATERS FOR EXAMPLE LAKE BAIKAL

Sherstyankin P.P., Ivanov V.G., Kuimova L.N.

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, ppsherst@lin.irk.ru

Обсуждаются временные и пространственные изменения характеристик слоя мезотермического максимума температуры (ММТ) на озере Байкал; значения термодинамических параметров его вод; изотермические климатические модели, показывающие увеличение глубины залегания ММТ от степени охлаждения поверхностных вод.

The following issues were discussed in this paper: temporal and spatial variability of the layer of mesothermal temperature maximum (MTM) in Lake Baikal, thermodynamic parameters of its waters, and isothermal climatic models demonstrating the increase of depths of MTM occurrence depending on cooling level of surface waters.

Мезотермический максимум температуры (ММТ) в глубоких водоемах возникает тогда, когда температуры поверхностных вод $T_{\text{пог}}$ меньше, а глубинных вод выше температуры максимальной плотности T_{md} , $T < T_{md}$ или $(T - T_{md}) < 0$. ММТ на озере Байкал открыл Г.Ю. Верещагин [1] в 1925 г. По его же определению [2] «на границах ... двух зон в условиях наличия в верхней обратной, а в нижней - прямой термической стратификации должны находиться наивысшие в вертикальном профиле температуры, которые в то же время должны быть, приблизительно, равны температурам наибольшей плотности воды на данной глубине; эту промежуточную зону мы называем зоной "мезотермического максимума"». Глубина залегания слоя ММТ, где температура воды T равна T_{md} , или толщина слоя воды с обратной температурной стратификацией целиком зависит от абсолютной величины температуры в зоне ММТ и будет тем больше, чем ниже эти температуры [2]. Обязательное для возникновения ММТ наличие обратной термической стратификации определяет расположение озёр в умеренных и полярных широтах с соответствующим климатом. На озере Байкал этому благоприятствует резко континентальный климат и сильные ветра в предледоставный период в ноябре-декабре, что способствует проникновению на большие глубины холодных вод [1]. Вода в зоне ММТ имеет уникальные значения ряда термодинамических параметров и свойств таких, как сама температура максимальной плотности T_{md} , параметр адиабаты k , устойчивость E , адиабатическая сжимаемость χ_{ad} и другие. Целью работы являются изучение термодинамических свойств природных вод в зоне ММТ и климатических условий, в которых это происходит.

Предварительные сведения о ММТ. В Южном Байкале ММТ появляется в конце ноября и исчезает в середине мая. Охлаждению верхних слоев воды способствуют несколько основных факто-

ров: уменьшение прихода поглощенной солнечной энергии в периоды, близкие к зимнему солнцестоянию (21-22 декабря), когда уровень поглощенной солнечной энергии уменьшается примерно в 10 раз по сравнению с летним солнцестоянием; штормовые ветра, вызывающие вынужденную конвекцию и охлаждение глубинных слоев воды; приходы холодных воздушных масс, особенно связанных с вторжением из полярных областей и др., что требует их изучения в многолетнем режиме. Глубина залегания ММТ зависит также от особенностей динамики вод, расположения в различных частях фронтальных разделов (даунвеллинг и апвеллинг) и удаленности от берега.

ММТ на озере Байкал как сезонное явление стал возникать 2,5-3 миллиона лет назад, когда субтропический климат со среднегодовыми температурами воздуха $T_{возд} + 5^{\circ}\text{C}$ сменился на умеренный с $T_{возд} - 10^{\circ}\text{C}$, которые затем возросли до $T_{возд}$, близких к 0°C , как в современный период. После перехода к умеренному климату появился ледовый покров и обратная температурная стратификация в верхних слоях воды, а температура глубинных вод стала меньше 4°C , но выше T_{md} in situ. В настоящее время глубина залегания ММТ доходит до 150÷300 м и при статистической обеспеченности наблюдений может служить мерой охлаждения/прогрева поверхностных слоев воды.

Явление ММТ вызывает особый интерес потому, что при температуре максимальной плотности T_{md} у воды проявляется целый ряд уникальных физических свойств: коэффициент термического расширения воды α становится равным или близким к нулю; устойчивость, пропорциональная α , также приближаются к нулю; параметр адиабаты – близким к 1 и т.д.

Аппаратура и методика. Наблюдения за ММТ проводились в Южном Байкале в 2002-2006 гг. с помощью STD зонда MCTD3.6" (абсолютная погрешность $0,003^{\circ}\text{C}$, разрешение – $0,0001^{\circ}\text{C}$, применённое разрешение по глубине было порядка 0,33 м при глубине 1360 м). Расчеты термодинамических параметров байкальской воды проводились через один метр с помощью пакетно-файлового метода. Точность определения глубины залегания ММТ составляла около 0,2 м.

Результаты наблюдений. Обсуждение.

1. ММТ на глубокой воде, более 1000 м. Для примера, рассмотрим временные изменения температуры воды на станции в 3,6 км от мыса Ивановский в период с 14 марта по 4 апреля 2006 г. в верхнем слое озера (от нижней кромки льда до глубины 300 м). Слой ММТ залегает на глубине от 159 до 187 м (рис. 1, глубина озера 1360 м).. Максимумы температуры вод в зоне ММТ не всегда совпадают с T_{md} . Это несоответствие может составлять несколько десятков метров (для серии 216 – на 24 м выше, а для серии 287 – на 23 м ниже и т.д.). Считая зону ММТ ограниченной изотермой $3,60^{\circ}\text{C}$, видим, что её временные колебания достигают десятков метров. Части зоны ММТ с температурами выше $3,62^{\circ}\text{C}$ не дают сплошного слоя и иногда полностью разрываются, что говорит об активной вертикальной подвижности вод. Оптические наблюдения за показателем ослабления направленного света показывают, что в месте наблюдений часто располагаются конвергентные зоны фронтов. Для серий 210 и 216, отмеченных на рис. 1, глубина залегания ММТ за 6 часов увеличилась от 167 до 187 м., что указывает на то, что на большие глубины попали более холодные поверхностные воды, преодолев преграду в виде ММТ. Это один из возможных механизмов вертикального обмена вод в зимний период при наличии ММТ [3]. На рис. 1 приведены изоплеты температуры в неподвижной системе координат (системе Эйлера), т.е. представлены изменения во времени температуры вод, протекающих через вертикаль наблюдений (3,6 км от м. Ивановского в Южном Байкале), показывающие разные фазы конвергентной зоны фронта. Наблюдения в движущейся с потоком воды системе координат (системе Лагранжа) представляют

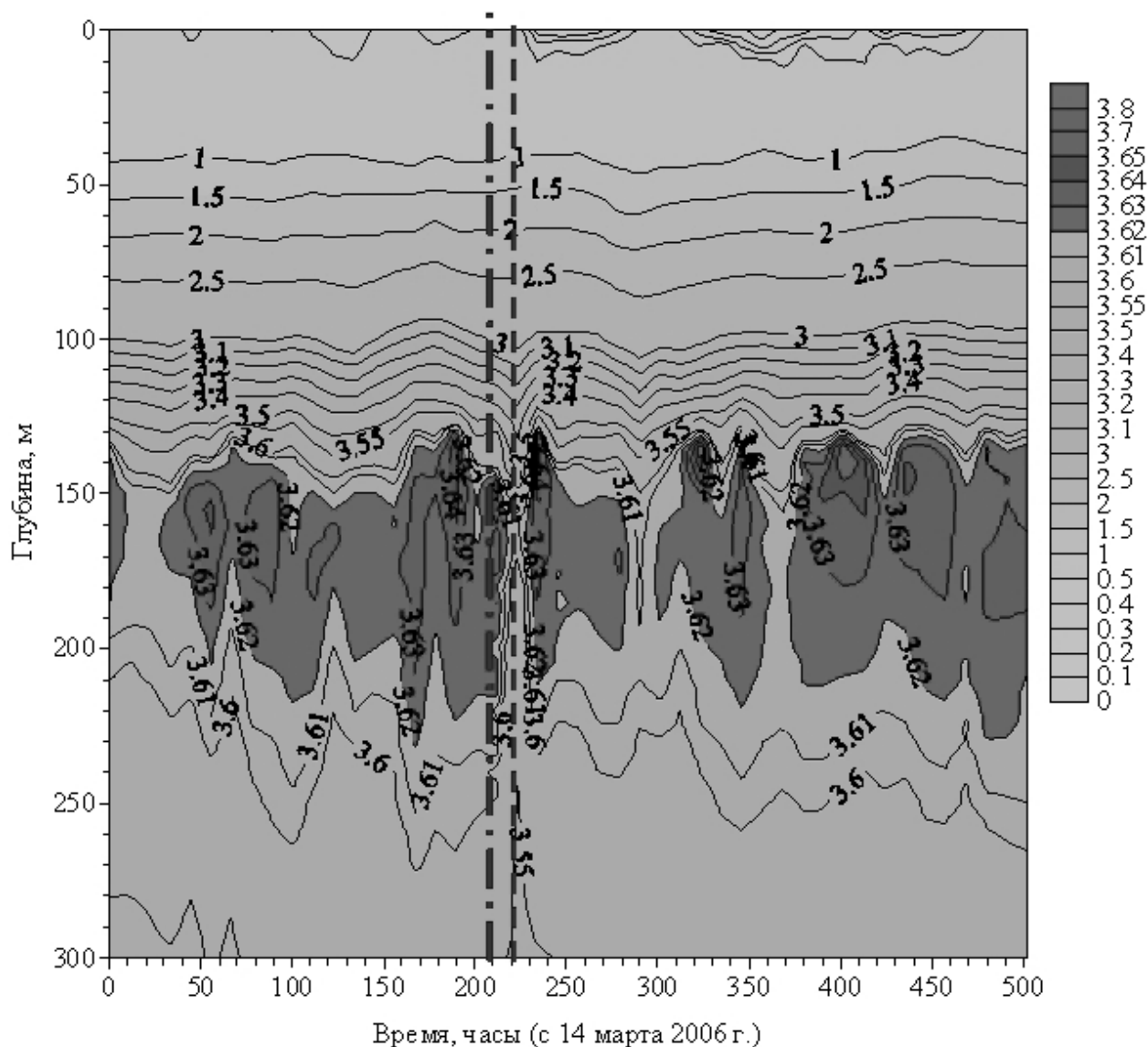


Рис. 1. Термоизоплеты, °С, в слое 0-300 м на станции в ледовом лагере нейтринного телескопа НТ-200 с 14 марта по 4 апреля 2006 г. (46 серий). штрихпунктирной и штриховой линиями показаны серии 210 и 216.

большой интерес, но со льда такие измерения недоступны.

Толщина зоны ММТ может быть оценена по величине областей глубин, в которых $|a(Z)|$ в 10 и 100 раз больше $\alpha(T_{md})$, для серий 210 и 216 близок к $1 \cdot 10^{-8}$, 1/°, таблица 1. При $|\alpha| = 1 \cdot 10^{-7}$ и $|\alpha| = 1 \cdot 10^{-6}$, 1/°, для серии 210 получим отклонения от $T_{md} - 4/+4$, $-25/+36$ м и $-25/+36$ м, для серии 216 $-4/+5$, $-35/+43$ м. За пределами зоны ММТ α имеет порядок 10^{-5} , 1/°. При $|\alpha| = 1 \cdot 10^{-6}$, 1/°, часть зоны ММТ, лежащая ниже $Z(T_{md})$, имеет размеры, превышающие вышележащую часть, т.е. они несимметричны.

2. ММТ в присклоновой области. Наблюдения проводились в конце марта начале апреля в 2007 г. от устья реки Б. Ивановка в направлении на станцию 3.6 км в ледовом лагере нейтринного телескопа. Глубины на трёх присклоновых станциях 1, 2 и 3, удалённых от берега на 800, 850 и 900 м, составляли 116, 197 и 234 м. Глубины точек пересечения $T = T_{md}$ для станций 2 и 3 превышали глубины реальных максимумов температуры на 58 и 62 м. Температуры реальных максимумов

превышают: T_{md} на 0.2°C . Глубины залегания $Z_{ММТ}$ у присклоновых станций превышают соответствующие для глубоководной станции в 3,6 км на 40 м, что говорит о более сильном выхолаживании верхнего слоя вод вблизи берега. Никаких признаков разрушения ММТ с приближением к берегу замечено не было: сохраняется общая термическая структура вод, глубина залегания возможного ММТ становится больше реальной глубины, как на станции 1.

Таблица 1

Температуры $T = T_{md}$; глубины их залегания; коэффициенты термического расширения

а при $T = T_{md}$; глубины, на которых равны $\mp 1 \cdot 10^{-7}$ и $\mp 1 \cdot 10^{-6}$ $1/^{\circ}$.

Серия, часы	$T = T_{md}$, $^{\circ}\text{C}$	$Z(T_{md})$, м	$\alpha(T_{md}) \cdot 10^7$, $1/^{\circ}$	$Z(\alpha, 1/^{\circ})$, м			
				$\alpha = -10^{-7}$	$\alpha = -10^{-6}$	$\alpha = 10^{-7}$	$\alpha = 10^{-6}$
210	3.6333	167	~ 0.1	163	142	171	203
216	3.6944	187	~ 0.1	183	152	192	230

3. Изотермические климатические модели. Увеличение глубины залегания ММТ от степени охлаждения поверхностных вод. Теоретический анализ устойчивости E_{ad} природных вод проводился на четырёх модельных изотермах: ~ 4 , 3,6, 3 и 2°C . Расчёты проводились по формуле $E_{ad} = g\rho\alpha\Gamma$, где g – ускорение свободного падения, ρ – плотность воды и Γ – адиабатический градиент температуры [4]. E_{ad} соответствует равновесному состоянию природных вод, всегда больше нуля (впервые показано в [5]), при $E > E_{ad}$ выполняется условие отсутствия конвекции, при $E < E_{ad} < 0$ – возникновения конвекция. E – устойчивость при градиентах температуры и солёности, не равных нулю. При изотерме $\sim 4^{\circ}\text{C}$, равной T_{md} поверхностных вод, E_{ad} для $Z = 0$ имеет минимум, как конечное значение. Для изотерм 3,6, 3 и 2°C в точках $T = T_{md}$ на глубинах 227, 483 и 967 м адиабатическая устойчивость E_{ad} имеют глубокие минимумы в виде особой точки возврата, «остриё», рис. 2, [4].

Из рис. 2 видно, что с охлаждением поверхностных вод глубина минимума увеличивается и доходит до 967 м при 2°C . Видимо, охлаждение поверхностных вод до изотермы 2°C для озера Байкал маловероятно, но в современной океанологической практике изотермическое понижение температуры поверхностных вод до 1000-1500 м при свирепых штормовых (violent) условиях возможны, например, глубокая океаническая конвекция в Средиземном море в 1969 г. (MEDOC). На Байкале значительное охлаждение поверхностных вод наблюдалось около 2,5 миллионов лет назад при переходе от субтропического климата к умеренному при среднегодовой температуре воздуха -10°C . Расчёты работы [6] показали, что возможная глубина залегания $T_{ММТ}$ могла доходить до 400 м и более, что примерно соответствует изотермическому состоянию вод 3°C , рис. 2. Охлаждение поверхностных до $3,6^{\circ}\text{C}$ с $T_{ММТ}$ порядка 250 м является для современных климатических условий реальным случаем.

Динамика формирования ММТ сложна тем, что в этой области силы плавучести ничтожны, так как модуль коэффициента термического расширения α близок к нулю, в его формировании участвуют трудно учитываемые силы; сам слой ММТ по М.В. Сокольникову иногда движется быстрее выше- и нижележащих слоёв. Он же отмечал, что в слое ММТ «совмещаются два потока тепла: радиационного, через ледяной покров, и геотермического, идущего через воду из недр земли». Отметим, что под совмещением можно понимать компенсацию этих потоков и тогда глу-

бину залегания ММТ при $T=T_{md}$ можно считать, как меру охлаждения вод озера, имеющую климатическую природу. Особый интерес представляют термодинамические параметры вод зоны ММТ, приведённые в таблице 2. Параметр адиабаты $k = c_p / c_v$ в области от 152 до 230 м меньше

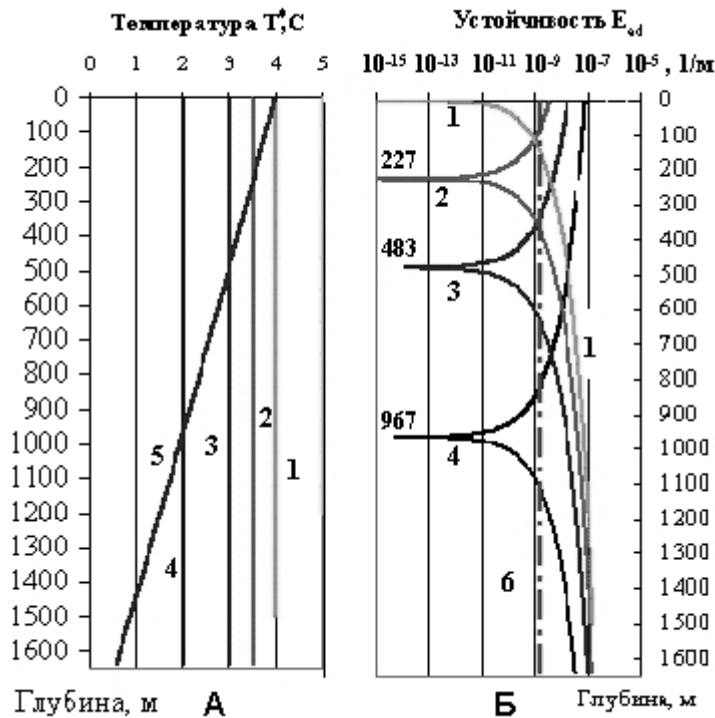


Рис. 2. Изотермы при обратной температурной стратификации и температура максимальной плотности T_{md} и соответствующие устойчивости. Температуры воды – А: кривая 1 – T_{md} поверхности воды, $\sim 4^\circ\text{C}$, кривая 2 – 3, 6, кривая 3 – 3, кривая 4 – 2°C и кривая 5 – T_{md} . Устойчивости E_{ad} для изотерм – Б: кривые 1 – 4 для изотерм $\sim 4, 3, 6, 3$ и 2°C , кривая 5 – $E_{ad} = 1 \cdot 10^{-9}, \text{м}^{-1}$.

Таблица 2.

Z, м	$T(Z), ^\circ\text{C}$	$T_{md}(Z), ^\circ\text{C}$	$T(Z) - T_{md}(Z), \text{м}$	$\alpha \cdot 10^{-7}, 1/^\circ$	$\kappa = c_p / c_v$	$E_{ad} \cdot 10^{-9}, 1/\text{м}$	$\chi_{ad} \cdot 10^5, 1/\text{бар}$
1	0.5905	3.9625	-3.3720	-567	1.00415	206	5.0626
152	3.6059	3.6641	-0.0582	-10	1.00000	0.055	4.9395
184	3.5950	3.6004	-0.0054	-1	1.00000	0.00048	4.9356
188	3.5939	3.5924	0.0015	0.1	1.00000	0.000034	4.9351
192	3.5919	3.5845	0.0074	1	1.00000	0.0009	4.9346
230	3.5705	3.5087	0.0618	10	1.00000	0.062	4.9302
1000	3.3859	1.93	1.4559	800	1.00067	31.8	4.8348

Термодинамические параметры зоны ММТ для серии 216 от 23 марта 2006 г.: температуры in situ $T(Z)$ и максимальной плотности $T_{md}(Z)$, их разности $T(Z) - T_{md}(Z)$, коэффициенты термического расширения α , параметры адиабаты $\kappa = c_p / c_v$, где c_p и c_v – удельные теплоёмкости при постоянном давлении p и объёме v , адиабатические устойчивости E_{ad} и адиабатические сжимаемости χ_{ad} . Температура меняется менее чем на $0,035^\circ\text{C}$, а коэффициент адиабатической сжимаемости изменяется только в третьем знаке: $\chi_{ad} = -\Gamma\alpha + (\partial\rho/\partial p)/\rho$, где p – давление.

Рассмотренные свойства ММТ показывают, что ММТ имеет климатическую зависимость, его характеристики дают высокую пространственно-временную изменчивость и для их анализа нужны не разовые, а обеспеченные статистикой данные.

Работа поддержана РФФИ, грант № 08-05-00395; Президиумом СО РАН, проект VII.62.1.

Литература:

1. *Верещагин Г.Ю.* Некоторые данные о режиме глубинных вод Байкала в районе Маритуя. Тр. Комиссии по изучению оз. Байкал. 1927. Т.2. С. 77-138.
2. *Верещагин Г.Ю.* Основные черты вертикального распределения динамики водных масс на Байкале. В сб.: Академику В.И. Вернадскому к 50-летию научной и педагогической деятельности. М.: Изд-во АН СССР, 1936. С. 1207–1230.
3. *Шерстянкин П.П., Г.П. Коханенко, В.Г. Иванов, Л.Н. Куимова.* Оптико-термические фронты подо льдом оз. Байкал и их связь с обновлением придонных вод. Оптика атмосферы и океана, 22(3), 2009. С. 215-221.
4. *Шерстянкин П.П., Куимова Л.Н.* Вертикальная устойчивость и частота Вьясяля-Брента глубоких природных вод на примере озёр Байкал, Танганьики и Мирового океана. Докл. РАН. 2009, т.429, № 5, С. 673-678.
5. *Бочаров О.Б., академик О.Ф. Васильев, Т.Э. Овчинникова.* О влиянии сжимаемости воды на развитие естественной термогравитационной конвекции в прибрежной зоне глубокого озера в весенне-летний период. Доклады АН, т. 366(1), С. 111-115.
6. *Шимараев М.Н., Гранин Н.Г., Куимова Л.Н.* Опыт реконструкции гидрофизических условий в Байкале в плейстоцене и голоцене. Геология и геофизика. 1995. Т. 36(8). С. 97-102.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД НА ГАРЯХ СЕВЕРНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ

Шестеркина Н.М., Шестеркина В.П., Форина Ю.А.,
Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, shesterkin@ivep.as.khb.ru

MULTIYEAR DYNAMICS OF RIVER WATER CHEMICAL COMPOSITION IN BURNT AREAS OF THE SIKHOTE-ALIN

Shesterkina N.M., Shesterkin V.P., Forina Y.A.,
Khabarovsk, IWEP FEB RAS, shesterkin@ivep.as.khb.ru

Рассмотрено влияние пирогенного фактора на формирование химического состава речных вод Северного Сихотэ-Алиня в многолетнем аспекте (1999-2009 гг.). Основное влияние уделено биогенным веществам, повышенные количества которых активизируют «цветение» воды в водотоках более высокого порядка.

Based on long-term observations (1999-2009) the pyrogenic factor impact on the formation of river water chemical composition in the northern Sikhote-Alin is discussed with the focus on biogenic substances, which increased concentrations activate water bloom in streams of a higher order.

Лесные пожары возникают в Приамурье ежегодно, причем один раз в 22 года, охватывают огромную территорию. Наибольшая площадь гарей (1720 тыс. га) появилась на северном Сихотэ-Алине в 1998 г. и оказала большое влияние на все компоненты гидросферы, в том числе и химический состав водотоков. Влияние пирогенного фактора на качество речных вод изучалось в 1999-2009 гг. на территории Нанайского лесхоза, где площадь гарей в 1998 г. увеличилась на 165 тыс. га.

Пробы воды отбирались на малых реках в верхнем течении р. Анюй (бассейн р. Амур), водосборы которых были в различной степени пройдены верховыми (участок I) и валежными (участок II) пожарами, не пострадали от огня (фоновый участок).

Верховые пожары обуславливают сгорание подлеска и обугливание древесных стволов, а валежные, возникающие на старых гарях и неочищенных лесосеках, выгорание растительного покрова до грунта. Первые вызывают появление гарей с большим количеством обугленной древесины, а вторые – зольных веществ. Несмотря на постепенное промывание обугленных остатков и золы атмосферными осадками, их влияние на химический состав речных вод проявлялось в течение всего наблюдаемого периода. Содержание главных ионов в воде рек I участка сравнимо с содержанием в реках фонового участка. К 2009 г. среднегодовая концентрация Ca^{2+} снизилась в 1,3 раза, а SO_4^{2-} возросла в 1,5 раза по сравнению с 1999 г. Такая динамика содержания литогенных ионов обусловлена длительным выщелачиванием зольных веществ и аккумуляцией продуктов горения (SO_2), поступающих в бассейн Анюя из других охваченных пожарами районов [2,4].

Вода исследованных рек отличается высоким содержанием нитратного азота, среднегодовая концентрация которого на 11 пост-пожарный многоводный год составила 0,52 мгN/дм³, что по сравнению с третьим и четвертым пост-пожарными годами ниже в 2,6 раза (рис.). Максимальная концентрация нитратного азота наблюдалась в ноябре 2003 г. (1,76 мгN/дм³). Такое высокое содержание может быть обусловлено атмосферным переносом окислов азота из других охваченных огнем районов и, вероятно, последующей сорбцией обугленными растительными остатками. Данное предположение основано на высоком содержании нитратного азота в воде исследуемых рек по сравнению с реками фоновых участков (в 2,9 раза) и восточных склонов Сихотэ-Алиня (в 12 раз).

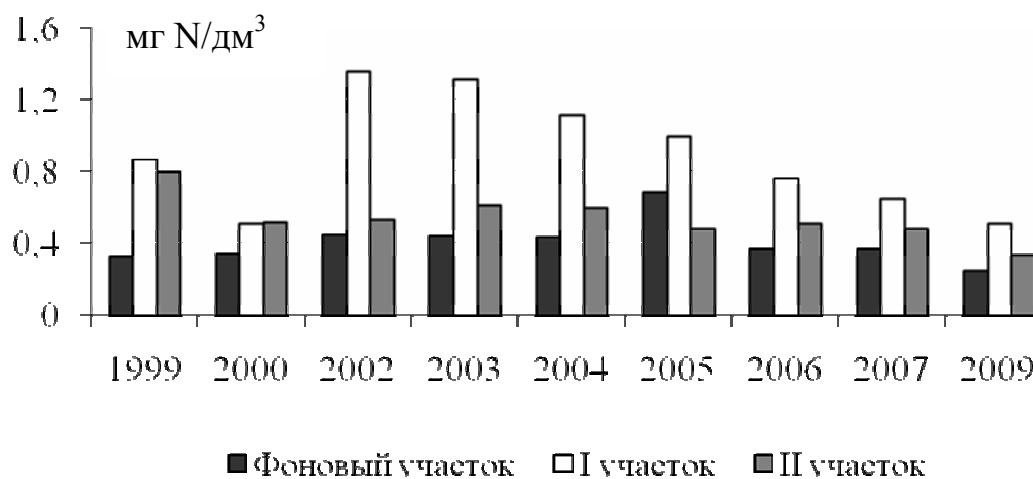


Рисунок. Динамика содержания нитратного азота в воде рек бассейна Анюй

В сезонном отношении максимальное содержание наблюдается в октябре-ноябре, когда водотоки переходят на подземное питание [2].

Средняя годовая концентрация фосфатных ионов в воде рек I участка не превышает их содержания в реках фоновых участков. Отсутствуют большие изменения и в динамике этих веществ в многолетнем аспекте.

Реки II участка характеризуется более высоким, чем I, содержанием растворенных веществ. В 2009 г. по содержанию Ca^{2+} различались в 2 раза, HCO_3^- - 1,8 раза, SO_4^{2-} - 1,4 раза. Наибольшая минерализация воды составила 67,5 мг/дм³, а среднегодовая - 60,2 мг/дм³. Максимальная за все годы наблюдений минерализация воды была в июле 2003 г. (77,1 мг/дм³).

Такое содержание растворенных веществ является максимальным для речных вод Сихотэ-Алиня. Наблюдается определенная трансформация химического состава воды этих рек и в многолетнем аспекте. По сравнению с первым пост пожарным годом среднегодовое содержание ионов кальция в воде этих рек на 11 год понизилась в 1,1 раза, а сульфатных ионов возросло в 1,6 раза. Среднегодовая концентрация нитратного азота уменьшилась в 2,2 раза.

Повышенное содержание гидрокарбонатов натрия, кальция и магния в воде этих рек, по сравнению фоновыми водотоками, сдвигает значение pH в слабощелочную сторону. При отсутствии поверхностного стока, обеспечивающего поступление гумусовых кислот из почв и лесной подстилки, воды фоновых участков имеют также слабощелочную реакцию, но меньшие значения pH. Можно говорить о том, что за длительный период различия в величинах pH между водотоками становятся менее выраженными, так как все водотоки в период летней межени переходят на грунтовое питание.

Содержание фосфатов в воде рек, водосборы которых были пройдены валежными пожарами, в течение всех 11 лет наблюдений не опускалось ниже 0,04 мг/дм³. Выраженной сезонной динамики не отмечалось.

Исследование содержания подвижных форм фосфора в почвах гарей и подобных естественных аналогах р. Анюй показали однотипный характер распределения подвижных форм фосфора по профилю буроземных почв, как горевших участков с пихтово-еловыми и елово-лиственничными лесами, так и фоновых со смешанными елово-пихтовыми лесами [3]. Содержание их на 100 г сухого вещества, составляя первые десятки мг фосфора в верхних органогенных горизонтах, понижается на порядок в гумусированных минеральных горизонтах и резко на два порядка снижается в иллювиальных гумусо-железистых горизонтах. Это говорит о том, что в почвах буроземного типа развитых на кислых породах, фосфор биогенно аккумулируется в поверхностных горизонтах

(подстилке и дерновом), где по мере минерализации органики он переходит в растворимые минеральные формы (фосфаты железа и алюминия, щелочных и щелочноземельных металлов).

Таким образом, основным путем обогащения водных потоков растворимыми формами фосфора вследствие пожаров является их вымывание из золы и обуглившейся подстилki с поверхностным стоком (при весеннем снеготаянии и муссонных осадках). В бассейне р. Анюй максимальные количества фосфатов в сезонном отношении отмечались во время осенних дождей после длительного засушливого периода.

Поскольку в органогенных горизонтах и обугленной подстилке значительные количества фосфора содержатся в составе различных органических соединений, то пока не возобновятся естественные биогеохимические потоки, он будет в значительной степени вовлекаться в геологический круговорот со стоком в реки бассейна. Интенсивность этого стока будет постепенно понижаться и придет к минимуму при восстановлении растительного покрова, истощении источников (зола) и вовлечении фосфора в биологический круговорот. Сколько для этого восстановления потребуется времени, будет определяться совокупностью всех перечисленных выше факторов на конкретном водосборе.

Появление на большой площади водосбора р. Анюй (площадь водосбора 12 700 км²) гарей оказало существенное влияние на химический состав воды реки. Если до пожара в 1997-1998 гг., среднегодовая концентрация нитратного азота составляла 0,24 мгN/мд³, то после пожара в 1999 г. 0,32 мгN/дм³. Повышенные концентрации сохранялись в последующие годы: в 2002 – 0,36 мгN/дм³; 2003 – 0,53 мгN/дм³.

Предварительные расчеты показывают, что в результате пожаров 1998 г. в первый пост пожарный год с квадратного километра гарей дополнительно поступило 240 кг нитратного азота и 15,5 кг фосфатов. На второй год поступление снизилось до 170 кг и 5 кг соответственно[4].

Такое дополнительное поступление биогенных веществ с гарей повлияет на сток биогенных веществ в горных реках Сихотэ-Алиня. Учитывая огромнейшие размеры пожаров 1998 г., можно говорить о значительном выносе биогенных веществ с пройденных пожарами водосборов в экосистему Амура.

Таким образом, в воде рек, дренирующих пирогенно измененные верховыми повальными пожарами водосборы, отмечается высокое содержание нитратного азота, а для дренирующих гарей, образованные валежными пожарами, - повышенная концентрация главных ионов и соответственно величина минерализации. Динамика стока компонентов химического состава воды таежных рек свидетельствует о длительном выносе растворенных веществ с водосбора, огромном влиянии на качество этих вод атмосферного переноса продуктов горения, в первую очередь соединений азота и серы.

Работа сделана при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-05-00182.

Литература

1. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние крупных лесных пожаров на гидрохимический режим таежных рек Приамурья // География и природные ресурсы. 2002. № 2. с. 47-52
2. Шестеркина Н.М., Шестеркин В.П. Влияние пожаров на гидрохимический режим таежных Приамурья / Экологическое состояние водных объектов. Качество вод и научные основы их охраны // VI Всероссийский гидрологический съезд. СПб: Гидрометеиздат. 2004. с. 126-128.
3. Шестеркин В.П., Матрошилов Ю.А., Шестеркина Н.М. Влияние крупных лесных пожаров на химический состав почв и вод Приамурья // Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования. Чита: кн. изд-во. 2001. С. 149-150.
4. Шестеркина Н.М., В.П. Шестеркин, Ю. А. Форина. Гидрохимический мониторинг на реках Северного Сихотэ-Алиня // Результаты охраны и изучения природных комплексов Сихотэ-Алиня. Владивосток. 2005. С. 351-354.

ТРАНСГРАНИЧНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АМУРА

Шестеркина В.П., Шестеркина Н.М.,
Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, shesterkin@ivep.as.khb.ru

TRANSBOUNDARY POLLUTION OF THE AMUR RIVER

Shesterkin V.P., Shesterkina N.M.,
Khabarovsk, IWEP FEB RAS

На основе многолетних исследований (2000-2010 гг.) рассмотрено влияние р. Сунгари на качество воды р. Среднего Амур. Показано загрязнение его вод аммонийным и нитратным азотом в зимнюю межень и дождевые паводки.

The Sungari impact on the Middle Amur water quality is described based on long-term studies (2000-2010). Water contamination with ammonia and nitrate nitrogen during winter low water and rain floods is shown.

Бассейн Амура относится к международным речным бассейнам: 1103 тыс. км² находится на территории России, 677 тыс. км² – Китая и 74,2 км² – Монголии. Река Сунгари – крупный приток Амура, химический состав воды которого формируется в провинциях Цилинь и Хэйлунцзян, автономном округе Внутренняя Монголия, в которых проживает около 90 млн. человек. Длина реки – 1865 км, площадь водосбора – 540 тыс. км².

Начиная с 1996 г. р. Сунгари вызвала внимание в связи с появлением зимой в амурской воде «химического» запаха [2]. Большой резонанс проблема качества воды этой реки получила после аварии на химическом комбинате в г. Цилинь в ноябре 2005 г., в результате которой в Сунгари поступило около 100 т загрязнителей (нитробензол, бензола и др.).

Исследования у с. Нижнеленинское в 2000-2010 гг., в 20 км ниже устья р. Сунгари, позволили оценить влияние ее вод на качество воды р. Амур.

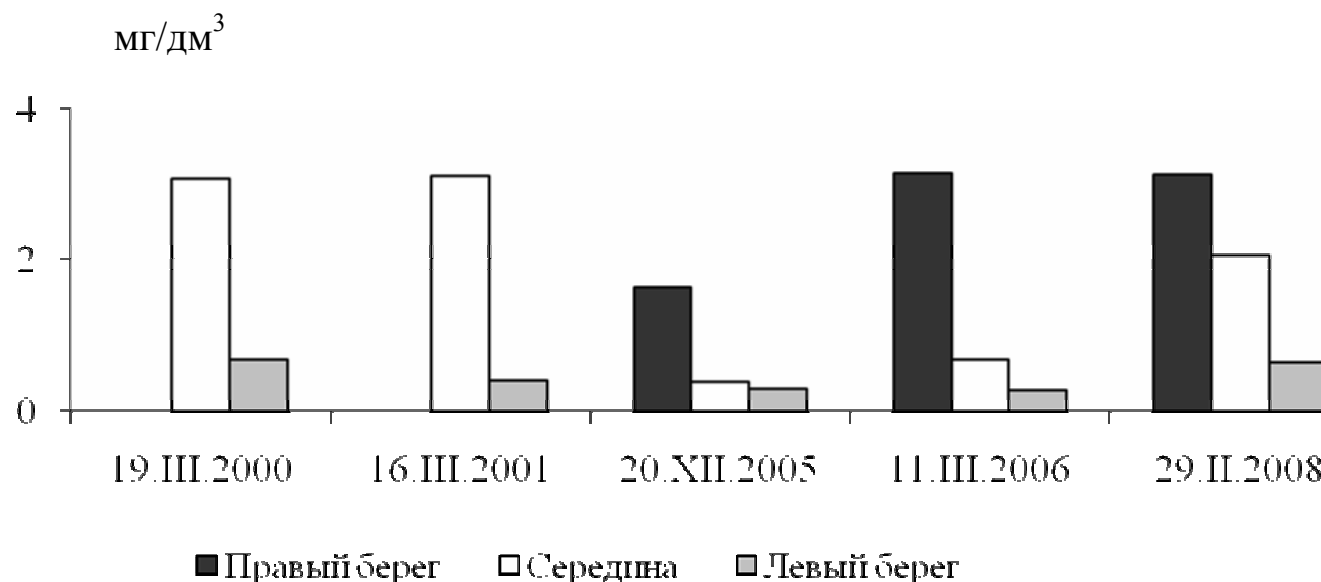


Рисунок 1. Динамика содержания NH_4^+ по ширине Амура у с. Нижнеленинское в зимнюю межень

Первые сведения о качестве амурской воды от российского берега до фарватера были получены в зимнюю межень 2000-2002 гг. Исследования на фарватере свидетельствовали о дефиците кислорода в воде, загрязнении аммонийным (6,2 ПДК) и нитритным (1,5 ПДК) азотом [2, 3]. В российской части Амура содержание указанных выше веществ было в норме (рис. 1).

Подобное распределение содержания растворенных веществ по ширине Амура было и в период российско-китайского мониторинга в декабре 2005 г., вызванного аварией в г. Цзилинь. В китайской части реки минерализация воды была в 3,8 раза выше, чем в российской. Среди главных ионов наибольшие различия наблюдались в содержании Cl^- и SO_4^{2-} .

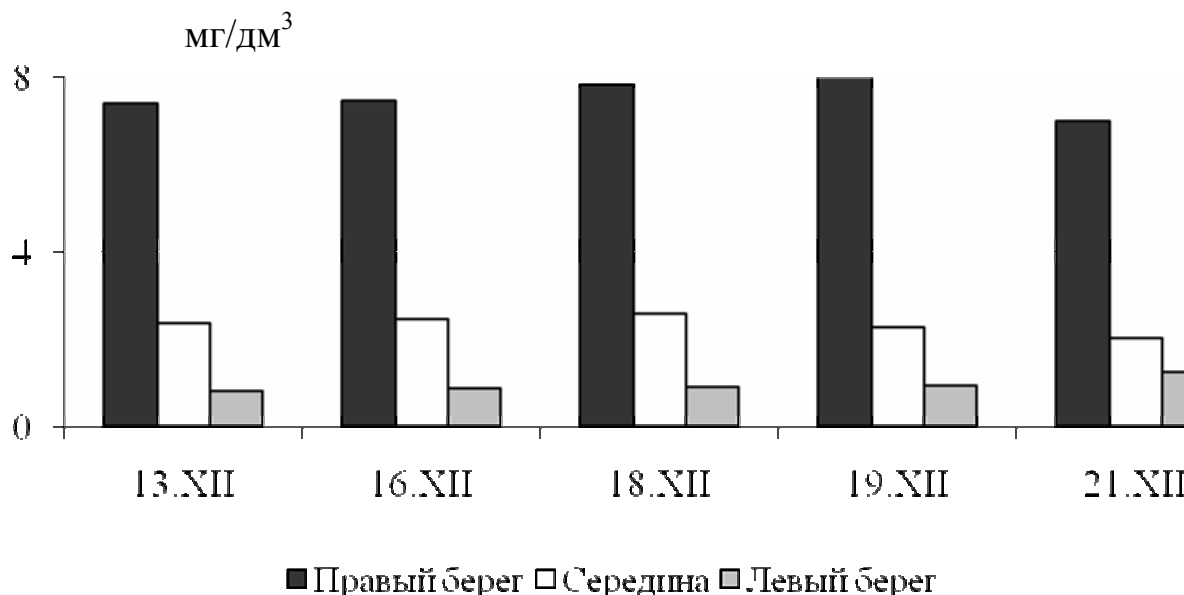


Рисунок 2. Динамика содержания NO_3^- в воде по ширине Амура у с. Нижнеленинское в декабре 2005 г.

Неоднородно распределялись по поперечному сечению реки соединения азота. Концентрация NO_3^- у российского берега изменялась в пределах 0,58-1,02 мг/дм³, а у китайского – 6,60-8,46 мг/дм³ (рис. 2). Такое высокое содержание этого вещества в амурской воде было отмечено впервые, при этом максимальные концентрации NO_3^- и нитробензола (0,209 мг/дм³) были зафиксированы в китайской части Амура 18 декабря. В левобережной части Амура нитробензол в воде отсутствовал [1].

В больших пределах изменялись концентрации NH_4^+ : 0,21-0,48 мг/дм³ у российского и 1,40-1,88 мг/дм³ у китайского берега. Наибольшее загрязнение аммонийным азотом отмечалось при максимальном содержании в воде нитробензола.

Наблюдения в марте 2006 г. свидетельствовали о высоком загрязнении вод Амура аммонийным (до 6,0 ПДК) и нитритным (до 2,5 ПДК) азотом. В китайской части реки, по сравнению с российской, минерализация воды была выше в 5,4 раза, концентрация NH_4^+ – в 10 раз, NO_3^- – 100 раз, NO_2^- – 5 раз, HPO_4^{2-} – 7 раз.

В феврале 2008 г. содержание аммонийного азота в китайской части реки достигало 6,9 ПДК, что свидетельствует о хроническом загрязнении р. Амур аммонийным азотом.

Ниже слияния рек Сунгари и Амур различия в содержании растворенных веществ по ширине Амура постепенно сглаживаются. Тем не менее концентрации аммонийного и нитритного азота в амурской воде в районе г. Фуюань и с. Нижнеспасское остаются выше значений ПДК. Наибольшая концентрация этих веществ, также как и на расположенных выше участках, наблюдается в китайской части Амура. Ниже Хабаровска содержание загрязняющих веществ в амурской воде

снижается вследствие разбавления водами рек Уссури, Тунгуска, Анюй и др.

Помимо зимней межени трансграничное загрязнение Амура отчетливо проявляется и в остальные фазы водного режима.

Во время весеннего половодья максимальная концентрация главных ионов, фосфатов и нитратного азота постоянно фиксируется у китайского берега. Содержание Cl^- и SO_4^{2-} в мае 2006 г. у китайского берега по сравнению с российским было выше в 8,1 и 2,7 раза соответственно, а нитратного и нитритного азота - 9,5 раз.

Резкие различия в распределении веществ по ширине Амура наблюдались и в последующие годы. В мае 2009 г. в китайской части реки концентрация NO_3^- составляла 2,1 мг/дм³, а в российской была ниже предела обнаружения. Различались и значения pH (8,15 и 7,10 соответственно).

Более высокие концентрации NO_3^- (до 5,23 мг/дм³) и нитритного азота (4,2 ПДК) отмечались в китайской части Амура в очень мутной от глинистых частиц воде (500 ЕМФ) в мае 2010 г. Такие особенности химического состава воды р. Сунгари были обусловлены затоплением сельскохозяйственных угодий и выносом минеральных удобрений.

Значительное количество биогенных веществ поступает в Амур с дождевыми паводками, сформированными в бассейне р. Сунгари. Во время катастрофического наводнения 1998 г., когда под водой оказались населенные пункты, поля и рисовые чеки провинции Хэйлунцзян, в Амур поступило такое большое количество растворенных веществ, которое не отмечалось за все годы наблюдений [4]. В сентябре на пике паводка при уровне воды у Хабаровска 526 см минерализация воды достигала 85 мг/дм³, а ионный сток - 228,6 тыс. т в сутки. Аномально высокой для Амура была минерализация воды на спаде паводка и в начале ледостава (149 и 185 мг/дм³ соответственно).

Наряду с минеральными веществами повышались концентрации нитратных и фосфатных ионов. Максимальные значения (4,74 и 0,255 мг/дм³) были зафиксированы на пике паводка на фарватере Амура в 100 км ниже устья р. Сунгари. Максимальный сток этих веществ у г. Хабаровска достигал 9500 и 215 т в сутки соответственно.

Крупный паводок, сформированный в бассейне р. Сунгари в 2009 г., вызвал значительное увеличение содержания растворенных веществ в китайской части Амура по сравнению с российской (табл.). Наибольшая неоднородность в распределении отмечалась для антропогенно составляющих химического состава: Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} и NO_3^- . На пике паводка было самое высокое содержание нитратного азота, а соответственно и его сток (1473 т в сутки). Сделано предположение о значительном стоке нитратного азота за период этого паводка (>60 тыс. т).

Таблица

Химический состав воды р. Амур у с. Нижнеленинское в июле 2009 г., мг/дм³

Место отбора	Na^+	Ca^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	Минерализация
Левый берег	2,5	7,3	29,0	0,8	9,1	0,09	0,54	52,4
Середина	6,1	10,5	36,2	5,2	23,0	3,91	0,22	91,4
Правый берег	8,7	12,1	37,5	6,0	26,5	4,83	0,13	102,6

Таким образом, трансграничное загрязнение вод Амура проявляется в китайской части реки ниже впадения р. Сунгари во все фазы водного режима. В зимнюю межень вода загрязнена аммонийным и нитритным азотом, в половодье – нитритным азотом. Во все фазы водного режима, кроме летней межени, вода характеризуется повышенным содержанием нитратного азота. Высокая насыщенность бассейна р. Сунгари предприятиями и активное использование

минеральных удобрений на сельскохозяйственных угодьях создает постоянный риск загрязнения вод Амура биогенными веществами.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ДВО РАН № 09-III-A-09-494 и РФФИ № 10-05-00227.

Литература

1. Бердников Н.В., Рапопорт В.Л., Рыбас О.В., Пелых Т.И., Золотухина Г.Ф., Зазулина В.Е. Мониторинг загрязнения экосистемы р. Амур в результате аварии на химическом заводе в г. Цзилинь (КНР): нитробензол // Тихоокеанская геология. Т. 25. № 5. 2006. С. 94-103.
2. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Роль р. Сунгари в формировании химического состава воды Среднего Амура в зимнюю межень // Биогеохимические и гидроэкологические оценки наземных и пресноводных экосистем. Вып. 13. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 106-120.
3. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Фокина Ю.А., Ри Т.Д. Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005-2006 гг. // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 40-44.
4. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды р. Сунгари // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология 2009. № 1, с. 50-53.

ЭКОАНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ Р. ОБЬ

А.Н. Эйрих, Т.С. Папина
ИВЭП СО РАН г. Барнаул, alnik@iwep.asu.ru

THE ECOANALYTICAL CONTROL OF HEAVY METALS IN OB RIVER

Eyrikh A.N., Papina T.S.,
IWEP SB RAS, Barnaul, alnik@iwep.asu.ru

Изучено распределение микроэлементов в р. Обь и выявлены факторы, влияющие на их изменения. Предложены методические рекомендации по отбору и хранению проб поровой воды. Установлено, что изменение окислительно-восстановительных условий влияют на содержание микроэлементов в поровой воде.

Trace elements distribution in Ob River is studied and the factors influencing their change are revealed. Methodical recommendations on sampling and storage of pore water samples are given. It is found, that the variation of oxidation-reduction conditions influences the trace elements content in pore water.

При экологических исследованиях речных экосистем важным аспектом является изучение содержания растворенных (РФ) и взвешенных (ВФ) форм микроэлементов в воде, а также процессы накопления металлов в верхних слоях донных отложений.

Экоаналитический контроль любых водных объектов включает в себя следующие последовательные стадии: отбор пробы, консервацию, пробоподготовку, инструментальный анализ, а также интерпретацию полученных результатов [1]. Общие принципы отбора проб сводятся к следующим положениям.

1. Отобранная проба должна быть репрезентативной, т.е. типичной для всего исследуемого объекта.
2. Отбор пробы, хранение, транспортировка и работа с ней должны проводиться так, чтобы не произошло изменений в содержании определяемых компонентов или в свойствах воды в течение времени, отделяющего момент отбора пробы от ее анализа.
3. Выбор способа консервирования пробы и ее объем должны производиться с учетом используемого метода лабораторного анализа.
4. Все условия отбора пробы должны четко документироваться.

Результаты многих исследований показывают, что стадия лабораторного анализа водной пробы, как правило, характеризуется меньшей погрешностью, чем стадии отбора пробы, ее консервации и хранения. Ошибки, допущенные на начальных стадиях контроля не исправляются последующими стадиями, а только суммируются при переходе от предыдущей стадии к последующим [1].

При экоаналитическом контроле водных объектов необходимо уделять большое внимание вопросам отбора репрезентативной (представительной) пробы и интерпретации полученных результатов. Получение репрезентативной пробы на крупных водотоках представляет серьезную проблему. Для крупных равнинных рек вследствие разности скоростей течения и силы гравитации содержание микроэлементов в воде в створах сечения достигает размах варьирования в десятки раз. В связи с этим, возникает трудность при оценке средней концентрации микроэлементов в точке отбора [1, 2, 3].

Для изучения содержания микроэлементов (As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) в воде и дон-

ных отложениях была выбрана схема контрольных точек наблюдения на участке р. Обь в районе г. Барнаула. Последовательность работ на выбранных контрольных точках наблюдения состояла в следующем: сначала проводили отбор проб воды и взвешенного вещества, затем осуществляли отбор верхнего ненарушенного 10-ти сантиметрового слоя донных отложений в 3 – 5 метрах друг от друга. На месте отбора проб проводили измерение температуры, pH и Eh воды (поверхностной и поровой воды донных отложений), все последующие определения и исследования проводили в лабораторных условиях согласно существующим методикам [4, 5]. Сразу после доставки в лабораторию пробы воды фильтровали под давлением аргона через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, и отдельно анализировали фильтрат и взвешенное вещество. Пробы донных отложений помещали в предварительно подготовленную посуду из полиэтилена высокого давления (очищенные 1М соляной кислотой и промытые дистиллированной водой). В лаборатории проводили отделение поровой воды от твердой составляющей донных отложений. Для определения растворенных форм тяжелых металлов пробы поровой воды фильтровали через мембранные ядерные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм.

Концентрации тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии с использованием пламенного варианта атомизации (ацетилен - воздух) и электротермической атомизации (ЭТА) на приборе SOLAAR M-6, для градуировки прибора использовали стандартные растворы ГСО определяемого элемента. Контроль правильности определений микроэлементов проводили с помощью метода добавок и образцов сравнения stream sediment NCS DC 73307.

Методическая сложность работы состояла не только в отборе репрезентативной пробы воды, но и отборе поровой воды из донных отложений и сохранении ее в первоначальном состоянии. При отборе проб донных отложений происходит ее окисление на воздухе за считанные минуты (в плотно закрывающихся сосудах за считанные часы). С целью устранения перераспределения микроэлементов между донными отложениями и поровым раствором, пробы донных отложений помещали в посуду, заполненную инертным газом (аргон), и все процедуры по отделению поровой воды от твердой составляющей донных отложений проводили в инертной атмосфере. Изменения концентраций микроэлементов в поровой воде донных отложений в зависимости от условий хранения проб: с аргоном и без него показаны на рисунке 1.

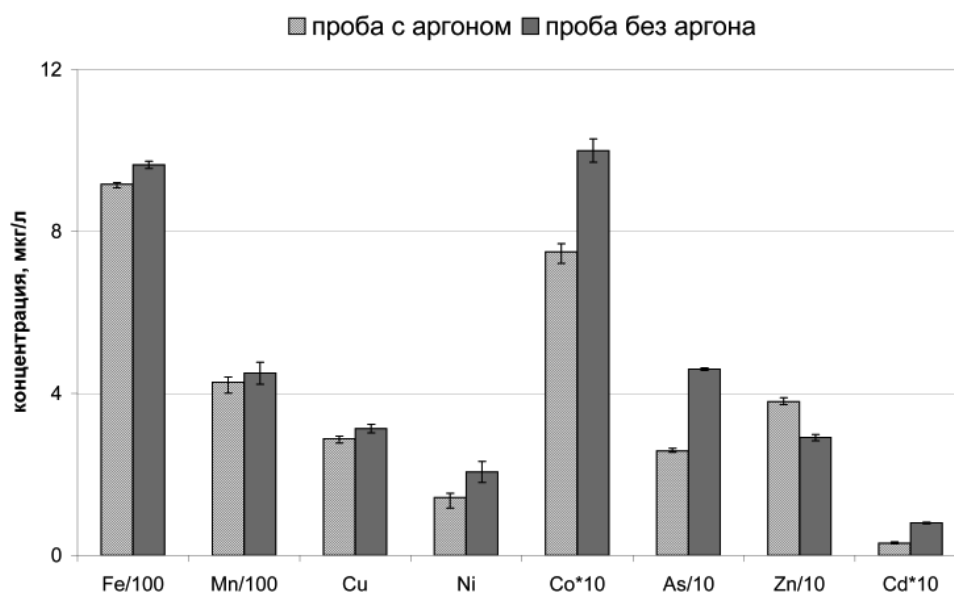


Рисунок 1. Изменение концентраций микроэлементов в поровой воде в зависимости от условий хранения пробы донных отложений

В пробах поровой воды, помещенных в посуду заполненную аргоном, отмечены более низкие концентрации микроэлементов, чем в пробах без аргона. Увеличение концентраций микроэлементов в пробах поровой воды донных отложений связано с окислением пробы кислородом воздуха.

Для оценки качества водных экосистем необходимо учитывать характер распределения концентраций загрязняющих веществ в водном потоке. Так, в поверхностных и придонных слоях водоемов концентрации элементов могут значительно отличаться и для растворенных, и, особенно, для взвешенных форм. Для получения представительной пробы в каждой точке отбора был проведен отбор проб воды в трех сегментах створа (0,2h; 0,6h; 0,8h). Распределение металлов по вертикальной составляющей реки показывает значительную неравномерность. Рисунок 2 иллюстрирует неравномерность распределения растворенных и взвешенных форм металлов в одном из створов на примере марганца.

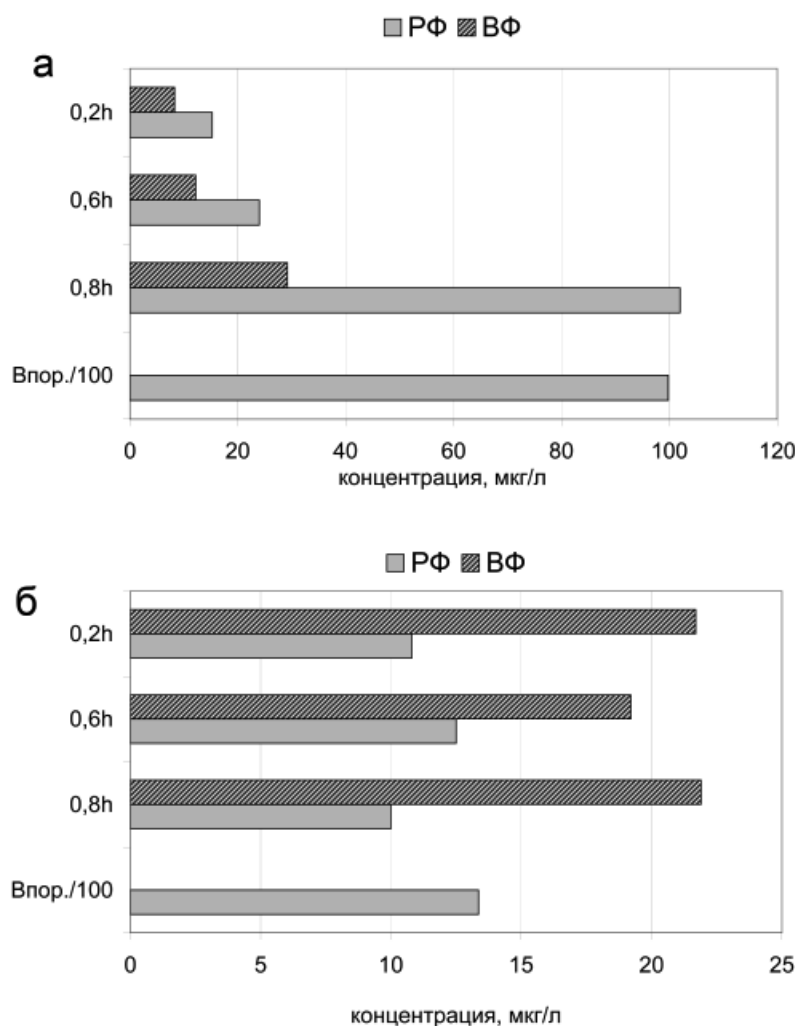


Рисунок 2. Распределение растворенных и взвешенных форм Mn в поверхностной (0,2h; 0,6h 0,8h) и поровой воде ($B_{пор}$) р. Обь во 2 точке отбора (район г. Барнаула у ж/д моста):

а - $B_{пор}$ донных отложений у левого берега (восстановительные условия $Eh = -279$ mV);

б - поровая воды ($B_{пор.}$) донных отложений с окислительными условиями ($Eh = +144$ mV).

Разность концентраций растворенных форм металлов в поверхностной воде в одной и той же точке отбора обычно составляет 1,5-3 раза, но иногда достигает более высоких значений. Напри-

мер, в точке отбора 2.1 (р. Обь в районе г. Барнаула у ж/д моста) концентрация растворенных форм марганца в воде 0,2h отличается в 7 раз от концентрации в воде 0,8h. Такая ситуация наблюдалась в точках отбора, где в донных отложениях отмечены восстановительные условия. На разность концентраций марганца в поверхностной и придонной воде оказывают влияния окислительно-восстановительные условия донных отложений. В точке отбора 2.1 (левый берег) в поровой воде донных отложений определены восстановительные условия ($E_h = -279 \text{ mV}$). Достаточно равномерное распределение растворенных форм марганца в воде отмечено в точке 2.3 (правый берег) с окислительными условиями ($E_h = +144 \text{ mV}$) в поровой воде.

Так как основная часть металлов в реках транспортируется на взвешенном веществе, то наряду с исследованием распределения растворенных форм металлов нами проводилось изучение и взвешенных форм. Концентрации взвешенных форм металлов в различных сегментах створа могут отличаться в 10 раз и более.

На рисунке 2 представлено распределение взвешенных форм марганца во второй точке отбора (р. Обь в районе г. Барнаула у ж/д моста) в летний период 2009 г. В точке отбора 2.1 (левый берег) концентрация ВФ марганца увеличивается от поверхности ко дну, достигая размах варьирования от 8,3 мкг/л до 29,3 мкг/л. Разность концентраций растворенных и взвешенных форм марганца в различных сегментах створа может достигать до 7 раз для растворенных форм и до 3,5 раз для взвешенных форм. Из рисунка 2 видно, что во втором створе р. Обь концентрации ВФ марганца отличаются, вследствие разности скоростей течения и силы гравитации. Аналогичные картины неравномерного распределения были получены для растворенных и взвешенных форм металлов (Fe, Zn). При этом растворенные формы других определяемых металлов были распределены по створу сравнительно равномерно (максимальная разница концентраций не превышала 1,5-3 раза). За исключением концентраций микроэлементов в поровой воде донных отложений, где превышение составляли более 100 раз.

Таким образом, для устранения изменений в содержании определяемых компонентов при хранении проб поровой воды предложено использовать аргон и все процедуры по отделению поровой воды от донных отложений проводить также в инертной атмосфере.

Изучение распределения растворенных и взвешенных форм микроэлементов по вертикальной составляющей реки показывает значительную неравномерность в точках отбора, где в донных отложениях отмечены восстановительные условия. На разность концентраций микроэлементов в поверхностной и придонной воде оказывают влияние окислительно-восстановительные условия донных отложений.

Литература

1. Папина Т.С. Отбор проб, как важная составляющая экоаналитического контроля речных экосистем. Экологическая химия. 2004. №4, с. 229-235.
2. Эйрих А.Н., Эйрих С.С., Папина Т.С., Серых Т.Г. Факторы, влияющие на качество аналитических данных, при мониторинге природных вод. Проблемы региональной экологии, № 6, 2008, с. 113-117
3. Эйрих А.Н., Эйрих С.С., Папина Т.С., Серых Т.Г., Третьякова Е.И. Проблемы экоаналитического контроля крупных рек (на примере р. Обь). Ползуновский вестник 1-2, 2008, с.157-160
4. ПНД Ф 14.1:2.4.139-98, количественный химический анализ вод, Москва 1998 г. (издание 2004 г.)
5. ПНД Ф 14.1:2.4.140-98, количественный химический анализ вод, Москва 1998 г.

НОВОСИБИРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ: МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ*Шлычков В.А.**Новосибирск, ИВЭП СО РАН, slav@ad-sbras.nsc.ru***NOVOSIBIRSK RESERVOIR: MODELS AND METHODS FOR THE SOLUTION OF HYDROLOGICAL AND ECOLOGICAL PROBLEMS***Shlychkov V.A.,**Novosibirsk. IWEP SB RAS, slav@ad-sbras.nsc.ru*

Рассматриваются методологические проблемы разработки численных моделей для описания течений и переноса субстанции в Новосибирском водохранилище. Представлены результаты расчетов по плановой и продольно-вертикальной моделям.

Methodological problems of the development of numerical models for the description of currents and transfer of a substance in Novosibirsk reservoir are considered. Results of calculations by plain and vertical models are submitted.

Современные подходы к обеспечению устойчивого функционирования гидротехнических сооружений предполагают широкое использование математических моделей водных объектов для целей мониторинга и расчета режимов течения. Между тем, надежной гидродинамической модели Новосибирского водохранилища с возможностью детализации пространственной структуры потока до настоящего времени не создано.

Течения в природных водотоках в общем случае описываются трехмерными нестационарными уравнениями механики жидкости, замыкаемыми с помощью тех или иных допущений и эмпирических зависимостей. Решение такой системы представляет серьезные математические и алгоритмические трудности и в практических целях применяется редко – как пример приведем задачу воспроизведения когерентных структур, возникающих в условиях потери гидростатической устойчивости поверхностного слоя [1]. Другой проблемой являются чрезвычайно высокие требования, предъявляемые к компьютерным ресурсам. Ресурсозатратность модели снижается до приемлемой, если ввести упрощения, позволяющие редуцировать задачу к более простой, имеющей меньшую размерность по пространству. Так, с помощью процедуры осреднения уравнений по глубине потока могут быть получены двумерные (плановые) уравнения Сен-Венана для описания неустановившихся течений в руслах [2]. Осреднение в поперечном к потоку направлении приводит к другому варианту 2D-модели - продольно-вертикальному, который позволяет изучить вопросы турбулентного перемешивания в плоскости динамической оси.

Наконец, одномерные продольные модели предполагают осреднение по всему поперечному сечению потока. Поскольку течение в русле простой геометрии направлено вдоль динамической оси, допущение об одномерности течения часто используется при исследовании распространения длинных волн в речной системе.

Комплексная модель водного объекта должны быть оснащена алгоритмическими блоками разных уровней детализации при воспроизведении кинематической структуры потока. Вместе с тем, частные субмодели должны удовлетворять критерию взаимной согласованности, т.е. не давать противоречивых результатов при описании однотипных процессов (например, переноса взвешенных веществ) в рамках разноразмерных представлений. Так, согласно принципу, сформулированному в [3], результаты расчетов, полученных на основе двумерной плановой

модели должны быть не хуже результатов, полученных по одномерной продольной модели, хотя бы потому, что первая из названных полнее отражает исходные фундаментальные законы механики жидкости.

Основой конструктивных построений методов решения в численной модели служит интегральное тождество, которое ставится в соответствие исходной математической постановке. В расчетной области вводится криволинейная в общем случае сетка и для каждого элементарного бокса записывается соотношение баланса, вытекающее из метода контрольного объема. Исходя из принципа согласованности, интегральное тождество следует формулировать для дифференциальных уравнений в постановке минимальной общности, которая допускала бы прямой переход к моделям меньшей размерности путем алгебраического суммирования интегрального тождества по направлению осреднения. Вывод дискретных соотношений для двумерных плановой и продольно-вертикальной моделей необходимо проводить на базе конечнообъемной схемы, записанной для более общей трехмерной задачи. В свою очередь, продольная одномерная модель может быть получена из любого двумерного аналога осреднением в направлении однородности, причем итог осреднения будет единым и инвариантным (с точностью до малых величин, обусловленных некоммутативностью нелинейных операторов) при использовании планового или продольно-вертикального исходного представления.

В качестве примера приведем результат редукции уравнений двумерной численной модели, дискретизированной на криволинейной сетке, к одномерной модели русла с поворотом. С этой целью в уравнении для продольного расхода плановой модели были составлены интегральные суммы в предположении обращения в нуль поперечной скорости:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\delta u q}{\delta \xi} + g \omega \frac{\delta h}{\delta \xi} = \frac{1}{S} \left(b |u| q + \frac{1}{2} g h \omega \right) \mathbf{n} \cdot \Delta \mathbf{n},$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\delta q}{\delta \xi} = 0, \quad (1)$$

где $q = b u$ - расход воды, u - скорость течения, h, b, ω - глубина, ширина и площадь поперечного сечения потока, ξ - маршевая координата вдоль русла, оператор $\frac{\delta}{\delta \xi}$ означает конечно-разностное дифференцирование по пространственной координате, S - площадь элементарного сеточного бокса, $\mathbf{n}$ - единичная нормаль к поперечнику, $\Delta \mathbf{n}$ - вариация нормали при последовательном переходе от одного узла сетки к другому. Система (1) обобщает уравнения Сен-Венана на случай меандрирующего русла, а выражение, стоящее в правой части, характеризует влияние центробежных сил.

Перейдем к построению гидродинамической модели для Новосибирского водохранилища. Применение трехмерной модели для описания внутриводоемных процессов в Новосибирском водохранилище, по-видимому, не является оптимальным. Этот водный объект при длине около 180 км имеет сравнительно небольшую среднюю ширину 3,8 км, т.е. в большей своей части носит выраженный продольно-руслый характер без заметного меандрирования и широких пойменных заливов (за исключением Бердского залива в приплотинном сегменте водохранилища). В связи с этим ограничимся двумерными постановками и рассмотрим вначале модель течений на основе уравнений гидротермодинамики с поперечным к водотоку осреднением.

Определяющая система получена в соответствии с принципом согласованности и включает уравнения движения в гидростатическом приближении, уравнение неразрывности и соотношения для определения формы свободной поверхности. Расчет вертикального турбулентного обмена проводится на основе уравнения баланса кинетической энергии турбулентности и уравнения для скорости ее диссипации. Методы численного решения задачи основаны на применении неявных

алгоритмов с использованием консервативных схем, обеспечивающих сохранение вторых моментов [4]. Формирование профилей донного рельефа проводилось по результатам натурных съемок, проведенных ИВЭП СО РАН в 2009 г.

Для проведения расчетов рассмотрим участок водохранилища длиной 130 км, примыкающий к плотине ГЭС. Рис. 1а показывает расчетную геометрию свободной поверхности и установившееся распределение продольной скорости U (м/с) вдоль основного водотока. Вниз по течению ширина водного зеркала увеличивается, так что в приплотинной части размер поперечника достигает 20 км. По этой причине скорость течения падает, уменьшаясь от 0,8 м/с вблизи входного створа до 0,1 м/с на озерном участке водохранилища. На том же рисунке представлены вертикальные профили скорости. Рис. 1б иллюстрирует структуру вертикального коэффициента турбулентного обмена ($\text{см}^2/\text{с}$). Зона максимальной интенсивности турбулентного перемешивания располагается в средних слоях воды и уменьшается с приближением к донной и свободной поверхностям.

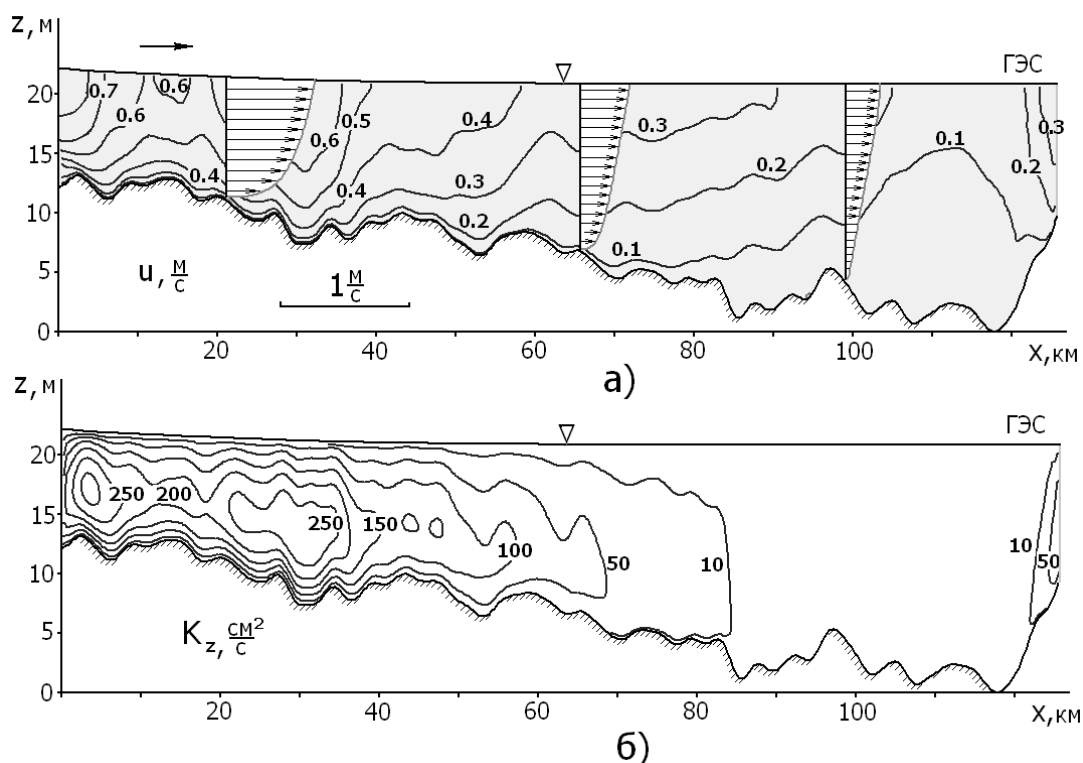


Рис.1. Продольно-вертикальная модель для Новосибирском водохранилища: а) продольная скорость (м/с); б) коэффициент вертикальной турбулентности ($\text{см}^2/\text{с}$). Стрелками показаны профили скорости на отдельных вертикалях.

Результаты расчета течений по плановой модели отразим в терминах проточности. Проточность водоема P характеризует быстроту обновления вод и в гидрологии определяется по формуле:

$$P = \int_0^T \frac{Q_s}{V_s} dt$$

где $Q_s(t)$ - суммарный расход на входном створе, V_s - полезный объем водохранилища, T - временной период (обычно один год). Проточность Новосибирского водохранилища по многолетним данным равна 6,7, т.е. годовой объем водного стока составляет 6,7 объемов чаши водохранилища. В водоохранной проблематике интерес представляет скорость водообмена в разных частях водохранилища (в том числе, на крупных мелководьях и в береговых зонах), т.е.

показатель локальной проточности. Обобщение показателя P проведем по формуле:

$$P = \int_0^T \frac{q_n}{v_s} dt$$

где $q_n(x, y, t)$ - пространственное распределение расходов по нормали к потоку. Рис.2 показывает распределение коэффициента проточности по акватории водохранилища, полученного по плановой модели.

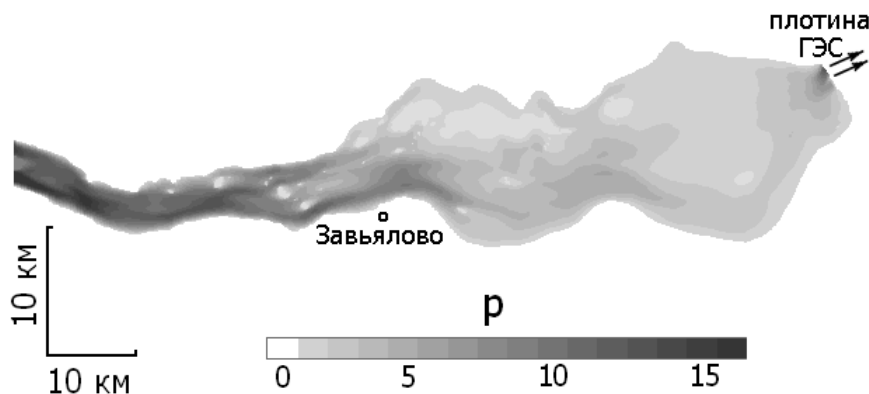


Рис.2. Двумерная плановая модель для Новосибирского водохранилища: поле коэффициента проточности в озерной части.

Литература

1. Шлычков В.А. Описание циркуляции Ленгмюра во внутренних водоемах с помощью вихреразрешающей модели. Докл. Академии Наук. 2010. Т.432. № 6. С.822-826.
2. Хабидов А.Ш., Леонтьев И.О., Марусин К.В., Шлычков В.А., Савкин В.М., Кусковский В.С. Управление состоянием берегов водохранилищ. Новосибирск. Изд-во СО РАН. 2009. 239 с.
3. Ляхтер В.М., Милитеев А.Н. Гидравлические исследования численными методами. Водные ресурсы. 1981. № 3. С.126-130.
4. Шлычков В.А. Численная модель взвесенесущего потока для Новосибирского водохранилища. Вычислительные технологии. 2010. Т.16. № 2. С. 111-121.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ВОДАХ НА СТАДИИ ИХ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОТ ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДО ПОТРЕБИТЕЛЯ

Юрченко С.Г.

г.Владивосток, Тихоокеанский институт географии, yurchenko@tig.dvo.ru

CHANGES OF IRON'S AND MANGANESE'S CONCENTRATIONS IN WATER DURING IT TRANSPORTATION FROM SOURCES TO CONSUMER

Yurchenko S.G.

Pacific Institute of Geography, Vladivostok, yurchenko@tig.dvo.ru

Общее содержание железа в водоисточниках, за исключением июля, не превышает ПДК. В ходе транспортировки воды к потребителю содержание железа увеличивается в 2-3 раза, что связано со вторичным загрязнением в системе водоводов. Концентрация марганца в системе водоснабжения изменяется в соответствии с особенностями водохранилищ и водоподготовки, но не превышает ПДК.

Total concentration of iron in the water sources, with the exception of July, is not more than maximum permissible concentration. After transportation water from sources to consumer the content of iron grows in 2-3 orders. This connects with recontamination of the urban water supply. Concentration of manganese in the water facilities changes in accordance with the peculiarities of reservoirs and water treatment but is not higher than maximum permissible concentration.

Согласно литературным данным [2], отличительной чертой химического состава питьевой воды в водопроводах и колодцах Приморского края является повышенное содержание железа, более высокие содержания которого регистрируются в континентальных районах края. Считается, что железо попадает в питьевую воду не только в природных условиях, но и в результате коррозии аппаратов и трубопроводов. Также в отдельных населенных пунктах Приморья регистрируются высокие концентрации марганца.

Целью исследования было изучение изменения концентрации железа и марганца в водах от поступления их из водохранилищ до квартирных кранов, включая выход в сеть после водоподготовки на гидроузлах, а также выходы на колонках магистральных распределительных линий (на примере хозяйственно-питьевого водоснабжения (ХПВ) г. Владивостока).

Основными источниками ХПВ г. Владивостока, который расположен на юге Приморского края, служат открытые водоемы (Артемовское, Богатинское и Пионерское водохранилища), питаемые за счет атмосферных осадков.

Отбор проб проводили с марта 2009 по февраль 2010 гг., охватывая основные гидрологические фазы. Всего было отобрано и проанализировано 94 пробы. Раствор и взвесь разделяли с помощью фильтрования через мембранный фильтр (0,45 мкм). Фильтр с взвесью разлагали смесью кислот. Концентрацию растворенных и взвешенных (переносимых в составе твердых частиц) форм железа и марганца определяли атомно-абсорбционным методом.

Изученные нами воды относятся к ультрапресным слабоминерализованным (общая минерализация ни в одной пробе не превышает 0,1 г/дм³), очень мягким водам. Низкие концентрации макроэлементов отражают природные свойства поверхностных водоисточников, которые являются

водохранилищами озерного типа.

По данным многих авторов, доминирующим элементом в поверхностных водах различных областей и приречных зон является железо (табл.):

Таблица

Валовое содержание железа и марганца (по усредненным данным с марта 2009 по февраль 2010) в поверхностных источниках и питьевых водах г.Владивостока, мкг/дм³

	Источники, n=15	После водоподготовки, n=19	Водопровод, n=29/29
Fe	184.31±183.45	66.94±48.87	<u>334.94±291.97</u> 148.25±78.88
Mn	41.14±29.07	21.05±22.27	<u>23.05±9.7</u> 20.13±10.44

*-в числителе – колонки, в знаменателе – краны; ± - сред.отклонение

Колебания валового содержания железа, основная доля которого от 50 до 95 % приходится на его содержание во взвеси, в исследуемых водохранилищах в течение года довольно существенны: от 40,3 до 607,3 мкг/дм³. Минимальное количество железа отмечалось в период ледостава (до 70 мкг/дм³). В июле, после обложных дождей, валовое содержание железа в исследуемых водах, за счет взвешенных форм (от 139,9 до 536,9 мкг/дм³), достигло или превысило ПДК. В Богатинском водохранилище в ноябре была отмечена максимально высокая концентрация валового железа (607 мкг/дм³). В Артемовском водохранилище содержание валового железа, по сравнению с остальными водоисточниками, минимальна: 40,3-74,5 мкг/дм³ (в июле – 270 мкг/дм³). Для сравнения: в с.Черниговка (центральный район Приморского края) основным источником ХПВ являются подземные водоисточники, валовое содержание железа в которых сопоставимо с его содержанием в водах Пионерского и Богатинского водохранилищ в июле месяце, после обложных дождей, и составляет 310 мкг/дм³.

После системы водоподготовки, когда количество взвешенных веществ снизилось, содержание общего железа уменьшилось и в основном, не превышало 80 мкг/дм³, за исключением Артемовского гидроузла. В июле, в воде на входах в водораспределительную систему из Артемовского гидроузла концентрация железа, хотя и снизилась, оставалась достаточно высокой за счет своего содержания во взвеси (180-120 мкг/дм³, что составляет 90-93% от валового). В ноябре, на 2-ом выходе Артемовского гидроузла было отмечено повышение общего железа до 105 мкг/дм³. При этом содержание железа на 1-ом выходе не превышало 52 мкг/дм³. Подобная картина была отмечена и в марте на Пионерском гидроузле, где произошло увеличение концентрации общего железа в 3 раза. Несмотря на неоднозначные колебания валового содержания железа в воде после водоподготовки, вода, попадающая в водораспределительную магистраль, соответствует ПДК [4] по железу для питьевых вод.

По мере прохождения воды по подающим магистралям (выходы на колонках и квартирных кранах) г.Владивостока, содержание железа, в период исследования, повышается в 1,5-3 раза. То же происходит и для водопровода с.Черниговка, где валовое содержание железа в колонках в 2,7 раз выше, чем в подземном источнике. Увеличение содержания железа в пробах питьевой воды происходит, скорее всего, в результате коррозии трубопровода. Это подтверждается и тем, что во все периоды отбора содержание железа в воде водораспределительных колонок было выше, чем

в квартирных кранах. Такую картину распределения железа мы связываем с возрастом и износом труб, подводящих воду к колонкам и самих колонок. В 27% отобранных проб воды из магистральных колонок валовое содержание железа превышало ПДК для питьевых вод. Аналогичные исследования Д.Г. Бондаревой [1], показали, что хотя на станциях обезжелезивания в ЕАО и снижают содержание железа в воде, добегаящая до потребителя вода не соответствует норме и составляет 1,7-5,7 ПДК. В колонке с.Черниговка содержание железа составляет 2,5ПДК.

Повышенным содержанием валового железа в квартирных кранах от 70 до 320 мкг/дм³ (при среднем 211 ± 110 мкг/дм³) в каждом отборе выделялась проба, отобранная из крана в районе Академгородка. В среднем, валовое содержание железа в питьевых водах, отобранных в кранах жителей г.Владивостока, соответствует его концентрациям в источниках водоснабжения. Основная доля валового содержания железа в домовых кранах приходится на его растворенную форму. Вероятно, это связано с тем, что крупная взвесь, содержащая железо, достаточно эффективно задерживается фильтрами грубой очистки, которые стоят на трубах, подающих воду в дома. Увеличение доли содержания железа во взвеси до 70-90% было отмечено в июле, в период обложных дождей, когда мутность водоисточников была максимальной и вода, поступающая в водораспределительную систему, не была эффективно очищена от взвешенных веществ (1,8-5,6 мг/дм³). Для сравнения необходимо отметить, что в водопроводной воде на севере Приаралья (Узбекистан) содержание железа на порядок ниже, чем в водоисточниках и, в среднем, не превышает 20 ± 10 мкг/дм³ [3].

Согласно литературным данным [2, 5], не только железо, но и марганец является приоритетным показателем загрязнения питьевой воды как для г.Владивостока, так и для Приморского края в целом, что связывают с вторичным загрязнением вод в системе водоводов, а также с использованием в качестве водоисточников подземные воды.

Анализ полученных результатов показал, что для поверхностных источников водоснабжения юга Приморского края повышенные содержания марганца не достигают ПДК. Однако, несмотря на то, что формирование химического состава вод водохранилищ идет одинаково, колебания концентраций марганца между ними довольно существенны. Так, в Богатинском и Пионерском водохранилищах валовые концентрации марганца изменялись в широких пределах: от 12,7 до 85,3 мкг/дм³ с минимальным содержанием в разные периоды. Для Богатинского водохранилища минимальная концентрация 21,3 мкг/дм³ была отмечена в июле, а для Пионерского – в ноябре. В эти периоды основная доля валового содержания марганца приходится на взвешенные формы, а в остальные периоды марганец переносится в растворенной форме.

В Артемовском водохранилище, в июле, после обложных дождей, количество марганца достигало 74,5 мкг/дм³, хотя в остальные периоды не превышало 11 мкг/дм³. В Артемовском водохранилище марганец, в основном, находится во взвешенной форме.

После системы водоподготовки валовые концентрации марганца в водах, поступающих в водораспределительную систему, как правило, снижаются, и основная доля приходится на растворенную форму. Среднее валовое содержание марганца, поступающее с Артемовского гидроузла – 8,7 мкг/дм³, с Богатинского гидроузла – 32,9 мкг/дм³ и с Пионерского гидроузла – 37,1 мкг/дм³.

По мере прохождения воды по трубам к потребителю, содержание марганца повышается на 20-25%, по сравнению с водой, поступающей с Артемовского гидроузла, и находится в пределах 10-40 мкг/л. В питьевых водах с.Черниговка из подземных водоисточников содержания марганца достигают 2ПДК. Существенных различий между водами в колонках и кранах в отдельные периоды не наблюдается. В питьевых водах г.Владивостока основная доля марганца приходится на его содержание в растворе.

Выводы:

1. Исследуемые воды ультрапресные, очень мягкие.
2. Валовое содержание железа на стадии транспортировки до потребителя увеличивается

в 2-3 раза, что связано со вторичным загрязнением в системе водоводов. Концентрации железа, превышающие ПДК, в основном, отмечены в магистральных колонках.

3. Валовое содержание марганца в системе водоснабжения г.Владивостока изменяется в соответствии с особенностями поверхностных источников и водоподготовки, но не достигает ПДК.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума ДВО РАН (грант № 09-III-A-09-517)

Литература

1. Бондарева Д.Г. Распределение железа в поверхностных и питьевых водах Еврейской автономной области и его отражение на здоровье населения // автор.диссер. на соиск.к.б.н.. Владивосток. 2010. 23 с.

2. Ковальчук В.К., Маслов Д.В. Гигиенические проблемы химического состава питьевой воды систем водоснабжения Приморского края // Тихоокеанский медицинский журнал, 2006. №3, с.60-63.

3. Ниязметов М. Гигиеническая оценка качества воды в городе Хива // Гигиена и санитария, 2001. №2. с.30-31.

4. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03 от 15 июня 2003 г.

5. Трунова И.Е., Зарецкая С.В. Гигиеническая оценка качества питьевой воды во Владивостоке // Тихоокеанский медицинский журнал, 2006. №3, с.64-66.

РАЙОНИРОВАНИЕ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО СТРУКТУРЕ МАКРОЗООБЕНТОСА

Яныгина Л.В. (г. Барнаул, ИВЭП СО РАН, e-mail: zoo@iwep.asu.ru)

NOVOSIBIRSK RESERVOIR ZONING BY MACROZOOBENTHOS STRUCTURE

Yanygina L.V. (Barnaul, IWEP SB RAS)

Проанализированы состав, структура и пространственное распределение зообентоса Новосибирского водохранилища. Отмечены тенденции снижения таксономического разнообразия макробеспозвоночных и увеличения их численности и биомассы от верхних участков водохранилища к нижним.

The composition, structure and spatial distribution of zoobenthos in the Novosibirsk reservoir are analyzed. The tendency to the decrease of taxonomic diversity of macroinvertebrate and the increase in their biomass abundance is registered in the direction from upper towards low sites of the reservoir.

Новосибирское водохранилище было создано на р. Оби в 1957 г. Водохранилище сезонного регулирования имеет протяженность около 200 км, площадь зеркала при НПУ – 1070 км²; максимальная ширина – 22 км, максимальная глубина – 25 м, средняя глубина 9 м, средний коэффициент водообмена – 6,9 [1]. Кроме нужд энергетики и водного транспорта водохранилище используется для водоснабжения, рыбного хозяйства, отдыха и туризма, что предъявляет повышенные требования к экологическому состоянию водоема [2].

Зооценозы Новосибирского водохранилища были обследованы в июле-августе 2007-2009 гг. Исследования зообентоса проводили на четырех участках: верхнем (створы в районе г. Камень-на-Оби и у д. Дресвянка), среднем (створы напротив сел Спирино и Ордынское), нижнем (створы напротив сел Боровое и Ленинское) и приплотинном (верхний бьеф и устье Бердского залива). Кроме этого, были исследованы Бурмистровский и Караканский заливы, а также Крутихинское мелководье. Донные отложения центральной части водохранилища отбирали дночерпателем Петерсена (площадь захвата 0,025 м²), в заливах и на мелководьях – дночерпателем Гр-91 (площадь захвата 0,007 м²). В каждой точке отбирали по две повторности. Для отбора проб зоофитоса в зарослях использовали модифицированный зарослечерпатель Бута (площадь отбора 0,096 м²). Пробы промывали через капроновый газ с ячейей 350х350 мкм, выбирали животных и фиксировали 70%-ным этиловым спиртом. За период исследований было отобрано и проанализировано 115 проб зообентоса и зоофитоса.

В зообентосе и зоофитосе Новосибирского водохранилища в 2007-2009 гг. обнаружено 136 видов беспозвоночных, большая часть которых (85 видов) относится к насекомым. Видовое богатство зообентоса русла водохранилища снижалось от его верхних участков к нижним: в верхней части отмечено 56 видов донных беспозвоночных, в средней – 32, в нижней – 31, в приплотинной – 13. Максимальное число видов (100) обнаружено в заливах, где встречалось более 60 % видов из таксономических списков различных участков водохранилища. Максимальное таксономическое разнообразие (по индексу Шеннона) отмечено в зарослях макрофитов (3,2 бит/экз.) и на верхнем участке (2,8 бит/экз.) водохранилища. Минимальные значения индекса (1,3 бит/экз.) отмечены на приплотинном участке, на остальной части водохранилища они в среднем составляли 1,9 бит/экз.

Анализ мер включения таксономического состава зообентоса и зооперифитона показал, что

наиболее «банальна» фауна беспозвоночных приплотинного и нижнего участков водохранилища, представленная преимущественно широко распространенными как на этих участках, так и в заливах и мелководьях видами (рис.). Наиболее «оригинальна» фауна мелководных заросших участков водохранилища (Крутихинского мелководья, Караканского и Бурмистровского заливов), включающая в себя более половины видов большинства других участков водохранилища. Особую группу образуют верхние участки (в районе г. Камень-на-Оби и у д. Дресвянка), характеризующиеся невысоким сходством таксономического состава бентосных сообществ с другими участками водохранилища (отсутствие связей при пороге 55%). Вероятнее всего это связано со значительной проточностью верхней части водохранилища, что приводит к преобладанию реофильных видов в составе зообентоса в отличие от лимнофильных сообществ остальной части водохранилища.

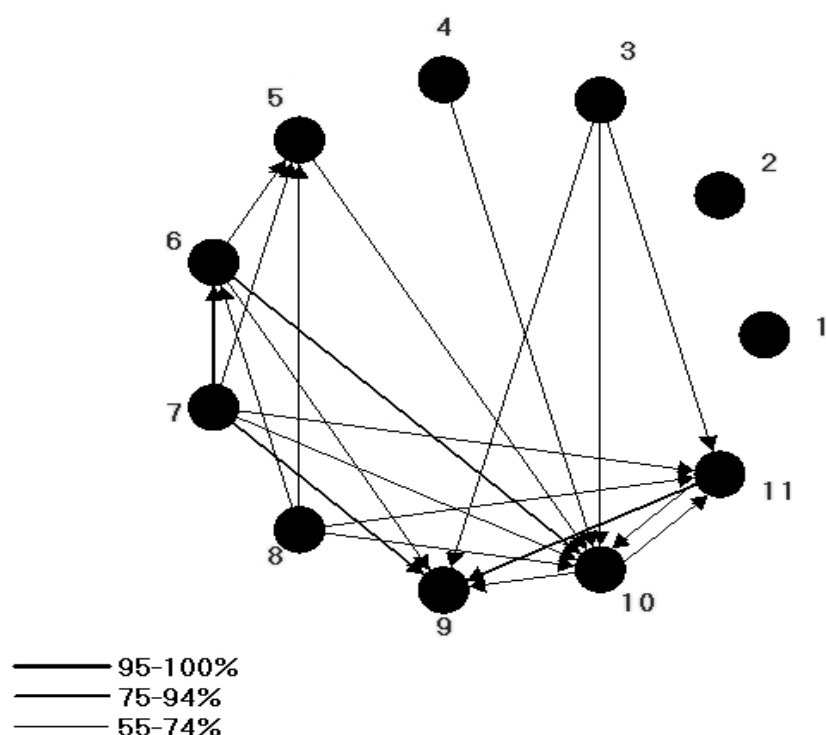


Рис. Ориентированный мультиграф бинарных отношений на множестве мер включения описаний видового состава зообентоса и зоофитоса Новосибирского водохранилища (1 – створ в районе г. Камень-на-Оби, 2 – у д. Дресвянка, 3 – напротив с. Спирино, 4 – напротив с. Ордынское, 5 – напротив с. Боровое, 6 – напротив с. Ленинское, 7 – верхний бьеф, 8 – устье Бердского залива, 9 – Крутихинское мелководье, 10 – Бурмистровский залив, 11 – Караканский залив).

Средние по водохранилищу (без учета заливов) значения численности и биомассы зообентоса в разные годы наших исследований отличались несущественно (в 2007 г. – $1,9 \pm 0,5$ тыс. экз./м² и $3,1 \pm 1,1$ г/м²; в 2008 – $1,2 \pm 0,3$ тыс. экз./м² и $2,0 \pm 0,7$ г/м², в 2009 (без *Viviparus viviparus* – $1,6 \pm 0,6$ тыс. экз./м² и $1,6 \pm 0,4$ г/м²), что в целом укладывались в интервал значений для 1993-2001 гг. ($1,9$ - $8,4$ г/м²) [3].

В период исследований отмечено неравномерное распределение зообентоса вдоль водохранилища. В верхней части водохранилища отмечены минимальные значения численности и биомассы зообентоса; причем обилие зообентоса на песках левобережья ($0,6$ тыс. экз./м² и $0,2$ г/м²) было ниже, чем на однотипных грунтах правого берега ($1,1$ тыс. экз./м² и $1,0$ г/м²). Основу численности и биомассы зообентоса этого участка составляли хирономиды псаммофильного комплекса видов

(*Lipiniella moderata* Kalugina, *Harnischia fuscimana* (Kieffer), *Polypedilum scalaenum* (Shrank)), на правобережных участках в число доминантов как по численности, так и по биомассе входили ручейники сем. *Hydropsychidae* (*Aethaloptera evanescens* MacLachlan, *Hydropsyche angustipennis* Curtis, *Potamyia* sp.).

В средней части водохранилища (с. Ордынское, с. Н.Каменка) массовое развитие крупных брюхоногих моллюсков *Viviparus viviparus* (L.) привело к значительному росту средней биомассы зообентоса этого участка (до 64,2 г/м²) при сравнительно низких значениях средней численности (0,8 тыс. экз./м²). Биомасса зообентоса без моллюсков (1,5 г/м²) соответствовала аналогичным показателям верхнего участка. Наряду с псаммофильными хирономидами в число доминантов по биомассе на отдельных участках входят брюхоногие моллюски (*V. viviparus* до 367,6 г/м² и 99,9 % биомассы) и амфиподы (*Gmelinoides fasciatus* Stebb. до 0,5 г/м² и 53 % биомассы). По численности доминируют хирономиды.

В нижней части водохранилища обилие беспозвоночных (2,3 тыс. экз./м² и 3,8 г/м²) было существенно выше, чем на предыдущих участках. На этом участке водохранилища существенно возрастает доля двустворчатых моллюсков (*p. Sphaerium*) и олигохет (*Limnodrilus hoffmeisteri*) в общей биомассе бентоса; по численности доминируют хирономиды и олигохеты.

На приплотинном участке водоема численность и биомасса зообентоса (2,7 тыс. экз./м² и 4,5 г/м²) соответствуют аналогичным показателям нижнего участка, однако происходит существенная перестройка структуры бентосного сообщества: возрастает доля олигохет, составляющих на этом участке основу численности и биомассы зообентоса. В доминирующий по биомассе комплекс видов входят также хирономиды (*Chironomus f. l. plumosus*).

Отдельной задачей наших исследований было изучение распределения зообентоса в заливах и на мелководных участках водохранилища. Численность и биомасса зообентоса илов Крутихинского мелководья (1,0 тыс. экз./м² и 1,7 г/м²) почти в 3 раза ниже средних для данного типа грунтов по водохранилищу значений. Низкий уровень развития зообентоса на мелководье вероятнее всего связан с периодическим осушением этой зоны, что мешает формированию устойчивых донных сообществ. Средние численность и биомасса зообентоса заливов (2,9 тыс. экз./м² и 3,7 г/м²) соответствуют аналогичным показателям нижнего и приплотинного участков. В зообентосе заливов по биомассе доминировали преимущественно хирономиды пелофильного комплекса видов (*Chironomus f. l. plumosus*, *Procladius ferrugineus*), лишь на отдельных участках в число доминантов входили двустворчатые моллюски (*p. Sphaerium*) и олигохеты (*Limnodrilus hoffmeisteri*). Основу численности составляли также хирономиды, субдоминировали олигохеты.

По обилию зообентоса водохранилище можно разделить на две зоны: с низким обилием, включающую Крутихинское мелководье, верхний и средний участки водохранилища, и зону с повышенным обилием, включающую заливы, нижний и приплотинный участки водохранилища. Низкие значения численности и биомассы в первой зоне вероятнее всего связаны с преобладанием малопродуктивных песчаных грунтов и осушением мелководья во время сработки уровня. Отмечено увеличение доли олигохет в структуре бентосного сообщества от верхних участков водохранилища к нижним.

Таким образом, проведенные исследования позволили районировать Новосибирское водохранилище по трем показателям: таксономическому разнообразию, численности и биомассе макробеспозвоночных. Верхний участок водохранилища характеризуется высоким таксономическим разнообразием бентосных сообществ при низких значениях численности и биомассы макробеспозвоночных, средний участок – низким разнообразием при низких значениях численности и биомассы макробеспозвоночных, нижний участок – низким разнообразием при сравнительно высоких значениях численности и биомассы макробеспозвоночных, приплотинный участок – минимальным разнообразием при сравнительно высоких значениях численности и биомассы.

Отмечены тенденции снижения таксономического разнообразия гидробионтов и увеличения их численности и биомассы от верхних участков водохранилища к нижним.

Автор выражает благодарность Е.Н. Крыловой и М.И. Ковешникову за помощь в сборе проб.

Литература

1. Васильев О.Ф., Савкин В.М., Дзуреченская С.Я., Тарасенко С.Я., Попов П.А., Хабидов А.Ш. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 2. – С. 149–163.
2. Подлипский Ю.И. К вопросу организации и некоторые итоги комплексных исследований Новосибирского водохранилища // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. Труды Западно-Сибирского регионального научно-исследовательского института. вып. 70. М.: Гирометеоиздат, 1985. – С. 3–15.
3. Селезнева М.В. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища по структурно-функциональным показателям сообществ макрозообентоса. Автореф дис... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. – 21 с.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НЕКОТОРЫХ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНОЙ СЕТИ

Абакумова В.Ю.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, faifh-sh@mail.ru

THE APPLICATION OF SOME RIVER NETWORK STRUCTURE CHARACTERISTICS

Abakumova V.Yu.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, faifh-sh@mail.ru

Для выявления особенностей речного стока в условиях резко континентального климата, горно-котловинного рельефа и многолетней мерзлоты, была изучена структура речной сети бассейна реки Чита в Забайкальском крае. Рассматривались соотношения количества и длин водотоков разных порядков и так же их пространственное изменение в бассейне.

For the purpose of river run-off features detection in extreme continental climate, mountain-depression relief and permafrost conditions, the Chita river network structure has been considered. The number and length of different order streams and the spatial variations of these characteristics have been used.

Процессы формирования речного стока исследуются разными методами, а при слабой гидрометеорологической изученности территории – и косвенными, среди которых и характеристики строения речной сети. Физико-географические, геологические, тектонические, геоморфологические условия и процессы в речном бассейне, антропогенное влияние отражаются на структуре речной сети. Морфометрические характеристики не только описывают строение и конфигурацию речного бассейна и сети водотоков, но могут быть индикаторами в гидрологии [3], геоморфологии [2], экологии и т.д. Они используются в качестве показателей условий формирования и трансформации стока в бассейне. В зависимости от особенностей объекта и цели исследования применяются разные характеристики, в т.ч. структурные морфометрические, описывающие строение речных систем с точки зрения конфигурации, взаимного расположения, соотношения элементов речной сети.

Цель данной работы – выявить особенности формирования речного стока в бассейне реки Чита в Забайкальском крае. Для этого решались следующие задачи: анализ строения речной сети бассейна, определения соотношения количества и длин водотоков разных порядков, а также пространственное изменение порядков и длин водотоков в бассейне.

Длина реки составляет около 210 км, площадь водосбора – около 4200 км². Бассейн реки вытянут с севера на юг и юго-запад, ограничен на основном своем протяжении водораздельными хребтами – Яблоновым и Черского. Ширина бассейна – минимальная в верхней части, максимальная – примерно в середине. Река несколько раз меняет направление течения, что связано с тектоническими и геологическими особенностями территории. Верхняя часть бассейна расположена на Витимском плоскогорье, средневысотном и слабо расчлененном. Южнее большую часть занимают средневысотные горы с уплощенными междуречьями. В низовьях бассейна находится северная часть Читино-Ингодинской впадины с выровненным днищем и средневысотные горы с густой сетью широких долин [1]. Климат региона резко континентальный, холодный, засушливый, среднегодовая температура воздуха равна –2,7 °С, годовая

сумма осадков около 300-400 мм, из них более 90 % – дождевые осадки. Среднегодовой модуль стока в устье невысок, около 2,71 л/км². Внутригодовое распределение стока реки Чита следующее: апрель-май – 18%, июнь-август – 50%, сентябрь-октябрь – 30%, ноябрь-март – 2% от среднегодового. Т.е. для реки характерны дождевые паводки летом и длительное прекращение стока зимой. Бассейн расположен в зоне распространения многолетней мерзлоты.

Природные условия левой и правой частей бассейна несколько различаются: так как водораздельные хребты высотой 1000-1500 м находятся поперек движения воздушных масс с запада на восток, увлажнение воздуха и грунтов, распространение и режим многолетней мерзлоты, зависят от экспозиции склона. Изменяются климатические условия от истока р. Чита к ее устью. Уменьшается годовая сумма осадков от 400-600 мм до менее 350 мм [1], снижается количество снеговых осадков и их доля в годовой сумме [4]. Различия между осадками левой и правой частей бассейна также уменьшаются к устью реки [1]. Таким образом, даже на примере одного речного бассейна средних размеров (по классификации рек) со сходными климатическими и геологическими условиями, достаточно четко выявляются локальные особенности.

Исходным материалом для изучения речной сети послужили топографические карты масштаба 1:100000. Речная сеть бассейна состоит из водотоков 1-5 порядков, река Чита относится к 5 порядку (по системе Хортон-Штралера) (табл. 1, рис.).

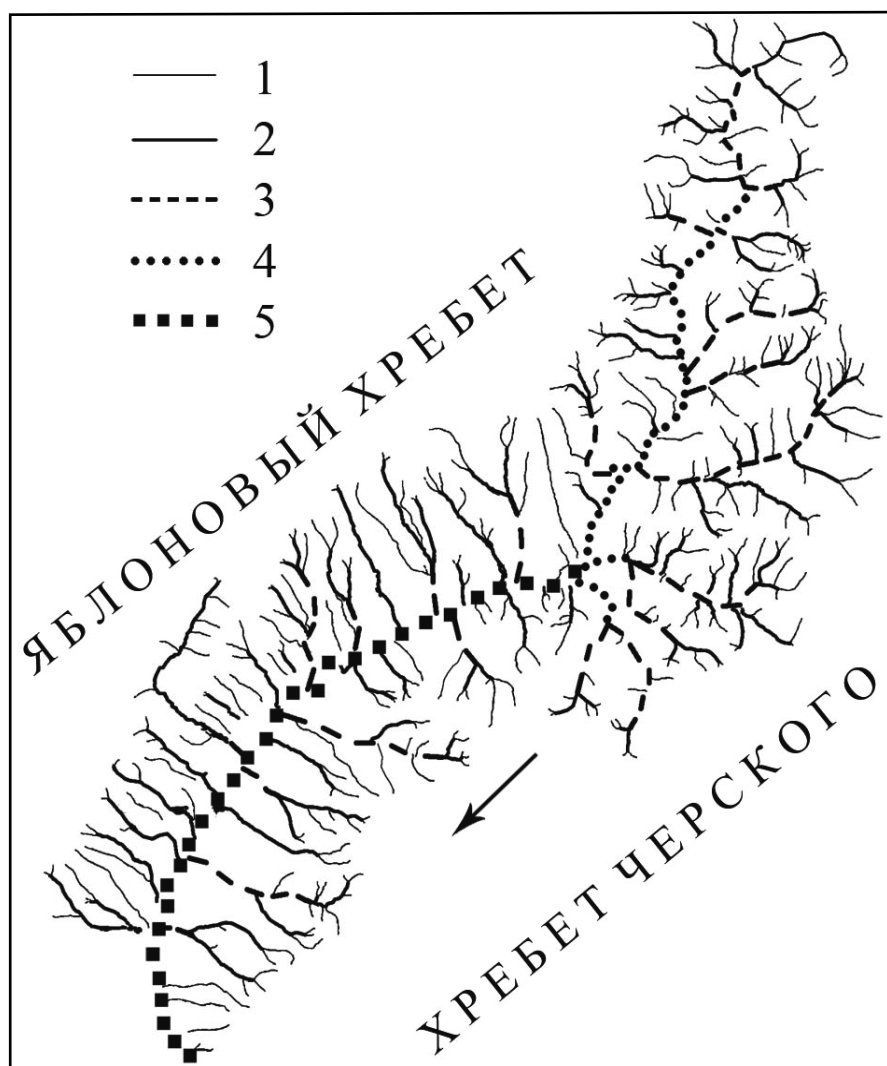


Рисунок. Схема речной сети бассейна р. Чита. 1 – водотоки 1 порядка, 2 – водотоки 2 порядка, 3 – водотоки 3 порядка, 4 – водотоки 4 порядка, 5 – водотоки 5 порядка.

Состав речной сети р. Чита

Параметры	Порядок водотока				
	1	2	3	4	5
Количество водотоков, всего	357	97	23	3	1
в т.ч. левая часть бассейна	213	57	14	2	-
правая часть бассейна	143	39	8	-	-
Суммарная длина водотоков, км, всего	921	518	258	86	114,35
в т.ч. левая часть бассейна	499	258	178	15	-
правая часть бассейна	418	247	62	-	-
Средняя длина водотоков, км, всего	2,58	5,35	11,24	28,7	114,35
в т.ч. левая часть бассейна	2,34	4,53	12,7	7,4	-
правая часть бассейна	2,93	6,33	7,8	-	-

При описании строения речной сети используется несколько характеристик: порядок водотока (определяемый несколькими способами), количество, средняя длина, уклон водотоков разного порядка, соотношение количества, средней длины, уклона водотоков смежных порядков, суммарная и средняя структурные меры (энтропия), и др. [3]. Соотношение количества водотоков смежных порядков (коэффициент бифуркации) отражает гидроклиматические ресурсы, а соотношение средних длин – модуль подземного стока, индекс сухости, рельеф, геологическое и литологическое строение, заболоченность бассейна, в зависимости от порядка водотока.

Соотношения количества и средней длины водотоков смежных порядков бассейна р. Чита сравнивались с модальными значениями и рассматривались изменение этих параметров по территории бассейна. У модального бассейна средние длины каждого следующего порядка должны возрастать, а количество водотоков уменьшаться близко к геометрической прогрессии (табл. 2).

Таблица 2.

Сравнение бассейна р. Чита с модальным бассейном

Параметры	Модальный бассейн 5 порядка [2]	Бассейн реки Чита		
		весь	левая часть	правая часть
Соотношение количества водотоков:				
1 и 2 порядка	4,3	3,68	3,73	3,66
2 и 3 порядка	4,25	4,22	4,07	4,88
3 и 4 порядка	4	7,66	7	-
4 и 5 порядка	3	3	-	-
Соотношение средних длин водотоков:				
2 и 1 порядка				
3 и 2 порядка	2	2,07	1,93	2,16
4 и 3 порядка	2	2,1	2,8	1,2
5 и 4 порядка	2	2,55	0,58	-
	2	3,98	-	-

В целом бассейн р. Чита близок к модальному, за исключением водотоков 4 порядка. От верховьев до середины бассейна порядки притоков и самой реки увеличиваются до 4-го и 5-го, в нижней половине бассейна порядок водотоков не больше 3-го, а река так и остается 5-го. Для водотоков 4 порядка большое значение имеет подземный сток, в данном бассейне он невысок (менее 10% общего стока [5]), что подтверждается их малым количеством и небольшой длиной (кроме р. Чита, у которой больше водосбор и врез русла). Соотношения между водотоками 1 и 2 порядка почти равны модальным (в нижней части бассейна водотоков 1 порядка меньше), значит, достаточно влаги для поверхностного стока этих водотоков (атмосферные осадки, заболоченность, связанная с многолетней мерзлотой). Отклонения от модальных значений наблюдаются в правой части бассейна для водотоков 2 и 3 порядков, в левой – для водотоков 3 и 4 порядков. Водотоков более высокого порядка меньше, и они короче, чем могли быть. Кроме особенностей рельефа, это говорит о недостатке подземного питания. Если брать каждый приток реки отдельно, обычно соотношения количества между водотоками 1 и 2 порядка больше, чем между водотоками 2 и 3 порядка, т.е. более развито верхнее звено речной сети. Исключение составляют несколько притоков, в т.ч. и самые крупные, где много водотоков 2 порядка, что указывает на лучшие условия для дренирования влаги речной сетью. Соотношения средних длин, наоборот, в основном больше между водотоками 2 и 3 порядка, по сравнению с водотоками 1 и 2 порядка, это объясняется большей разветвленностью верхнего приводораздельного отдела речной сети, что характерно для средней, наиболее развитой части бассейна (особенно, в левой половине). Здесь происходит формирование основной доли стока всего бассейна.

Литература

1. Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область) / Ред. В.Б. Сочава, К.М. Продай-Вода, Н.Н. Тартышев и др. – М.; Иркутск: ГУГК при Совете Министров СССР, 1967. – 176 с.
2. Динамическая геоморфология: Уч. пособие / Под ред. Г.С. Ананьева, Ю.Г. Симонова, А.И. Спиридонова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 448 с.
3. *Корытный Л.М., Безруков Л.А.* Водные ресурсы Ангара-Енисейского региона (геосистемный анализ). – Новосибирск: Наука, 1990. – 214 с.
4. *Осокин И.М.* География снежного покрова востока Забайкалья // Зап. Заб. фил. ГО СССР. – Чита: Изд-во Заб. фил. ГО СССР, 1969. Вып. 33. – 192 с.
5. *Пивцаева О.А.* Оценка подземной составляющей стока рек Забайкалья // Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования. Мат. науч. конф. – Чита: ЧИПР СО РАН, 2001. – С. 109-111.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ И ИХ ДИНАМИКА

Барabanова Е.А., Зайцева И.С., Коронкевич Н.И.

Институт географии РАН, Москва, hydro-igras@yandex.ru

EXTRIME HYDROLOGICAL SITUATIONS AND THEIR DYNAMICS

Barabanova E.A., Zaitseva I.S., Koronkevich N.I.

Institute of Geography RAS, Moscow, hydro-igras@yandex.ru

Излагаются основные положения и результаты, полученные в рамках коллективной монографии по данной тематике. Рассматриваются экстремальные гидрологические ситуации в основном на территории России, связанные с многоводьями (наводнениями), маловодьями, загрязнением рек и водоемов. Монография подготовлена к печати с участием различных организаций и ведомств.

Main positions and results, executed within the content of collective monograph on given themes, are reported. Extreme hydrological situations mainly on the Russia, connected with excess waters (floods), low waters, rivers and water reservoirs pollution, are considered. The monograph is prepared for printing with participation of different organizations and departments.

Монография «Экстремальные гидрологические ситуации» (отв. ред.: Н.И. Коронкевич, Е.А. Барabanова, И.С. Зайцева) объемом около 26 а.л., подготовленная коллективом авторов из различных организаций России, а также Белоруссии, включает более 20 статей, сгруппированных в 4 главы. Глава 1 – «Комплекс экстремальных гидрологических ситуаций», Глава 2. – «Многоводья», Глава 3. – «Маловодья», Глава 4. – «Экстремальные изменения качества природных вод».

Все многообразие вопросов, затронутых в монографии, невозможно отразить в одной небольшой статье. Поэтому остановимся лишь на некоторых из них, в первую очередь, тех, которые разрабатывались авторами данной статьи. Среди них вопрос о понятиях и терминах, применяемых в отношении экстремальных гидрологических ситуаций (ЭГС).

Как уже отмечалось в более ранних работах авторов, в общем случае под экстремальной гидрологической ситуацией (ЭГС) или явлением понимается такое количественное или качественное состояние водных объектов, элементов гидрологического режима территории, которое кардинально отличается от обычного, общепринятого, среднего. Поскольку понятие «кардинального», как и понятие «обычного», «общепринятого», среднего могут трактоваться в широких пределах в зависимости от конкретных условий, существует большой разброс мнений относительно гидрологической экстремальности. Рассмотрению обычно подлежат максимальный и минимальный речной сток и связанные с ними наводнения и в меньшей степени маловодья как явление. Обычно обособленно от количественных гидрологических характеристик рассматриваются ситуации с качеством воды. Представляется, что совместное рассмотрение ситуаций, связанных как с количественными, так и с качественными показателями состояния природных вод правомерно, поскольку дает более полное представление об ЭГС.

Принципиально важно отделять ЭГС от чрезвычайных гидрологических ситуаций (ЧГС). Если последние обязательно связаны с большим материальным ущербом, то многие ЭГС могут и не сопровождаться такими негативными последствиями, например, если они имеют место в необжитых районах. Очевидно, ЧГС является частной и наиболее острой неблагоприятной состав-

ляющей ЭГС. В контексте сказанного следует различать затопление территории и наводнение. Обе ситуации – разновидности многоводья, но вслед за Р.А. Нежиховским представляется правомерным считать наводнением только то затопление, которое связано с материальным ущербом, то есть так же, как и в отношении ЧГС, необходимо иметь в виду антропоцентрический подход.

Была разработана классификация ЭГС по 12 признакам, среди которых: место проявления, элементы гидрологического режима и состояния водного объекта, происхождение, пространственный масштаб, повторяемость, скорость образования, длительность, последствия для водных экосистем, последствия для наземных геосистем, негативные явления и последствия для общества (проблемы), острота проявления негативных последствий (проблем) для общества, возможность предотвращения.

Значительное внимание уделено генезису ЭГС, особенно антропогенным факторам, их классификации, гидрологической роли в возникновении ЭГС, в т.ч. различным видам водохозяйственной деятельности, земледелию, эксплуатации лесов и др.

В монографии показано, что единых критериев и показателей ЭГС не существует, но все же во многих случаях в отношении количественных гидрологических характеристик такими критериями служат их значения редкой повторяемости 5% (многоводья) и 95% (маловодья) обеспеченности. Предложены сравнительные пространственно-временные показатели, учитывающие диапазон изменений и величину среднего многолетнего стока для территории России. Отмечается, что критериями ЭГС при оценке качества воды обычно служит 50-ти кратное превышение ПДК по большинству показателей, хотя для особо токсичных веществ достаточно и 5-ти кратного превышения. Для территории России составлены картосхемы по трем основным видам ЭГС – наводнениям, маловодьям и загрязнению вод и сводная картосхема. При этом констатируется, что ситуация с основными видами ЭГС уступает по остроте среднемировым показателям.

Подробно анализируется ситуация последних лет, характеризующаяся повышенной водностью в большинстве районов России, особенно в зимний период, а также продолжающимся интенсивным загрязнением рек и водоемов, несмотря на снижение общей антропогенной нагрузки на них.

В статье Л.К. Малик рассматриваются чрезвычайные ситуации на водохозяйственных объектах мира, в том числе в результате их разрушения. Динамика максимального и минимального стока на территории России проанализирована В.А. Семеновым. Он отмечает, что современные изменения климата на значительной части территории России способствуют увеличению вероятности высоких уровней снегово-дождевых половодий и дождевых паводков, заторных и нагонных наводнений, но благоприятствуют меженному стоку. В то же время в бассейнах некоторых рек Европейской части страны, юга Сибири и Дальнего Востока глобальное потепление увеличивает риск дефицита воды в маловодные периоды и ухудшения ее качества. Л.М. Корытный, Н.В. Кичигина, А.Г. Напрасников рассматривают географический аспект ЭГС на территории Сибири. По генезису ими предлагается выделять три класса гидрологических опасностей: гидроклиматические, гидро-геологические, гидро-гляциологические. На территории Сибири выявлено 15 основных видов природных гидрологических опасностей. В.И. Бабкиным, В.Н. Малининым предложен физико-статистический метод долгосрочного прогнозирования динамики водных ресурсов, апробированный для территории Центрального федерального округа России. Оправданность поверочных прогнозов соответствует коэффициенту корреляции 0,87. В.Н. Федоровым выявлена структура многолетних колебаний стока реки Днепр по уточненным материалам донных отложений Сакского озера. С.В. Долговым с соавторами выявлено соотношение элементов водного баланса Европейской части России в годы различной водности и увлажнения.

А.Л. Чепалыга доказывает, что «всемирный потоп» - реальное палеогидрологическое событие, имевшее место в Понто-Каспийском бассейне. А.Г. Георгиади анализирует выдающийся максимальный сток на реках Русской равнины, приходя к выводу, что получаемому типу эмпирических

кривых обеспеченности, основанных на продолжительных рядах наблюдений, наиболее соответствует четырехпараметрическая кривая обеспеченности Джонсона, ограниченная с двух сторон предельно низким и высоким значениями. Статистический анализ наводнений мира, выполнен А.А. Таратуниным. Особое место в его статье заняло обобщение данных Дартмутской обсерватории Ганноверского университета (США), который ведет глобальный регистр (реестр) экстремальных наводнений. С 1985 по 2008 г. было зарегистрировано 3467 таких наводнений. Из них наводнений 1-го класса повторяемостью 1 раз за 10-20 лет 2799, 2-го класса повторяемостью 1 раз за 20-100 лет – 548, 3-го класса повторяемостью 1 раз за 100 и более лет – 120. Больше всего экстремальных наводнений зарегистрировано в Азии (почти половина общего числа в мире). С.В. Борщ проанализировал наводнения на территории России и пришел к выводу, что на Европейской части страны весьма высокие наводнения имели место в 1994, 1999 и 2005 гг., на Азиатской территории выявляется тенденция увеличения числа наводнений. Все чаще наводнения приобретают катастрофический характер. Детальный анализ наводнений на территории России в период 1998-2002 гг. сопровождаемый многочисленными картами, выполнен С.Г. Добровольским и М.Н. Истоминой. Ими в частности выявлено, что в среднем за год в указанный период площадь затоплений составила 301 тыс. га, количество пострадавших 174,4 тыс. чел., временно эвакуированных 54,1 тыс. чел., погибших 55 человек, затопленных зданий 40,3 тыс., а ущерб оценен в 312,8 млн. \$ США. Особенности опасных гидрологических явлений на р. Припять более чем за 150 лет проанализированы А.А. Волчком и А.А. Волчек. Отмечено заметное снижение максимальных расходов весеннего половодья в конце XX в. при учащении и увеличении зимних паводков. Л.В. Десинов и С.Л. Десинов обстоятельно рассмотрели различные аспекты Генаддонской катастрофы 2002 г. в результате неожиданного выброса ледника Колка из его ложа. Авторы придерживаются точки зрения о решающем значении вулканогенного фактора этой катастрофы. Экстремальным проявлениям овражной эрозии и русловых процессов посвящена статья К.М. Берковича с многочисленными соавторами.

Маловодья в бассейне Волги рассмотрены М.В. Болговым и Н.И. Сенцовой. Показано, что для описания вероятностей появления экстремальных маловодных периодов целесообразно использовать простую цепь Маркова.

Завершается монография работами по ЭГС, связанными с качеством воды. Среди них статья Г.М. Черногаевой, А.С. Зеленова, М.С. Зеленовой, в которой дана оценка ситуации с загрязнением вод на территории России в начале XXI в. Констатируется, что, несмотря на некоторое улучшение в ряде регионов России состояние большинства водных объектов по-прежнему остается неблагоприятным. Так, в 2006 г. экстремально высокие уровни загрязнения поверхностных вод наблюдались на 126 водных объектах в 490 случаях. Высокие уровни загрязнения были отмечены на 246 водных объектах в 2064 случаях.

В Заключение приводятся основные выводы и намечаются перспективные направления дальнейших исследований. Среди них – совершенствование классификации ЭГС, продолжение работ в области систематизации их критериев и показателей, расчет максимальных и минимальных величин возможных гидрологических характеристик. В числе актуальных дальнейших вопросов исследований: изучение генезиса выдающихся гидрологических событий и организация мониторинга ЭГС, уточнение дифференцированных по регионам России связей водности года, объема половодий и паводков с уровнем подъема воды и социально-экономическими и геоэкологическими последствиями, оценка вклада лет различной водности в функционирование природных и хозяйственных систем, прогноз ожидаемых в будущем значений стока, качества вод, других гидрологических характеристик за год и отдельные его периоды, с учетом различных антропогенных факторов и меняющегося климата, составление новых карт ЭГС (а в перспективе и их Атласа). Актуальной остается и разработка мероприятий, позволяющих снизить ущерб от ЭГС, а в отдельных случаях – полностью предотвратить его.

СРАВНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ И ПРИРОДНЫХ ВОД, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Букатый В.И.¹, Винокуров Ю.И.¹, Нестерюк П.И.²

¹ИВЭП СО РАН, Барнаул, v.i.bukaty@mail.ru, iwep@iwep.asu.ru

²Алтайский государственный университет, Барнаул, p.nesteryuk@mail.ru

THE COMPARISON OF PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF DISTILLED WATER UNDER THE INFLUENCE OF VARIOUS PHYSICAL FACTORS

Bukaty V.I.¹, Vinokurov Yu.I.¹, Nesteryuk P.I.²

¹IWEP SB RAS, Barnaul, v.i.bukaty@mail.ru, iwep@iwep.asu.ru

²Altai State University, Barnaul, p.nesteryuk@mail.ru

Приводится сравнительный анализ удельной электропроводности и водородного показателя pH для дистиллированной воды, природной воды, взятой в реке Оби, питьевой воды «Алтайская золотая» и питьевой воды «Бонаква» при воздействии на них по отдельности постоянным магнитным полем, лазерным излучением и ультразвуком.

The article deals with the results of the comparative analysis of electrical conductivity and pH value of distilled water, water taken from the Ob river, "Altaiskaya zolotaya" drinking-water and "Bonaqua" drinking-water after the exposure to constant magnetic field, laser radiation and ultrasound.

В настоящее время электромагнитное загрязнение и другие внешние физические воздействия как антропогенный фактор, влияющий на состояние окружающей среды, в т. ч. водных ресурсов, все больше привлекают внимание исследователей. Вода достаточно широко представлена в живой и неживой природе, поэтому изучение ее фундаментальных физико-химических свойств представляет несомненный научно-практический интерес. Однако в литературе явно недостаточно сведений о динамических основных характеристиках воды, подвергающейся воздействию различных физических полей. Отчасти это можно объяснить тем, что ее основные физико-химические характеристики являются аномальными, существенно отличающимися от параметров подавляющего большинства других жидкостей. Кроме того, в зависимости от характера и интенсивности воздействующих полей, методики подготовки образцов и проведения измерений, неучета переходных процессов, можно получить противоречивые результаты.

Как известно, процесс возвращения исследуемых параметров системы в равновесное состояние принято называть переходным процессом или релаксацией. Вода, являясь динамичным объектом, может быть легко выведена из состояния термодинамического равновесия при сравнительно слабом внешнем физическом воздействии. При этом возникает известный эффект так называемой «памяти» воды, когда измеряемые параметры, отличаясь от своих первоначальных значений до воздействия, возвращаются спустя значительное время в исходное положение. Многие исследователи усматривают причину аномальных свойств воды в ее кластерной структуре, обусловленной наличием водородных связей между атомами и собственно молекулами, которые могут изменяться, вплоть до их разрыва, в зависимости от теплофизических и гидродинамических параметров.

В последнее десятилетие появился ряд работ, например, посвященных исследованию свойств

воды при воздействии на неё физических полей различной природы [1-5]. Проведенный нами анализ работ по этой проблеме показал, что к настоящему времени изменение физико-химических параметров воды под влиянием физических воздействий недостаточно изучено, данные отдельных экспериментов противоречат друг другу, практически отсутствуют экспериментальные результаты по воздействию на природную воду. Таким образом, требуется проведение дальнейших исследований в этом направлении таких важных характеристик, как водородного показателя pH и удельной электропроводности, что является целью нашей работы.

Объектом исследования служили: дистиллированная вода; питьевая вода «Алтайская золотая», взятая из (родника «Лисицинский»); питьевая вода «Бонаква», очищенная кондиционированная вода центрального источника водоснабжения; вода из открытого источника водоснабжения, (р. Обь в районе г. Барнаула).

Образцы воды в опытах разделялись на контрольные (которые не подвергались воздействию) и исследуемые. Вышеуказанные образцы объемом 20-40 мл переливались в сосуды из кварцевого стекла, после переливания отстаивались в течение 20-30 минут, после чего производилось воздействие. Указанное время отстаивания нами определено опытным путем, так как после данного временного промежутка величины pH и удельной электропроводности контрольного образца принимают первоначальное значение до момента переливания. В то же время мы считаем, что изменения исследуемых параметров воды в результате переливания не могут быть связаны с разрывом химической связи в молекуле H_2O , в виду больших значений их энергии (460 кДж/моль), по сравнению с кинетической энергией переливаемого образца. Наблюдаемое изменение характеристик воды после переливания, на наш взгляд, обусловлено нарушением первоначальной кластерной структуры, а спустя 20-30 минут – её последующим восстановлением.

Измерения водородного показателя pH проводились на приборе pH-150МИ. Удельная электропроводность (УЭП) измерялась с помощью кондуктометра Анион-70-20. Постоянное магнитное поле (ПМП) создавалось с помощью пяти круглых магнитов с суммарной магнитной индукцией, равной 1,5 Тл. В опытах с воздействием лазерного излучения на воду использовался гелий-неоновый лазер ЛГ-75 с длиной волны $\lambda=632,8$ нм, максимальной мощностью 20 мВт. Расфокусировка лазерного излучения осуществлялась с помощью короткофокусной линзы, при этом плотность мощности излучения, действующего на исследуемый образец, составила порядка 1,25 мВт/см². Ультразвуковое поле создавалось с помощью серийной установки типа УЗДН-2Т с частотой 44 кГц и с максимальной мощностью излучения 350 Вт.

Исследуемая дистиллированная вода по измеряемым нами параметрам соответствовала ГОСТу № 6709-72, при этом водородный показатель pH варьировал в пределах 5,4-6,6, а удельная электропроводность не превышала 5,5 мкСм/см. Температура образцов воды оставалась постоянной на протяжении всего времени эксперимента и составляла 21°C. Интервал времени между получением воды в дистилляторе и её использованием в опытах составлял 1-2 суток, при этом существенных различий, связанных с вышеуказанным «возрастом» воды, в измеряемых характеристиках нами не обнаружено.

В экспериментах с использованием постоянного магнитного поля и лазерного излучения время воздействия варьировало в пределах от 5 до 20 минут. При использовании ультразвуковой установки время воздействия изменялось в пределах от 1 до 5 минут. После воздействия в течение ~ 30 минут с шагом в 1-3 минуты проводились измерения характеристик воды. Относительная ошибка определения водородного показателя pH составила 2%, а удельной электропроводности – 2,5%.

Было проведено 8 серий измерений динамики pH при воздействии ПМП с магнитной индукцией 1,5 Тл и 10 серий – при использовании лазерного излучения. В экспериментах обнаружено, что значения pH для исследуемых образцов воды, измеренные сразу после воздействия (точнее,

спустя 1-2 минуты после погружения электрода в кювету в соответствии с инструкцией к рН-метру), значительно выше, чем для контрольного образца. Кроме того, во всех случаях с течением времени обнаружено монотонное уменьшение водородного показателя рН до уровня, соответствующего его значению для контрольного образца. Полное время релаксации, когда временные зависимости для контрольного и исследуемого образцов практически сливаются в пределах погрешности измерений, составляют около 20 мин при лазерном воздействии и порядка 15 мин – в результате действия ПМП. Максимальное увеличение водородного показателя рН в данной серии измерений в среднем составило величину, равную $2,2 \pm 0,3$ при действии ПМП и $1,4 \pm 0,3$ – при лазерном воздействии.

В другой серии проведенных нами экспериментов по воздействию на дистиллированную воду сравнительно слабого ПМП с магнитной индукцией 0,12 мТл не было обнаружено изменений водородного показателя рН для исследуемых образцов, а его численные значения не отличались от контроля.

Проведенные нами эксперименты при меньших временах воздействия лазерным излучением (5 и 10 минут), показали, что при пяти минутах изменения рН для контрольного и исследуемого образца не наблюдаются. При десяти минутах данный эффект присутствует, однако, выражен значительно слабее.

При исследованиях динамики удельной электропроводности дистиллированной воды было проведено 10 серий измерений при воздействии ПМП с магнитной индукцией 1,5 Тл и 7 серий – в результате действия лазерного излучения.

Во всех случаях обнаружено увеличение удельной электропроводности исследуемых образцов воды сразу после внешнего воздействия. Кроме того, имело место «последствие», когда удельная электропроводность продолжала увеличиваться после прекращения действия ПМП и лазерного излучения в течение времени наблюдения. На подобное явление обращено внимание в работе [2] при изучении динамики электропроводности дистиллированной воды в результате воздействия высокочастотного электромагнитного поля. В частности, в этой работе наблюдался также эффект «невозвращения» свойств дистиллированной воды к исходному значению в течение времени наблюдения.

В проведенных нами исследованиях при использовании ПМП с магнитной индукцией 0,12 мТл удельная электропроводность для исследуемого и контрольного образцов после воздействия оказалась одинаковой и не изменялась в течение длительного времени (от нескольких часов до одних суток).

В опытах по воздействию ультразвука на дистиллированную воду время действия на образцы объемом 60 мл варьировало в интервале 1-5 минут. При исследовании динамики водородного показателя рН было обнаружено существенное отличие значений для экспериментального образца и контроля в первые 10-15 минут после окончания воздействия. При этом максимальное значение $\Delta \text{pH} = 0,8$ наблюдалось при воздействии ультразвука в течение одной минуты, тогда как при 2-х минутах максимум ΔpH составил 0,4, а при 3-х минутах максимальное значение ΔpH 0,3. Затем наблюдалось снижение рН до начального значения контроля. При исследовании динамики удельной электропроводности воды после воздействия ультразвука экспериментально было обнаружено время воздействия, равное трем минутам, при котором наблюдалось максимальное различие значений для экспериментального и контрольного образцов, равное $(1,1 \pm 0,4)$ мкСм/см. Во всех опытах по измерению удельной электропроводности, спустя 2-3 часа после воздействия, обнаружено ее возвращение к первоначальному значению.

Ряд исследователей полагает, что изменение удельной электропроводности в подобных опытах может быть вызвано деформацией структуры воды, повышением растворимости атмосферных газов (в особенности, CO_2) в исследуемой среде, десорбцией примесей с поверхности сосуда или

растворением материала сосуда. Однако в наших экспериментах после воздействия водородный показатель pH повысился, что свидетельствует об уменьшении растворимости углекислого газа, и должно было привести к уменьшению электропроводности при отсутствии влияния других факторов, в то время как в наших опытах наблюдалась противоположная зависимость. Кроме того, подобные исследования по изучению электропроводности дистиллированной воды при воздействии на неё высокочастотных электромагнитных полей показали отсутствие влияния материала сосуда на экспериментальные результаты [4].

При воздействии вышеупомянутых физических факторов на воду «Алтайская золотая» (начальные значения $pH = 7,20$, $УЭП = 840$ мкСм/см), воду «Бонаква» ($pH = 7,25$, $УЭП = 373$ мкСм/см), воду из р. Оби ($pH = 7,50$, $УЭП = 164$ мкСм/см) изменений физико-химических характеристик не обнаружено. Для получения заметного эффекта воздействия образцы исследуемой воды, обозначенной в тексте под цифрами 2-4, разбавлялись дистиллированной водой, вплоть до самых малых концентраций (0,5%). Однако даже при столь малых концентрациях природных вод, растворенных в дистиллированной воде, изменений pH и УЭП в результате физических воздействий не было выявлено. Параметры физических воздействий и методика опытов в данной серии измерений были аналогичными.

Таким образом, на основании наших опытов можно сделать вывод о том, что изменения pH и УЭП могут быть вызваны, в первую очередь, изменением структуры воды вследствие разрыва водородных связей и их последующим восстановлением, увеличением числа заряженных частиц, их подвижности и активности.

Литература

1. Агеев И.М., Шишкин Г.Г. Корреляция солнечной активности с электропроводностью воды // Биофизика. – 2001. – Т. 46. – Вып.5. – С. 829-832.
2. Акопян С.Н., Айрапетян С.Н. Исследования удельной электропроводности воды при воздействии постоянного магнитного поля, электромагнитного поля и низкочастотных механических колебаний // Биофизика. – 2005. – Т. 50. – Вып. 2. – С. 265-269.
3. Бритова А.А., Адамко И.В., Бачурина В.Л. Активация воды лазерным излучением, магнитным полем и их сочетанием // Вестник Новгородского государственного университета. – 1998. – № 7. – С. 11-14.
4. Стась И.Е., Михайлова О.П., Бессонова А.П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды // Вестник Томского государственного университета. – 2006. – № 62. – С. 43-51.
5. Ускова Н.Н. Изучение влияния состава водородных растворов и внешних полей на ток заряжения ртутно-пленочного электрода // Дис. ... к-та хим. наук. Барнаул. – 2007. – 127 с.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СИБИРСКИХ РЕГИОНОВ

Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А., ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, bella@iwep.asu.ru

WATER RESOURCES IN THE CONTEXT OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SIBERIAN REGIONS

Vinokurov U.I., Krasnoyarova B.A., IWEP SB RAS, Barnaul, bella@iwep.asu.ru

В статье рассматриваются некоторые негативные тенденции в области водопользования в России в целом и в Сибири, в частности. Обосновывается необходимость учета «водного» фактора при разработке стратегических документов развития сибирских регионов. Называются три уровня интеграции, реализация которых позволит обеспечить решение проблемы улучшения водоснабжения населения и экономики водой необходимого качества и достаточного количества в интересах устойчивого развития.

In article consider some negative tendencies in the field of water use in Russia in whole and in Siberia, in particular. Necessity of the account of the "water" factor is proved by working out of strategic documents of development of the Siberian regions. Three levels of the integration which realisation will allow providing the decision of a problem of improvement of water supply of the population and economy with water of necessary quality and enough in interests of a sustainable development are called.

Водные ресурсы, их наличие и состояние являются одним из ключевых факторов развития мирового сообщества, цивилизации, в особенности в контексте ее устойчивого развития.

В фундаментальном документе «Повестка дня на XXI век» (Agenda 21) в разделе 18.2, сказано, что «вода необходима во всех сферах жизни». И с позиций водопользования «общая цель заключается в обеспечении адекватного снабжения водой хорошего качества всего населения нашей планеты, при этом сохраняя гидрологические, биологические и химические функции экосистем, корректируя деятельность человека с учетом возможностей природы и борясь со связанными с водой заболеваниями. Новые технологии, включая совершенствование местных технологий, необходимы для обеспечения полного использования ограниченных водных ресурсов и охраны этих ресурсов от загрязнения» [1].

С момента принятия этого документа прошло 18 лет, но мы мало продвинулись к достижению этой цели, а в чем-то даже откатились назад, и это не только российские, а общемировые реалии. Экономические кризисы, время от времени сотрясающие отдельные страны, а мировые кризисы в особенности, прежде всего, отражаются на условиях жизни людей: экономических, экологических, социальных.

С позиций сибирских регионов за постреформенные, начиная с 1990, годы можно констатировать общее сокращение использования свежей воды, хотя и несколько ниже, чем в среднем российском разрезе. За 1990-2008гг. по РФ в среднем использование свежей воды сократилось на 34,6%, а, например, по СФО – на 29%. Более чем в 2 раза сократились эти показатели в Алтайском крае, Омской и Иркутской областях, а в Тюменской и Томской – выросли в 1,22 и 2,8 раза, соответственно. Сократились и объемы оборотной и последовательно используемой воды, хотя и в меньшей мере – на 15,9% – по РФ, на 19,5% – по СФО. Ниже показатели сброса данных показателей по большинству сибирских регионов, а по Тюменской (с округами) и Томской областям

и Красноярскому краю объемы оборотной и последовательно используемой воды даже несколько выросли, особенно существенно – в 1,8 раза – по Томской области. Еще одним показателем, отражаемым российской статистикой, является сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты. Здесь также отмечается существенное сокращение объемов, причем по сибирским регионам сокращение даже выше, чем в среднем по России – на 48,7% – по СФО и 38,4% – по РФ. На фоне общего достаточно высокого сокращения сбросов по Кемеровской и Томской областям отмечается их рост в 1,04 и 1,8 раза. Хотя, следует отметить, что приведенные данные вряд ли отражают реальную обстановку:

Во-первых, в настоящее время в России отмечается смена форм собственности и организации производства, часть производства ушла в «малый сектор». Множество малых предприятий использует воду из городских водопроводов, сбрасывает сточные воды в бытовые канализационные сети, из-за небольших объемов производства не отчитываясь и не осуществляя платежей за загрязнение окружающей среды. Тем самым наблюдаются неучитываемые официальной статистикой процессы использования питьевых вод, в том числе и на технические цели, и сброс загрязнений в канализационную сеть ЖКХ, ориентированную на очистку бытовых, а не производственных стоков.

Во-вторых, статистикой учитываются лишь организованные, так называемые сосредоточенные стоки. В то же время существенный объем загрязнений по разным регионам и литературным источникам от 20 до 80 процентов, приходится на рассредоточенные стоки, которые осуществляют и промышленные, и сельскохозяйственные предприятия, а также поступают с ливневыми и талыми водами с территорий населенных пунктов и промышленных площадок. При надлежащей организации водоохранных зон (ВОЗ) эти стоки улавливаются и очищаются до поступления в поверхностные воды, однако режимы ВОЗ повсеместно нарушаются, и они не выполняют свои водоохранные (стабилизирующие) функции.

И, наконец, в-третьих, темпы сокращения водопотребления не соответствуют темпам снижения производства и в промышленности, и в сельском хозяйстве, а в ЖКХ отмечается рост хозяйственно-питьевого водоснабжения. В результате экономика России остается весьма водоемкой.

К сожалению, официальная статистика делает все, чтобы усложнить возможность сопоставления отдельных процессов за длительный ряд лет, меняется набор представляемых показателей, а также методика их расчета. Например, валовой региональный продукт (ВРП) рассчитывается не в сопоставимых, а текущих ценах, в результате на фоне сокращения физических объемов производства отмечается рост ВРП, и даже индекс его физического объема, характеризующий изменение объема ВРП в текущем периоде по сравнению с базисным и долженствующий исключать влияние изменения цен, показывает рост ВРП. В итоге с позиций водопользования, по данным [2] за 1990-1997 гг., когда приводится валовой внутренний продукт в сопоставимых ценах отмечается рост показателей удельных загрязнений и природоемкости экономики России, а за последние годы 2000-2008 гг. – снижение. В то же время даже в достаточно успешные для экономики России 2007-2008 гг. по большому кругу потребительских товаров, производимых в стране, не было достигнуто уровня 1990 г. Рост ВРП обеспечивается главным образом за счет отраслей горнодобывающего и топливно-энергетического комплекса [3,4].

Данные тенденции нашли свое отражение и в экономике сибирских регионов с высокой долей сырьевых отраслей. Отмечается значимый рост ВРП в Кемеровской, Томской и Иркутской областях, Красноярском крае, а также в Тюменской области с округами, которые несмотря на административную включенность в Уральский Федеральный Округ сложно исключить из числа сибирских регионов особенно при анализе водной составляющей развития.

Итак, можно констатировать, рост водоемкости экономики страны и сибирских регионов, в частности, и удельного загрязнения водных объектов в результате далеко не всегда рациональ-

ной хозяйственной деятельности. В результате даже на фоне некоторого сокращения забора воды из природных источников и использования свежей воды в большинстве регионов и по стране, в целом, и соответствующего сокращения сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты отмечается более чем 25%-ное превышение числа проб, несоответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим и около 25% – по микробиологическим показателям (среди сибирских регионов число нестандартных проб еще выше)[3].

К сожалению, административные органы управления в сибирских регионах еще не в достаточной мере осознают роль водной компоненты в развитии собственных экономик и здоровья граждан. Водные ресурсы в большинстве из них не являются лимитирующим количественным фактором, а за их качество расплачивается в основном потребитель – либо рублем, либо здоровьем. Поэтому региональные «водные программы» носят, как правило, декларативный характер и реализуются от силы на 20-30% запланированных объемов, что наглядно показывает наш опыт анализа региональных водохозяйственных программ по Верх-Обскому бассейну.

Анализ стратегических документов сибирских регионов Обь-Иртышского бассейна, концептуально ориентированных на достижение параметров устойчивого развития, показал существенные диспропорции, заложенные в процессе их разработки и реализации. Стратегии социально-экономического развития разрабатываются отдельно, их территориальная интерпретация в виде Схем территориального планирования – отдельно. Они слабо связаны между собой по срокам и ресурсам, методологически и стратегически.

В регионах Обь-Иртышского бассейна также были разработаны региональные (ведомственные) программы по обеспечению населения питьевой водой. Программы разрабатывались исходя из региональных особенностей и финансово-экономических возможностей региона. В соответствии с ними были сформулированы цели и основные задачи, которые ориентированы на гарантированное обеспечение граждан регионов питьевой водой нормативного качества в достаточном количестве в целях удовлетворения их жизненных потребностей, охраны здоровья и оздоровления социально-экологической обстановки. В число основных задач входят: восстановление, охрана и рациональное использование источников питьевого водоснабжения; повышение эффективности и надежности систем водообеспечения; укрепление материально-технической базы объектов водоснабжения; научное и технико-технологическое обеспечение развития систем питьевого водоснабжения; развитие нормативно-правовой базы и хозяйственного механизма водопользования, стимулирующего экономию питьевой воды и используемых ресурсов.

Анализ региональных программ показал, что несмотря на большое число программ с ежегодно увеличивающимся финансированием (в том числе из Федерального фонда регионального развития), их реализация осуществляется не в полном объеме как вследствие не достаточных возможностей бюджетов всех уровней, так и низкого уровня привлечения внебюджетных средств, отсутствия или низкого уровня внедрения механизма частно-государственного партнерства без учета иных современных реалий, в частности, природных – изменение климата и, соответственно, проявлением устойчивых тенденций к углублению и расширению процессов опустынивания территорий, изменению состояния источников водоснабжения и качеству вод; социальных – расслоение населения по качеству используемой воды; институциональных – изменение нормативной правовой базы, соблюдение требований ВТО и ВОЗ, особенно в части использования целевых индикаторов и ключевых показателей, позволяющих оценивать ход реализации программ (показатель здоровья населения в зависимости от качества водоснабжения, безопасность питьевой воды, достаточность воды и бесперебойность водоснабжения).

Таким образом, проблемы улучшения водоснабжения населения и экономики водой необходимого качества и достаточного количества имеют государственное значение и требуют комплексного решения на трех уровнях интеграции:

А). С позиций административно-территориального управления – в свете Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р, а также стратегических документов регионального уровня намечены основные направления и крупные проекты, ориентированные в конечном итоге на достижение устойчивого развития страны и ее регионов. Однако ни названная концепция, ни Стратегии развития Сибири и ее регионов не увязаны с «водным фактором». Данное обстоятельство может привести к тому, что этот фактор существенно ограничит потенциальные возможности сибирских регионов как с социально-экологических, так и геополитических позиций в случае чрезмерного изъятия либо загрязнения водных ресурсов.

Необходимы специальные водно-экологические исследования с целью учета их результатов при разработке стратегических документов развития сибирских регионов

Б). С позиций реализации бассейновой парадигмы управления водными ресурсами – бассейновый принцип формирования водных ресурсов требует адекватной системы управления, которая реализуется через создание и функционирование бассейновых управлений. Актуальным инструментом управления бассейновой системой являются Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), разработка которых в настоящее время последовательно реализуется в России. В сибирском регионе разработана СКИОВО р. Иртыш, которая, учитывая ее трансграничный характер, проходит согласование с казахской стороной; начата разработка схем рек Оби и Енисея.

ИВЭП СО РАН по заказу Верхне-Обского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов РФ заканчивает «Исследования современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах рек Оби и Иртыша», которые предваряют разработку СКИОВО. Следующий шаг – проектные работы, т.е. разработка собственно Схемы. Данная работа выполняется РосНИИВХ при непосредственном участии сотрудников нашего института.

В). С позиций внедрения интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) как процесса, который способствует скоординированному развитию и управлению в широком социальном смысле не только водными, но и другими связанными с ним ресурсами с целью оптимизации результатов в процессе экономического и социального развития общества при минимальном ущербе природной среде.

ИУВР ориентирован на достижение компромиссов между конкурирующими потребностями в водных ресурсах различных секторов общества и заинтересованных групп, позволяет организовать эффективное сотрудничество между ними, выработать согласованные стратегии развития с учетом интересов всех заинтересованных сторон в процессе принятия управленческих решений.

При реализации концепции ИУВР водные ресурсы являются, с одной стороны) важным ресурсом устойчивого развития с экономических позиций («вода как ресурс»), с другой, - индикатором такого развития с социальных (количество и качество питьевых вод) и экологических (состояние водных экосистем) позиций - «вода для жизни».

Литература:

1. <http://www.un.org/russian/conferen/wssd/agenda21/part2/ch18.htm>
2. Данилов – Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. М.: Прогресс – традиция. 2000.416с.
3. Охрана окружающей среды в России. 2006: Стат.сб./Росстат.- М., 2006.- 229.
4. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2009: P32 Стат. сб. / Росстат. М., 2009. 990 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ИНДИКАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ В ОПРЕДЕЛЕНИИ СТОКА НЕИЗУЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Гагаринова О.В., Ильичева Е.А.

Институт географии им. В.Б. Сочавы, Иркутск, whydro@irigs.irk.ru

CAPABILITIES OF INDICATION APPROACHES IN DEFINITION OF A RUNOFF IN UNEXPLORED AREAS

Gagarinova O.V., Ilyichyova E.A.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, whydro@irigs.irk.ru

Представлена методика определения гидрологических характеристик недостаточно изученной территории на основании применения индикационных гидрологических методов. Показаны возможности синтеза ландшафтно-гидрологического и структурно-гидрографического методов с целью определения водоотдачи с водосбора.

A method for definition of hydrological characteristics in unexplored areas based on the application of indication hydrological methods is presented. Capabilities of synthesis of landscape-hydrological and structurally-hydrographic methods for the purpose of definition of water return from a reservoir are shown.

Оценка водного потенциала территории, пространственного распределения гидрологических характеристик возможны путем использования индикационных гидрологических методов, которые подразумевают приемы определения состояния (характеристик и динамики) гидрологических систем территории на основе выявления состояния (характеристик и динамики) других систем, более доступных для исследования и измерения.

Существует значительное количество индикационных методов в гидрологии. Наше внимание уделено двум из них – ландшафтно-гидрологическому и структурно-гидрографическому. Они позволяют охарактеризовать гидрологическую организацию территории с определением средней водоносности рек и пространственной дифференциацией процесса водоотдачи в бассейне.

Основной задачей данного исследования является объединение возможностей этих двух индикационных методов с целью выявления общих взаимосвязей и определения закономерностей стокоформирования в условиях недостаточности измеренных гидрологических характеристик.

Ландшафтно-гидрологический метод исследования рассматривает речной бассейн как линейную систему, формирование стока в которой происходит в ландшафтных комплексах, характеризующихся относительной физико-географической однородностью и специфической структурой водного баланса, вследствие чего водоотдача с территорий, ими занятых, существенно различается. В информационном плане метод опирается на количественно интерпретируемые карты частных природных сред или их синтезные обобщения и величину стока в замыкающем створе водосбора. Границы распространения определенного ландшафта можно рассматривать как границы локальных зависимостей осадков и испарения от высоты. Поэтому при отсутствии экспериментальных материалов о влагообороте возможна комплексная индикация условий формирования водно-ресурсного потенциала ландшафтов с использованием индикационного значения растительных сообществ, морфологических признаков и почв.

Решение обратной задачи – разложение стока в замыкающем створе по территории водосбора с учетом геосистемной организации территории, позволяет произвести приближенную оценку

водоотдачи (модули или слои стока) с неизученных водосборов или их участков. Таким образом, решается множественная регрессионная задача для системы уравнений связи площадей ландшафтных комплексов для нескольких водосборов с соответствующими величинами гидрологических характеристик. Коэффициенты уравнений являются оценками удельного вклада элементарных однородных участков водосбора в бассейновый сток. Аргументами многопараметрической модели водосбора являются площади участков бассейнов, занятых однородными ландшафтами:

$$Q_j = \sum_i q_i f_{ij} ,$$

где j – индекс речного бассейна; Q_j – сток с него, л/с; q_i – модуль стока с i -го растительного сообщества, л/с км²; f_{ij} – площади j -го бассейна, занятые i -м ландшафтным комплексом, км². $\sum$

На этом этапе возможности расчета лимитируются наличием информации о стоке в замыкающих створах и именно здесь возможно применение структурно-гидрографического метода.

Суть его структурно-гидрографического метода заключается в использовании индикационных возможностей закономерностей строения речной сети, в которых заложена информация о геологических, геоморфологических и гидрологических аспектах зарождения и развития системы водотоков и дренируемых ими бассейнов для расчетов параметров водоносности речных систем. Индикационным признаком как характера гидрологических процессов, так и опосредованно ландшафтных условий является структура речной сети территории и ее энтропийные меры.

Закономерности строения речных систем – устойчивые соотношения их структурных параметров; в то же время для каждой системы значения этих соотношений индивидуальны, что обусловлено спецификой влагооборота, геологического строения и ландшафтом ее бассейна. Постоянство соотношения структурных мер со стоковыми характеристиками речных систем геологически однородных областей допускает использование зависимости $Q=f(M\text{-энт})$ в качестве расчетной. Исходной гидрологической информацией служат данные справочных материалов по всем имеющимся гидрометеорологическим створам исследуемой территории, приведенные к единому (30-летнему) периоду.

Установленные индикационные зависимости между структурными мерами и средними многолетними расходами воды для обеспеченных достоверной гидрологической информацией створов представляют семейство лучей. Каждая из полученных зависимостей соответствует определенному району, характеризующемуся однотипным набором физико-географических и геолого-геоморфологических условий. Зависимости описываются уравнениями регрессии, которые дают возможность по величине структурной меры определить сток неизученных рек. Рассчитанные на этой основе структурных мер средние многолетние расходы воды далее использованы в регрессионной модели для определения водоотдачи с территории водосбора.

В качестве модельного участка выбран бассейн р. Джиды притока р. Селенги. Сток рек формируется на склонах нескольких хребтов. Растительность представлена горно-таежными светлохвойными и темнохвойными сообществами в верхних частях водосбора с преобладанием степных территорий в средних и нижних частях. Среднее годовое количество осадков в районе 460 мм. Реки имеют паводочный режим, на теплый период приходится 70-80 % годового объема стока. Весеннее половодье слабое, сток межени теплого периода составляет 6-12% на больших и 1-2% на малых реках, в зимнюю межень сток – 2-5%. Малые реки зимой промерзают.

В таблице представлены расчеты водоносности для неизученных рек бассейна р. Джиды на основе вычисленных локальных коэффициентов для данных бассейнов и суммарной энтропии в узлах слияния притоков (таблица 1). Густота речной сети изменяется от 0,6 в горах до 0,2 в остепненных котловинах и впадинах. ГМК от 100 до 60 км•с/м³.

Таблица 1

Средняя водоносность рек бассейна р. Джида

Река	М-энт	α	Q, м³/с
Тотхолта	5,315	0,35	1,86
Джида после впадения Тотхолта	11,866	0,35	4,15
Хурлик	1	0,35	0,35
Джида после впадения Хурлик	18,447	0,35	6,46
Дархинтуй	11,827	0,32	3,78
Хасуртай	4,372	0,38	1,66
Цеже	5,237	0,38	1,99
Джида после впадения Цеже	103,078	0,38	39,2
Армак	7,209	0,41	2,96
Джида после впадения Армак	121,136	0,41	49,7
Торей	4,648	0,45	2,09
Джида после впадения Торей	129,06	0,45	58,1

Высокие значения локального коэффициента α характерны для более развитых и увлажненных речных систем, как правило, расположенных в глубоко расчлененных горных ландшафтах с достаточным количеством осадков, обеспечивающих сток. Более низкие значения α характеризуют речную сеть слабо дифференцированных плоскогорий и равнин, как правило, с небольшой густотой русловой сети, невысокими значениями осадков и небольшим стоком.

Таблица 2

Распределение стока с ландшафтов бассейна р. Джида

Ландшафтные комплексы	Интенсивность водоотдачи, М л/с*км²		
	Высокая	Средняя	Низкая
Гольцовые, подгольцовые			0,5-0,7
Горно-таежные светлохвойные склоновые	6,5-7,0		
Горно-таежн светлохвойные плоских пов-й			0,5-0,6
Горно-таежные темнохвойные		1,3-0,9	
Горные степные склоновые			0,4-0,6
Долинные луговые		0,9-0,7	
Горные степные равнинные			0,6-0,7
Болота			0,1-0,05

Рассчитанная таким образом норма стока использована в многопараметрической модели для расчета модулей стока с ландшафтных комплексов территории. В результате гидрологические свойства ландшафтов, представляющие величины их водоотдачи, находятся в пределах от 7 до

0,05 л/с*км² (таблица 2). Принимая во внимание приближенность оценок, пространственную дифференциацию водоотдачи с ландшафтов, целесообразно рассматривать деление территории на районы с низким, средним и высоким стоком, в количественном выражении задавая определенные интервалы (таблица 2).

Наиболее высокий модуль стока в многолетнем разрезе формируется в горно-таежных светлых хвойных склоновых ландшафтах, которые занимают относительно возвышенные средние части бассейна Джиды. Большая водоотдача обусловлена несколькими причинами и, в первую очередь, это высокий паводочный сток (до 80% объема от общего стока), который в этих ландшафтах на склонах достигает дренирующих водотоков в кратчайший период.

Средние показатели стока характерны для горно-таежных темнохвойных ландшафтов и лугов, занимающих подгорные территории и долины. Для темнохвойных ландшафтов свойственна высокая водоудерживающая способность, что обусловлено низким испарением, относительно высоким водопоглощением почвенно-грунтового слоя и напочвенного покрова. Долинные и подгорные луга являются транзитно-аккумулирующей зоной, собирающей воду, поступающую с вышележащих склонов и последовательно отдающей ее в речную сеть.

Минимальные модули стока на территории характерны для светлых хвойных равнинных и горных степных склоновых ландшафтах. Площади распространения данных ландшафтов приурочены к нижним частям бассейна, где количество осадков минимально, что и является основной причиной низкого притока воды в русловую сеть.

Таким образом, показана вероятность интеграции двух индикационных методов для определения водоносности речной сети и условий стокоформирования на водосборе в условиях слабой изученности. Возможности индикационных методов позволяют дать общую гидрологическую характеристику территории, показать водно-ресурсный потенциал, выявить водно-экологические проблемы и предложить направления для дальнейших более детальных исследований.

ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Галахов В.П.

ИВЭП СО РАН, Барнаул, galahov@iwep.asu.ru

ESTIMATED CONSTITUENTS OF WATER BALANCE IN RIVER BASINS BY SIMULATION TECHNIQUE

Galakhov V.P.

IWEP SB RAS, Barnaul, galahov@iwep.asu.ru

Разработана имитационная модель расчета составляющих водного баланса бессточного озера Чаны. Проведены численные эксперименты колебаний зеркала озера в естественном состоянии и после отчленения Юдинского плеса.

The simulation model for calculation of constituents of water balance of the closed lake Chany was developed. Numerical experiments on the lake surface fluctuations under natural conditions and after damming the Yudinsky stretch were performed.

Уравнение водного баланса бессточного озера выглядит следующим образом:

$$W_{\text{осадков}} + W_{\text{грунтовых}} + W_{\text{поверхн.}} - W_{\text{испарен.}} = \Delta W \quad (1)$$

Количество осадков, выпадающих на акваторию озера, будем определять по близлежащим ГМС и постам. При чем осадков над акваторией озера оно уменьшалось на 10%, по сравнению с земной поверхностью [3]. Испарение с поверхности акватории озера определялось по графикам Майера, но с поправочным коэффициентом, определенным по непосредственным наблюдениям (Новосибирское водохранилище).

Алгоритм расчета поверхностного стока достаточно подробно рассмотрен нами ранее [1]. Материалы численных экспериментов по расчету поверхностного стока приведены ниже (рис. 1). Измеренные и рассчитанные величины поверхностного стока демонстрируют довольно хорошую сходимость и могут быть использованы в модели водного баланса озера Чаны. Попробуем вначале рассчитать водный баланс без учета подземного стока и боковой приточности.

Численные эксперименты. Для оценки изменения уровня озера в алгоритм введем показатели предыдущего года для оценки площади озера, расчетов осадков на акваторию озера и испарения с нее. Выполним интересующие нас расчеты и сравним измеренные и расчетные колебания зеркала озера.

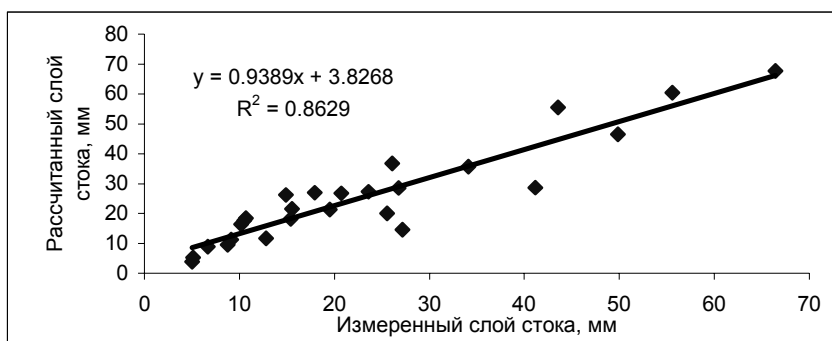


Рисунок 1. Измеренный и рассчитанный слой стока по створу Чулым-Старогорносталево по имеющимся в ИВЭП материалам (1949-1965, 1968-1970, 1976-1980 гг.)

Будем считать, что невязка (разница) измеренных и расчетных уровней возникает из-за недоучета подземного питания и боковой приточности.

На основе численных экспериментов принято, что величина подземного притока и боковой приточности постоянна и составляет для озера Чаны 140 мм (скорее всего, она зависит от площади зеркала и положения уровня) (рис. 2).

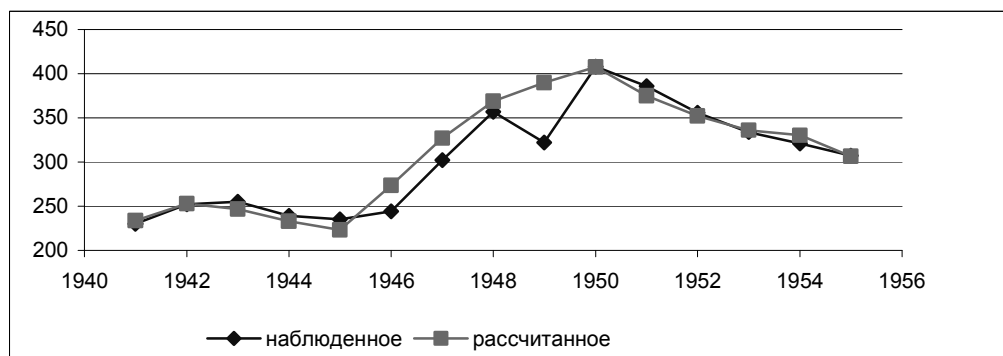


Рисунок 2. Колебания зеркала озера Чаны (см) для периода разработки модели (1941-1955 гг.); подземное питание и боковая приточность приняты постоянными и равными 140 мм

Проверим разработанный алгоритм на примере 1956-1965 и 1968-1970 балансовых годов (рис. 3) с неотчлененным Юдинским плесом и на примере 1971-1987 гг. с отчлененным Юдинским плесом (рис. 4). Как видим, разработанная модель достаточно точно отражает зависимость колебаний озера Чаны в зависимости от изменчивости метеорологических характеристик.

Скорости изменения поверхностного стока и колебаний зеркала озера при изменении метеорологических характеристик. Вначале с помощью имитационной модели рассмотрим скорости изменения поверхностного стока и колебаний зеркала озера при неизменных осадках, но при изменении термического режима. Расчеты будем проводить по средним многолетним температурам и осадкам (таблица 1).

При уменьшении температур поверхностный сток увеличивается, а зеркало озера должно подниматься. При увеличении температур происходит обратный процесс.

Рассмотрим, каким образом влияет на баланс озера изменение годовой суммы осадков. Примем внутригодовое распределение осадков современным (таблица 2).

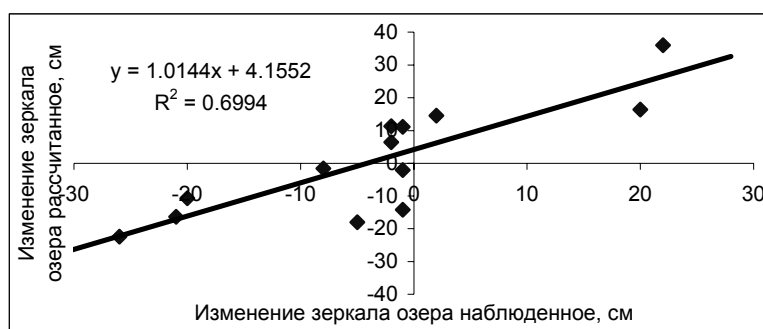


Рисунок 3. Связь измеренных и расчетных уровней озера Чаны за 1956-1965 гг. и 1968-1970 гг. Подземные воды и боковая приточность приняты постоянными и равными 140 мм. Юдинский плес не отчленен.

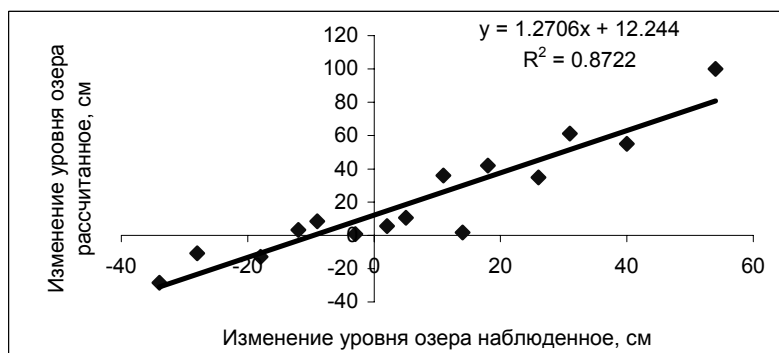


Рисунок 4. Связь измеренных и расчетных уровней озера Мал. Чаны за 1972-1980 гг., 1982-1987 гг. Подземные воды и боковая приточность приняты постоянными и равными 140 мм. Юдинский плес отчленен.

Таблица 1

Скорость изменения уровня зеркала озера Чаны при изменении термического режима

Отклонение температур, град. С	Баланс озера при неизменной площади, мм
-1,0	+68,83
-0,5	+39,07
0,0	0,0
+0,5	-29,68
+1,0	-60,53

Как видим, осадки более существенно влияют не только на поверхностный сток, но и на баланс озера Чаны. Материалы численных экспериментов показали, что для того чтобы зеркало озера при данных скоростях подъема или спуска стабилизировалось и баланс озера был равен нулю, должно пройти примерно 8-10 лет.

Таблица 2.

Скорость изменения уровня зеркала озера Чаны при изменении годовой суммы осадков

Изменение годовой суммы осадков	Баланс озера при неизменной площади, мм
-25	-89,2
0	0,0
+25	+39,1
+50	+125,0
+100	+273,7

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 08-05-00148.

Литература

1. Галахов В.П., Белова О.В. Формирование поверхностного стока в условиях изменяющегося климата (по исследованиям в бассейне Верхней Оби). Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2009. 93 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 2. Средняя Обь. М.: Гидрометеиздат, 1967. 355 с.
3. Грани гидрологии. / Под редакцией Джона К. Рода. Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 536 с.
4. Пульсирующее озеро Чаны. Л.: Наука, 1982. 304 с.

СТРОЕНИЕ, ДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ: НАПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гарцман Б.И.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, (gartsman@inbox.ru)

RIVER SYSTEMS CONSTITUTION, DYNAMICS AND EVOLUTION: STUDY DIRECTIONS AND INVESTIGATION METHODS

Gartsman B.I.

Pacific Institute of Geography FEB RAS, Vladivostok, (gartsman@inbox.ru)

Исследования структурно-функциональных отношений в речных системах основываются на представлениях о динамическом равновесии и минимальной диссипации энергии для объяснения свойств самоподобия и саморегуляции. Цифровые модели рельефа и программные средства новые инструменты анализа, классификации, палеореконструкций речных бассейнов.

Recent investigations of structure-functional relations in river systems are based on conception of dynamic equilibrium and minimum energy dissipation to explain its self-similarity and self-regulation features. Digital elevation models and special soft form a new tool for river basins analyzing, classification and paleoreconstruction of river basins.

Одной из крупных географических инноваций последнего времени являются цифровые модели рельефа (ЦМР) в виде общедоступных глобальных покрытий среднего (в обозримой перспективе – крупного) масштаба и высокого качества. Наиболее популярный, но не единственный, пример такого рода – покрытие SRTM на более чем 80% земной суши с разрешением 3 арк.сек., примерно эквивалентным масштабу карты 1:200000. ЦМР представляет собой специальную обработку космической съемки и обладает её важным преимуществом – генерализацией и наглядностью изображения многих наземных структур, что делает их доступными для прямого восприятия широкого круга специалистов.

Такую же информацию можно извлечь и из топографических и специальных карт, но это требует участия узких специалистов высокой квалификации. Именно сочетание наглядности, очевидности изображения, и возможности его детальной количественной обработки, вместе с глобальным характером и общедоступностью ЦМР, приводит к появлению качественно новых возможностей в целом ряде направлений наук о Земле – геологии, геоморфологии, географии, гидрологии и др.

Исторически исследование структуры речных систем развивается в рамках двух дисциплин – флювиальной геоморфологии и структурной гидрографии. В первом случае оно направлено на использование рисунка речной сети, строения бассейнов и долин, для целей морфоструктурного анализа и палеогеографических реконструкций [4]. Истоки этого направления восходят к классическим работам конца XIX столетия, во второй половине XX века оно активно развивалось в нашей стране. Их методология была основана на фациальном анализе локальных аллювиальных осадков, изучении морфологии долины, террасовых рядов, динамических стадий развития долин водотоков. В результате были сформулированы такие ключевые понятия, как нормальная мощность аллювия, профиль равновесия, представления о цикловых террасах и др.

Анализ гидросети является важным компонентом дешифрирования космических и аэрофото-

снимков. Гидросеть нередко сопряжена с границами геотектонических и морфоструктур, она избирательно препарирует литофациальные комплексы отложений, быстро наследует проявления новейшей тектонической трещиноватости. Рисунок гидросети и структура бассейнов в неотектонически активных районах жестко подчинена структуре разломов и их кинематике. Относительно молодое ответвление флювиальной геоморфологии акцентирует внимание на исследовании климатических факторов рельефообразования и придает им в некоторых случаях определяющую роль.

В целом, в рамках геоморфологических исследований акцент уделялся в большей степени исследованию строения и эволюции речных долин, и в подчиненном плане – наполняющей ее гидросети. Подход доказал свою эффективность, однако главными недостатками его оставались качественный характер теоретической базы, высокая субъективность и большая трудоемкость анализа, практически исключавшая его эффективное применение в широких масштабах.

В рамках структурной гидрографии [3] центральным вопросом всегда было выявление внутренних закономерностей структуры и развития речных систем. Другими словами, если первое направление рассматривает речную сеть скорее как компонент морфоструктуры и продукт современного рельефообразования, то второе рассматривает рельеф как часть речной системы, а морфоструктуру – как внешнюю среду её развития. В первой половине 1980-х годов исследования по этому направлению в России были практически свернуты, большей частью из-за отсутствия адекватной информационной и технологической базы. Однако за рубежом, где ЦМР и компьютерные технологии стали широко использоваться намного раньше, оно успешно и активно развивалось [1].

Уже существует ряд статистических и детерминированных моделей нового поколения, ориентированных на решение как фундаментальных, так и прикладных задач гидрологии. Существует, как упоминалось, и большой положительный опыт анализа строения речной и долинной сети для решения различных геолого-геоморфологических задач. Однако во всех случаях ключевым моментом их применения является современные методы и технологии анализа структуры речных систем на основе ЦМР, позволяющие быстро и в массовом масштабе получать необходимые параметры [2].

На начальной стадии развития направления преобладало накопление эмпирических данных, которые нашли выражение в т.н. «законах Хортона» – устойчивых коэффициентах пропорциональности между осредненными характеристиками водотоков соседних порядков, вне зависимости от значения этих порядков. Другим важнейшим результатом явилось установление широкой распространенности и устойчивости степенных функций, связывающих гидрографические и гидравлические характеристики. Оба результата отражают базовое свойство самоподобия речных систем, поскольку вид зависимостей не изменяется при изменении масштаба.

По мере накопления эмпирических данных исследования перешли в стадию разработки классических моделей – физических и математических (стохастических, детерминированных). В настоящее время определились возможности моделирования речных систем на основе концепции оптимальной русловой сети бассейна, включающей принципы мультифрактальности, самоорганизации и минимальной диссипации энергии. В целом можно говорить этапе построения полноценной теории речных систем, опирающейся на строгие принципы и законы, позволяющей формальные выводы и корректную постановку эксперимента.

Речная система представляет собой поистине завораживающий объект для исследования. При взгляде на неё естественным образом возникают аналогии с живым организмом – легко увидеть аналогии скелета, кровеносной системы и т.п. Вполне очевидно могут быть сформулированы корректные аналогии таких понятий, как метаболизм, поведение и др. Собственно, сам термин «система» служит для обобщения свойств организма на более широкий класс объектов. Ключевые

свойства и признаки системы и организма совпадают, т.е. организм можно рассматривать как эталон системы, а остальные объекты могут называться системами лишь по мере их имманентного сходства с организмом. В таком аспекте речной бассейн может рассматриваться как эталон геосистемы.

Таким образом, давний и неослабевающий интерес к исследованиям структуры речных систем, который нередко маскируется под различного рода научно-прикладные и даже инженерные задачи, имеет на самом деле глубоко фундаментальный характер. Он связан с изучением базового свойства самоорганизации материи, для чего речные системы представляют собой один из наиболее удобных объектов. Основной интерес концентрируется на движущих силах и закономерностях флювиальной эрозии, транзита и аккумуляции в различных физико-географических обстановках, образующих чрезвычайно устойчивые и характерные структуры речных систем, как в смысле их планового рисунка, так и в смысле сочетания форм рельефа русел, долин, склонов и водораздельных поверхностей.

Существует общее представление, что речные системы в относительно стабильных условиях развиваются квазиравновесно при определяющей роли внутренних механизмов, и стремятся к образованию некоторой «органичной» формы, адекватной этим условиям. Очевидно, при нестациональности условий развитие речных систем протекает неравновесно, что приводит к выраженной «неорганичности» их форм. В связи с этим перспективным представляется исследование речных систем в пределах активных континентально-океанических зон, например северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса.

Район охватывает последовательность островных и полуостровных участков суши, достаточно крупных для формирования речных систем, и находящихся под непосредственным влиянием сейсмогенных линейментов, вытянутых вдоль Тихоокеанского побережья Восточной и Северо-Восточной Азии. Эволюция речных систем здесь протекает при повышенной или определяющей роли геотектонических факторов, характеризуется высокой интенсивностью и выраженной неравновесностью. Это отражается в пространственной локализации и особенностях проявления опасных природных явлений - паводков, селей, оползней, русловых деформаций.

Современным инструментарием исследований служат ЦМР, стандартные программные средства ESRI Arc Map, Arc Hydro Tools, Spatial Analyst, а также оригинальные программные средства, позволяющие подразделять речные системы на индивидуальные водотоки и связанные с ними частные водосборы и получать исчерпывающие базы структурно-гидрографических, морфометрических и гидравлических параметров.

Полученные данные не только детально представляют внутреннюю пространственную дифференциацию бассейна, но и позволяют вычислять генерализированные бассейновые характеристики: коэффициенты законов Хортона, энтропию по Шеннону, фрактальную размерность, распределение площади бассейна по «высоте-уклону-экспозиции», диаграммы зависимостей средней высоты, среднего уклона, ширины (width function) и суммарного индекса напряжения сдвига («energy function») от расстояния до замыкающего створа, а также многие другие.

Вся совокупность данных принципиально улучшает возможности структурно-морфологического анализа, по сравнению с традиционно используемым ограниченным набором интегральных характеристик, таких как порядок реки, площадь, средняя высота и средний уклон водосбора, густота и средний уклон речной сети, и т.п. Это позволяет углубленно исследовать структурно-функциональные отношения в речных системах, существенно усовершенствовать методы классификации, зонирования, палеореконструкций речных бассейнов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (08-05-00299, 09-05-13539, 10-05-92000).

Литература

1. *Rodrigues-Iturbe I., Rinaldo A.* Fractal River Basin. Chance and self-organization - Cambridge Univ. Press, 1997.
2. *Гарцман Б.И., Бугаец А.Н., Тегай Н.Д., Красношеев С.М.* Анализ структуры речных систем и перспективы моделирования гидрологических процессов / География и природные ресурсы. – № 2. – 2008.
3. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция в природопользовании. – Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2001.
4. Морфоструктурный анализ речной сети СССР / отв.ред. И.П. Герасимов, С.С. Коржуев. – М.: Наука. 1979.

ПОДХОДЫ К СЦЕНАРНОЙ ОЦЕНКЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В КРУПНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Барабанова Е.А.
Институт географии РАН, Москва, hydro-igras@yandex.ru

THE APPROACH TO SCENARIO ASSESSMENT OF WATER RESOURCES CHANGES IN LARGE RIVER BASINS

Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Barabanova E.A.
Institute of Geography, RAS, Moscow, hydro-igras@yandex.ru

На основе разработанного в Институте географии РАН подхода к долгосрочному сценарному прогнозированию изменений ресурсов стока в крупных речных бассейнах оценен диапазон изменений речного стока в бассейнах Волги и Дона, возможный в первой трети XXI века.

Range of probable changes in river runoff in the first third of the XXI century in Volga and Don river basins were estimated based on the approach to long-term scenario prediction of river runoff changes in large river basins developed in Institute of Geography RAS

В настоящее время методология создания сценариев состояния водных систем в условиях совместного влияния глобального потепления климата и изменений социально-экономического фактора, основанная на математических моделях природных процессов и ГИС технологиях с включением водохозяйственного комплекса активно разрабатывается, в том числе и участниками проекта [3, 4]. Очевидно, что использование сценариев в практике прогнозирования и планирования развития водохозяйственного комплекса, а также других отраслей хозяйства (включая обоснование безвозвратного изъятия речного стока) представляет собой одну из важнейших основ создания надежной системы экологически безопасного управления водными системами в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия.

Методология долгосрочного сценарного прогнозирования изменений ресурсов стока в крупных речных бассейнах России в первой половине XXI века включает в себя метод сценарной оценки диапазона возможных климатических изменений, основанный на обобщении результатов расчетов, выполненных на ансамбле глобальных климатических моделей и методов их усвоения; модель месячного водного баланса; метод вариантных сценарных оценок трансформации водохозяйственного комплекса и ГИС технологии. Такой подход позволяет получить долгосрочный сценарный прогноз: (1) изменений ресурсов стока в крупных речных бассейнах в результате глобальных и региональных изменений климата и (2) трансформации водохозяйственного комплекса, вызванного социально-экономическими изменениями, происходящими в стране, и их воздействия на характеристики ресурсов речного стока.

Модель месячного водного баланса Института географии РАН [1, 4] прошла апробацию в разных природных зонах России и показала надежность при воспроизведении современного речного стока на уровне средних и крупных речных бассейнов.

Методология долгосрочного сценарного прогнозирования трансформации характеристик водохозяйственного комплекса и водопотребления исходит из сценарных оценок будущей социально-экономической ситуации и трансформации водохозяйственного комплекса и включает в себя несколько блоков [3]: изменение численности населения и развития хозяйства; разных способов использования и охраны вод с учетом разных технологий предотвращения и ослабления загрязнения водных ресурсов.

В качестве климатического сценария используется диапазон возможных климатических изменений, который рассчитывается по результатам численных расчетов отклонений климатических элементов от их современных значений, проведенных на ансамбле из 10 климатических моделей, исходящих из двух контрастных сценариев мирового социально-экономического развития (A2 и B1), включенных в программу последнего эксперимента 20C3M-20th Century Climate in Coupled Models, проведенного в рамках программы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и отобранных на основе сравнения наблюдаемого и модельного современного климата [2]. Усвоение данных глобальных климатических расчетов (были использованы файлы формата NetCDF-Network Common Data Form) проводилось по разработанной методике, основанной на геоинформационной системе ArcView 3.2, в которой данные формата NetCDF преобразовывались в формат GRID, а программа обработки климатических данных была написана на языке Avenue.

1. Сценарные изменения климатических условий и речного стока в первой трети XXI столетия (2010-2039 гг.) в бассейнах рек Волги и Дона

Климатические условия. В бассейнах рек Волги и Дона в условиях первой трети века согласно обоим сценариям (A2 и B1) можно ожидать весьма сходного повышения среднегодовой температуры воздуха в пределах 1,5-1,6°C. Сценарии изменения среднегодового атмосферного увлажнения предсказывают его увеличение, которое, однако, находится в пределах нескольких процентов.

Ожидается, что наибольший рост осадков в обоих бассейнах произойдет в холодный период года. В летние же месяцы они могут даже уменьшиться. Такой характер внутригодового распределения устойчив для двух рассматриваемых климатических сценариев. Внутригодовое распределение положительных изменений температуры воздуха характеризуется, как правило, двумя сопоставимыми между собой зимним и летним «пиками». В бассейне Дона (сценарий B1) «пик» летнего температурного повышения может превысить зимний.

Гидрологические условия. Для получения сценарной оценки изменений речного стока в бассейне Волги, возможных в первой трети и в середине XXI века, исходя из рассмотренных выше климатических сценариев, были проведены расчеты на модели месячного водного баланса Института географии РАН.

Расчеты показали, что в случае реализации сценариев A2 и B1 в первой трети текущего столетия можно ожидать слабо заметного повышения годового стока в бассейне р. Волги (в пределах 3–5%) и его более существенного роста в бассейне реки Дона (9–12%).

Потепление климата в первой трети века может вызвать трансформацию внутригодового распределения речного стока, которое характеризуется компактным преобразованием путем перераспределения стока в период прохождения половодья, пик которого сместится на более ранние сроки. При этом произойдет рост максимального месячного стока в период половодья для условий обоих сценариев.

2. Сценарные изменения характеристик системы водопользования на уровне 2025-2030 гг.

При разработке сценарных прогнозов использования водных ресурсов Волги и Дона важно выявить общие и специфические черты современного водопотребления. Общее заключается в том, что в обоих бассейнах вода забирается и расходуется на одни и те же нужды, хотя и в разном процентном соотношении. Близка эффективность водопотребления, которую нельзя назвать высокой. Наконец, очень важно для прогностических целей, что динамика общего водопотребления в последние десятилетия хорошо коррелирует с динамикой водопотребления России в целом. Правда, эта связь для бассейна Волги все же выше, чем для Дона. Различия, в основном, обусловлены более южным положением бассейна Дона и относительно более высоким в целом антропогенным прессом на водные ресурсы. Так, в начале XXI века водозабор в бассейне составил 20–25% среднегодового стока Дона, а для Волги – он в два с лишним раза меньшую величину. В том числе, все виды безвозвратных изъятий (с учетом задержания стока антропогенными мероприятиями и дополнительных потерь на испарение с акватории прудов и водохранилищ)

оцениваются, соответственно, в 15–20 и 5–10%.

В расчетах на перспективу учитывались 3 варианта экономического развития (максимальный, средний и минимальный) при современном удельном водопотреблении и также 3 варианта снижения удельного водопотребления. При сохранении современной удельной водоемкости и современных климатических условий водозабор в бассейне Дона может возрасти в 1,8–3 раза, а объем безвозвратных изъятий в 1,5–2,5 раза. Для Волги соответствующие значения составят 1,7–2,9 и 1,5–2,2 раза. Если судить по величине безвозвратного расхода и объема сточных вод, то по минимальному варианту развития будет достигнут уровень антропогенного воздействия на водные ресурсы примерно соответствующий периоду наибольшего воздействия в 1980-е годы. Средний и максимальный варианты значительно превзойдут этот уровень, что является неприемлемым, в основном, с экологических позиций.

Варианты снижения удельного водопотребления предусматривают при одних и тех же сценариях экономического развития как умеренное, так и весьма радикальное снижение удельной водоемкости. Так, в промышленности диапазон соответствующих коэффициентов колеблется от 1,2 до 1,7, в сельском хозяйстве – от 1,1 до 1,5, в хозяйственно-бытовом секторе они ниже (1,5–1,2), учитывая, что еще не везде обеспечиваются необходимые нормы водопотребления. Расчеты с учетом технического прогресса в водопотреблении позволяют существенно снизить показатели использования воды по сравнению с вариантами, ориентированными на существующее удельное водопотребление. При этом варианты минимального экономического роста и наибольшего технического прогресса дают водопотребление в бассейнах обеих рек близкое или даже более низкое, чем в начале XXI века.

Во многом остается неясным вопрос о влиянии климата на удельное водопотребление. В первом приближении можно ориентироваться на его изменение на 10–20 %.

Полученные сценарные оценки показывают, что в бассейнах рек Волги и Дона в первой трети текущего столетия можно ожидать относительно небольших изменений годового речного стока и его внутригодового распределения, тогда как изменения характеристик системы водопользования могут носить в ряде сценариев ее развития крайне негативный характер. Так сохранение и впредь существующих норм удельного водопотребления неприемлемо, особенно для бассейнов Дона и Волги, т.к. создает чрезмерную нагрузку на водный элемент окружающей среды. Максимальное внедрение передовых технологий водопотребления может снизить на уровне 2025-2030 гг. антропогенную нагрузку до значений близких, или даже меньших тех, которые наблюдаются в настоящее время при значительно более высоком уровне благосостояния населения.

Литература

1. 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
2. Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. – М.: Макс Пресс, 2008. – 290 с.
3. Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Милюкова И.П., Барабанова Е.А. Разработка сценарных прогнозов состояния водных ресурсов на примере бассейна р. Лена // Стратегические проблемы водопользования России. Сборник научных трудов. – М.: 2008. – С. 351-360.
4. Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kislov A.V., Barabanova E.A. Integrated Scenarios of Long-Term River Runoff Changes within Large River Basins in the XXI Century. The Role of Hydrology in Water Resources Management. IAHS Publication, 327 – Wallingford, UK. – 2009. – P. 45-51.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ И ПРОГНОЗНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЧВЕННЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ

Георгиади А.Г., Кашутина Е.А.

Институт географии РАН, Москва, galex50@gmail.com

REGIONAL FEATURES OF RECENT AND SCENARIO CHANGES OF SOIL MOISTURE RESERVES

Georgiadi A.G., Kashutina E.A.

Institute of Geography, RAS, Moscow, galex50@gmail.com

Выявлены региональные особенности многолетних изменений запасов продуктивной влаги почвы в зерновом поясе России. Для центральной лесостепи Русской равнины получены модельные оценки сценарных изменений влагопереноса в системе «почва-растительность – приземный слой атмосферы».

Regional features of long-term changes of plant available soil moisture reserves over grain belt of Russia were revealed, and model assessment the scenario changes in moisture transfer within system "soil - vegetation - atmosphere surface layer".

*Региональные особенности многолетних изменений запасов
продуктивной влаги почвы в зерновом поясе России*

I. Используемые данные

1. Среднеобластные данные о продуктивных влагозапасах почвы на участках, занятых яровыми зерновыми культурами (пшеница и ячмень) в слое 0-100 см за период 1958-2007 гг. в основных зернопроизводящих регионах, расположенных в лесной, лесостепной и степной зонах и охватывающих основные агрогидрологические районы. В анализе использованы данные по следующим субъектам РФ: Алтайский и Ставропольский края, Башкортостан и Удмуртия, Воронежская, Иркутская, Костромская, Курганская, Курская, Московская, Нижегородская, Омская, Оренбургская, Ростовская, Самарская, Саратовская, Свердловская и Тамбовская области.

2. Данные о продуктивных влагозапасах почвы на участках, занятых яровыми зерновыми культурами (пшеница и ячмень) в слое 0-100 см за период 1971-2007 гг. избранных агрометеостанций, расположенных в основных зернопроизводящих регионах. Были использованы данные по следующим агрометеостанциям: Буденновск (Ставропольский край), Зима (Иркутская область), Кабанск (Бурятия), Калач (Воронежская область), Матвеев Курган (Ростовская область), Моршанск (Тамбовская область), Огурцово (Новосибирская область), Славгород (Алтайский край), Тим (Курская область), Тимашевская (Краснодарский край).

3. Многолетние данные о погодичных запасах влаги в почве по декадам в слое 0-100 см за период 1969-1980 гг. по избранным агрометеостанциям Верхне-Волжского региона.

II. Линейные тренды многолетних изменений продуктивных влагозапасов почвы

Наиболее заметные положительные тренды продуктивных влагозапасов, проявляющиеся во все сезоны вегетации зерновых культур (с конца апреля по конец июля), характерны для лесостепи и степи центральной и восточной частей Русской равнины. Наибольшие значения коэффициента детерминации превышают 0,4 в течение всех месяцев вегетационного периода в Курской области. Чуть менее заметные, но статистически значимые тренды отмечаются в Воронежской, Саратовской, Самарской и Тамбовской областях. В южной и юго-восточной частях Русской рав-

нины статистически значимые, но менее выраженные тренды выявляются не во все месяцы вегетационного периода Ростовская и Курганская области, Ставропольский край. В Оренбургской области заметный тренд характерен для второй половины вегетационного периода. В зернопроизводящих регионах лесной зоны Русской равнины значимые линейные тренды отмечаются в отдельные месяцы в Московской и Нижегородской областях. В южных регионах Сибири наибольшие коэффициенты детерминации наблюдаются в Омской области (0,3-0,44), тогда как в Алтайском крае и Иркутской области значимых трендов не обнаруживается.

Анализ трендов изменений месячных приращений продуктивных среднеобластных влагозапасов в метровом слое почв в Курской и Воронежской областях (которые характеризуются наибольшими трендами многолетних изменений месячных значений влагозапасов почвы) показывает, что статистические значимые положительные тренды изменений этих показателей обнаруживаются только для июньских приращений.

По данным о продуктивных влагозапасах почвы избранных агрометеостанций получены изложенные ниже результаты.

Наиболее заметные положительные тренды также выявляются в центральной лесостепи Русской равнины, но коэффициенты детерминации оказываются существенно ниже, чем для среднеобластных данных. Так для станции Тим (Курская обл.) коэффициент детерминации не превышает 0,26, для станции Калач (Воронежская обл.) – 0,35. Вместе с тем на станции Буденновск (Ростовская обл.) коэффициенты детерминации в ряде месяцев превышают их среднеобластные значения.

III. Сопряженность сезонных изменений продуктивных влагозапасов в метровом слое почвы на участках, занятых яровыми зерновыми культурами и условно естественной растительностью (разнотравьем)

Сравнение было проведено на примере двух станций, расположенных в лесной зоне (Кострома, Ижевск) за период 1969-1980 гг. Оно показало, что ход внутригодовых изменений влагозапасов в этих геосистемах в годы с разным характером метеорологических условий совпадает между собой, а абсолютные различия во влагозапасах в подавляющем большинстве лет минимальны. Эта закономерность, отмеченная в прежних исследованиях для условий центральной лесостепи Русской равнины [4], позволяет с достаточной точностью оценивать изменения влагозапасов в одной геосистеме по данным о динамике влагозапасов в другой с однородными метеоусловиями.

Изменения влагопереноса в системе «почва – растительность – приземный слой атмосферы» в сценарных условиях XXI века в центральной лесостепи Русской равнины (бассейн р. Сейма)

Разработанная и параметризованная одномерная модель влагопереноса в системе «почва-растительность – приземный слой атмосферы» [1] была использована ранее для оценки изменений в условиях сценарных изменений климата, полученных на основе численных экспериментов, проведенных на ряде избранных глобальных климатических моделях [2]. В качестве климатического сценария используется диапазон возможных климатических изменений, который рассчитывается по результатам численных расчетов отклонений климатических элементов от их современных значений. Расчеты проведены на ансамбле из 10 климатических моделей, исходящих из двух контрастных сценариев мирового социально-экономического развития (A2 и B1), включенных в программу последнего эксперимента 20C3M-20th Century Climate in Coupled Models [5] и отобранных на основе сравнения наблюдаемого и модельного современного климата [3]. Смоделированный гидрологический цикл вегетационного периода лесостепи в XXI веке (на уровне 2025, 2050 и 2075 гг.) был сопоставлен с данными, полученными для конца XX столетия (условно обозначены как 1990 г.) и со смоделированным циклом для оптимума голоцена, рассчитанным также по осредненному по ансамблю моделей сценарию.

Расчетами были охвачены все геосистемы центральной лесостепи. Неосвещенными болота,

городские и прочие селитебные территории.

По результатам модельных расчетов, в целом, можно отметить незначительные изменения испарения с поверхности почвы, транспирации и суммарного испарения в течение XXI столетия, причем внутрисезонный ход изменения испарения достаточно индивидуален в зависимости от вида угодья. Ход изменения влажности почвы в течение вегетационного сезона, в общем, повторяет динамику прогнозируемого хода атмосферных осадков. Для сценариев серии А2 почвенные влагозапасы сокращаются быстрее, чем по сценарию серии В1. Однако при рассматриваемых вариантах расчета почвенные влагозапасы в течение XXI века не лимитируют процессы испарения, влаги все еще хватает для выращивания традиционных сельскохозяйственных культур, транспирация посевами почти повсеместно увеличивается. Только растительность с длительными сроками вегетации (в основном близкая к естественной: сенокосы, степные участки, многолетние травы) начинает испытывать недостаток влаги, что приводит к сокращению транспирации, максимум на 10,9 мм к 2075 г. (на некосимой степи).

Лесная растительность, также относящаяся к группе угодий с длительными сроками вегетации, благодаря хорошо развитой глубокой корневой системе в меньшей степени подвержена влиянию дефицита влаги в верхнем метровом почвенном слое. Испарение в течение всего XXI столетия на лесных участках достаточно стабильно.

Гидрологический цикл некосимой степи подвержен более значительному влиянию внешних климатических факторов по сравнению с лесными участками (подчеркнем, что это при условии достаточного начального весеннего промачивания почвы). Испарение с лесных участков и девственной степи в период оптимума голоцена, по нашим расчетам, оказалось близким к рассчитанным по модели для конца XX столетия. За счет естественного растительного покрова для оптимума голоцена в масштабах всей рассматриваемой территории характерно значительно более рациональное использование воды растительностью: транспирация превышает современную почти в 2 раза, а испарение с почвы, напротив, почти в 2 раза меньше. Для XXI века при осреднении по территории характерно очень незначительное увеличение всех видов испарения по сравнению с концом XX столетия и увеличение дефицита влажности почвы к концу вегетационного сезона.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, грант 08-05-01051.

Литература

1. Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Изменение гидрологического цикла вегетационного периода Центральной лесостепи в XXI столетии при реализации различных климатических сценариев. // Вопросы географии. Географо-гидрологические исследования. Сборник научных трудов. – Москва, в печати.
2. Кашутина Е.А. Моделирование межгеосистемных различий влагопереноса в почве-растительности-атмосфере лесостепи. – Автореф. дисс. канд.геогр. наук. – М.: ИГ РАН, 1999. – 24 с.
3. Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. – М., Макс Пресс. 2008. – 290 с.
4. Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Kashutina E.A., Kitaev L.M., Dobrodeev V.G. Intergeosystem, Intraecosystem and Regional Variability of soil moisture for Kursk model region. – Remote Sensing Reviews, – Vol. 17. – 1998. – P. 239-250
5. Meehl, G. A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, and K. E. Taylor: The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, Bulletin of the American Meteorological Society. – 2007. – 88. – P. 1383-1394.

ТРЕНДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ СНЕГОЗАПАСОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Голубев В.Н., Фролов Д.М.

МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, golubev@geol.msu.ru

TREND CHANGES AND INTERANNUAL VARIATIONS OF SNOW COVER WATER EQUIVALENT ON THE TERRITORY OF RUSSIA.

Golubev V.N., Frolov D.M.

Lomonosov MSU, Moscow, golubev@geol.msu.ru

Строение, толщина и водозапас снежного покрова определяются комплексом метеорологических явлений зимнего сезона, периодичность и интенсивность проявления которых зависят от региональных климатических условий и амплитуды их межгодовых вариаций, обычно существенно превышающих трендовые изменения показателей климата.

The snow structure, snow cover depth, snow cover water equivalent is determined by complex of winter season meteorological events. Periodicity and intensity of those events depend on indices of regional climatic conditions and amplitude of theirs interannual variations. Interannual variations usually significantly exceed trend changes (alterations) of climate conditions indices.

Возможность эффективного использования снежного покрова или защиты от его неблагоприятного воздействия зависит от своевременного поступления информации об его распространении, свойствах и строении (стратиграфии). Наличие слоев снега, выпавшего при разных погодных условиях, предполагает неоднородность физических свойств и строения в вертикальном (стратиграфическом) разрезе снежной толщи. Пространственная неоднородность строения, свойств, толщины, продолжительности залегания и метаморфического преобразования снежного покрова на уровне геосистем обусловлена различием региональных климатических условий, а на локальном уровне – местными особенностями ландшафтов (крутизна и экспозиция склонов, шероховатость поверхности, наличие и характер растительности и др.) [3]. Оценка водозапаса снежного покрова сопряжена с проведением обширного комплекса наземных наблюдений и/или с проблемами дешифрирования материалов дистанционных измерений. Обычно это космическая микроволновая съемка территории в нескольких диапазонах с разрешением порядка 2000 км². Отсутствие сведений о стратиграфии снежного покрова, присутствии горизонтов перекристаллизованного снега и корок разного генезиса, а также о влажности снега существенно ухудшают надежность дешифрирования материалов дистанционных измерений в показателях толщины/водозапаса снежного покрова. Интенсивная перекристаллизация снега и формирование глубинной изморози может стать причиной завышения водозапаса по сравнению с реальным значением, а наличие в снежном покрове ледяных прослоев и жидкой влаги приведет к заниженному результату [1].

Особенности строения снежного покрова обусловлены вариациями региональных климатических условий в текущий сезон, вследствие чего доля текстурных неоднородностей в разрезе не может быть охарактеризована заранее, а доступная информация сетевых метеостанций требует определенной генерализации [2]. Поэтому актуальными задачами при оценке водозапаса снежного покрова становятся: построение на основе стандартной метеорологической информации региональных стратиграфических разрезов, отражающих климатические условия текущего зим-

него периода, а также создание диаграмм зависимости толщины и водозапаса снежного покрова в период максимального снегонакопления от средних значений температуры зимнего периода и суммы твердых осадков.

Многолетние изменения климатических условий сопровождаются их межгодовыми вариациями, обусловленными периодической сменой преобладающего типа атмосферных циркуляционных процессов. Данные о термическом режиме зимнего периода, сумме твердых осадков и толщине снежного покрова в 1960-2009 гг. (рис. 1) позволяют характеризовать трендовые изменения и их межгодовые вариации в этот период. Трендовые изменения на территории Северной Евразии в этот период они были положительными и составили: температуры холодного периода – $0,032^{\circ}\text{C}/\text{год}$, суммы зимних осадков – $0,8 \text{ мм}/\text{год}$, толщины снежного покрова – $0,12 \text{ см}/\text{год}$. Средние значения межгодовых вариаций температуры были равны $1,5^{\circ}\text{C}$, осадков – 10 мм , толщины снежного покрова – 2 см , а максимальные достигали 3°C , 30 мм и 7 см , более чем на порядок превышая величину трендовых изменений. Соотношения между трендовыми изменениями и межгодовыми вариациями температуры воздуха, суммы осадков и толщины снежного покрова имеют один порядок величины. И межгодовые, и трендовые изменения температуры воздуха, суммы осадков предполагают соответствующие вариации частоты снегопадов и сильных ветров, перепадов температуры и оттепелей. Это должно находить свое отражение в изменениях толщины и строения снежного покрова и, учитывая сезонность его существования, позволяет рассматривать межгодовые аномалии этих характеристик снежного покрова как возможную его реакцию на прогнозируемые долговременные климатические изменения [1].

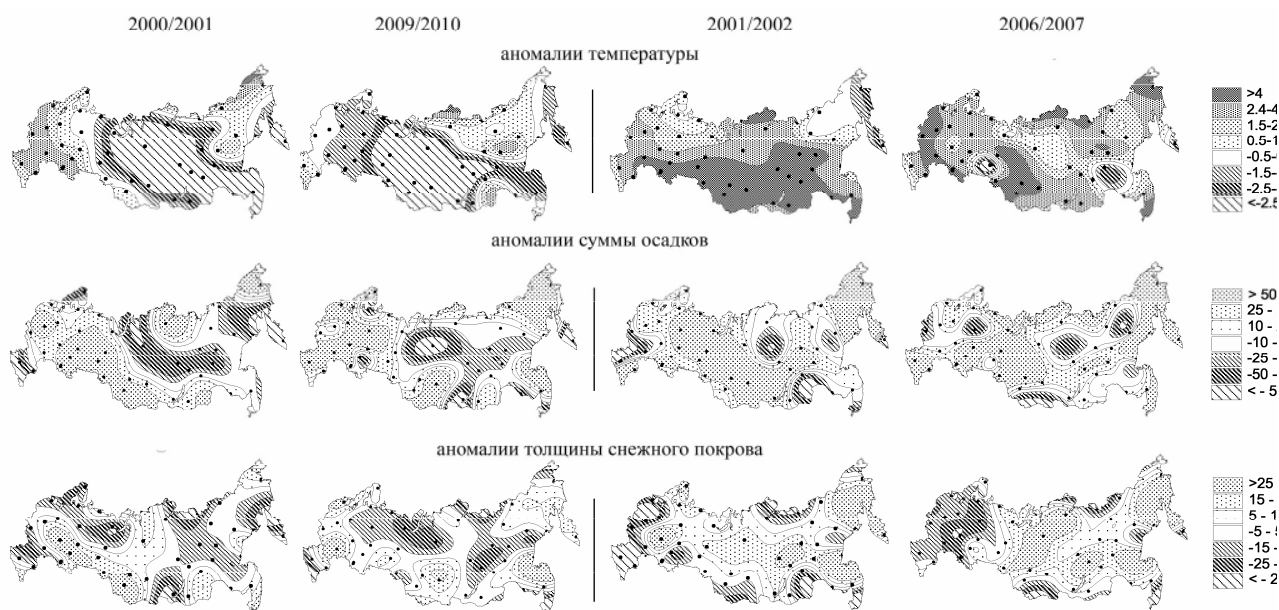


Рисунок 1. Распределение аномалий температуры ($^{\circ}\text{C}$), суммы зимних осадков (мм), средней толщины снежного покрова в феврале (см) на территории России в «холодные» (2000/01 и 2009/10 гг.) и «теплые» (2001/2002 и 2006/2007 гг.) зимние сезоны относительно 1961-1990 гг.

Первичная информация 50 метеостанций, расположенных в климатических областях России с устойчивым снежным покровом, была использована для оценки аномалий среднемесячных значений температуры воздуха, суммы зимних осадков и толщины снежного покрова относительно средних многолетних (1961-1990 гг.) и установления средних, а также максимальных и минимальных значений аномалий в этих областях в зимние периоды 2000-2010 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Средние, максимальные и минимальные значения аномалий температуры воздуха, суммы осадков и толщины снежного покрова на территории России в зимние периоды 2000-2010 гг.

Сезон	Аномалии относительно средних многолетних значений в период 1961-1990 гг. (средняя величина / минимальная / максимальная)		
	температура (°C)	осадки (мм)	толщина снежного покрова (см)
2000/01	-0,37/-5,4/3,7	8,7/-120/168	4,51/-24/44
2001/02	3,05/-1,0/6,4	26,2/-158/111	6,46/-23/51
2002/03	0,39/-2,4/3,5	12,4/-107/67	5,01/-20/38
2003/04	1,99/-2,1/6,0	15,0/-52/140	3,36/-21/28
2004/05	1,38/-1,3/5,1	11,6/-32/65	4,17/-20/127
2005/06	0,52/-5,0/4,9	2,2/-77/197	3,04/-22/77
2006/07	2,90/-3,4/5,3	49,1/-45/266	7,18/-23/40
2007/08	2,74/-1,5/6,0	18,6/-97/245	3,10/-27/60
2008/09	1,81/-2,2/4,3	26,3/-52/274	-1,11/-20/54
2009/10	-0,75/-4,9/2,4	21,7/-160/111	2,18/-29/42

Полученные значения послужили основой для составления карт, характеризующих распределение аномалий климатических показателей на территории России в эти зимние сезоны. Характерно, что распределение и площади секторов с положительными и отрицательными аномалиями на картах оказываются разными при сравнении зимних периодов с общим для территории России потеплением или похолоданием, но весьма близкими при сравнении двух или нескольких зимних периодов, характеризующихся одинаковой направленностью изменения температуры (рис. 1).

Вариации температуры. Анализируемые зимние периоды на большей части России характеризовались, за исключением 2000/2001 гг. и 2009/2010 гг., положительными аномалиями температуры воздуха по сравнению со средним многолетним значением, а наиболее высокие значения были зимой 2001/2002 гг. и 2006/2007 гг. (таблица 1).

Вариации осадков. Средние для территории России суммы зимних осадков в анализируемые годы были выше многолетних значений на 2-49 мм (табл. 1). При этом отрицательные аномалии (до 160 мм) в эти зимние сезоны были приурочены к западной части ЕТР, югу Западной Сибири, регионам Восточной Сибири, а максимальные значения положительных аномалий, (до 270 мм) отмечались на побережье Охотского моря.

Вариации толщины снежного покрова. Толщина снежного покрова в максимум снегонакопления была выше по сравнению с многолетними значениями. Лишь в 2008/2009 гг. в условиях интенсивного потепления на территории к западу от Средней Сибири произошло ее понижение, составившее в среднем по России 1,1 см. Уменьшение толщины снежного покрова на 20-30 см отмечалось на побережье Северного Ледовитого океана, в Приуралье и на большей части ЕТР, а полоса увеличения толщины на 10-30 см, (вплоть до 120 см) располагалась в Восточной Сибири, на Камчатке и юге Западной Сибири. Неоднозначность зависимости толщины снежного покрова от температуры связана с тем, что в районах сурового климата повышение температуры сопровождается увеличением и суммы зимних осадков, и толщины снежного покрова, тогда как в районах с более теплыми зимними условиями при повышении температуры возрастает интенсивность оседания снега вследствие частичного таяния и увеличения скорости вязкого уплотнения [2, 3].

Моделирование региональных вертикальных разрезов сезонного снежного покрова базировалось на картографических материалах, интерполирующих данные метеостанций о температуре,

осадках, толщине снежного покрова, интенсивности и частоте снегопадов, оттепелей, сильных ветров, перепадов температуры и пр. (таблица 2).

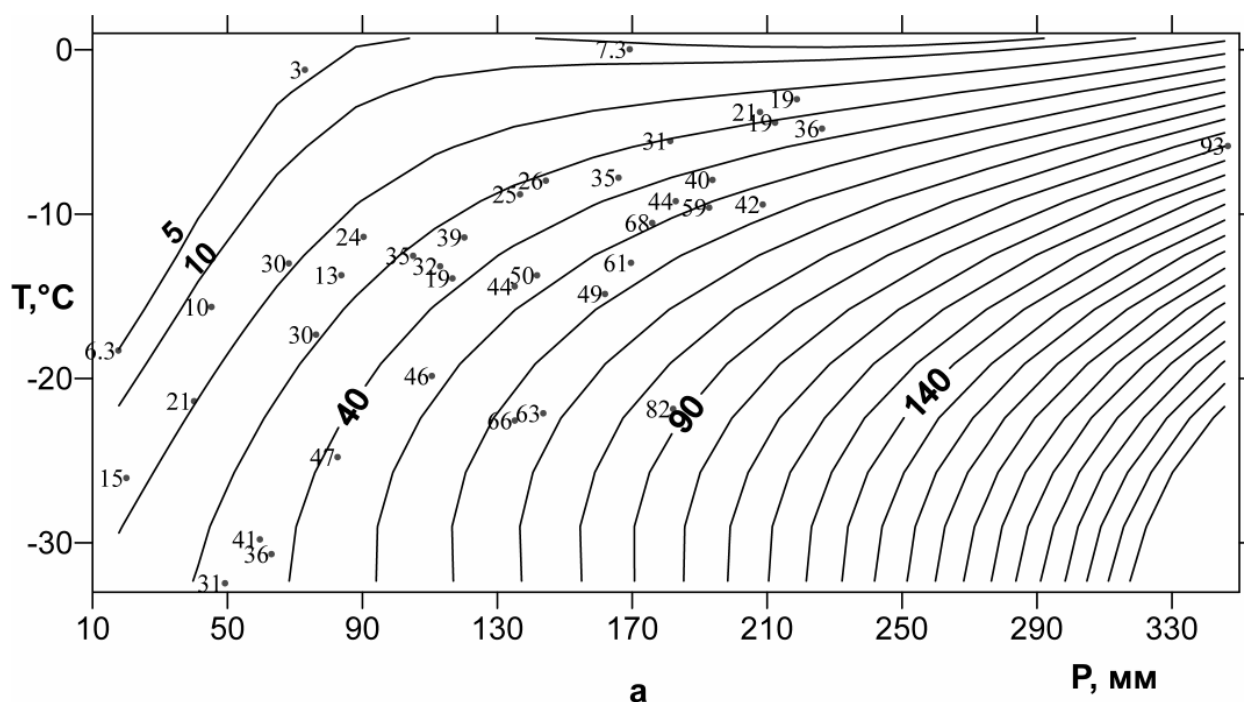
Таблица 2

Средние по России частота (количество за сезон) и интенсивность снегопадов и оттепелей, число дней с резкими перепадами температуры и периодов с сильным ветром в 2004–2007 гг.

Сезон	снегопады		оттепели		перепады температуры	число дней с ветром
	кол-во	интенсив. (мм/сн.)	кол-во	интенсив. (°Сдн./от.)	>10 °С/сутки	>10 м/с
2004/05	15,00	9,19	2,62	1,62	9,21	10,84
2005/06	14,30	9,89	2,41	1,83	10,08	10,34
2006/07	13,41	13,03	2,70	2,01	9,69	10,26

Моделирование. Алгоритм построения регионального стратиграфического разреза включает несколько последовательных этапов:

- 1) подразделение снежного покрова на слои снегонакопления согласно частоте и интенсивности снегопадов и регионального значения его толщины;
- 2) выделение горизонтов снежной толщи на основе периодичности и интенсивности: ветрового воздействия; оттепелей;
- 3) выделение горизонтов разрыхления согласно частоте перепадов температуры;
- 4) оценка регионального снегозапаса (рис. 2) на основе карт толщины снежного покрова, суммы твердых осадков и средней зимней температуры с учетом возможного стока талой воды в подстилающий грунт в зимний период.



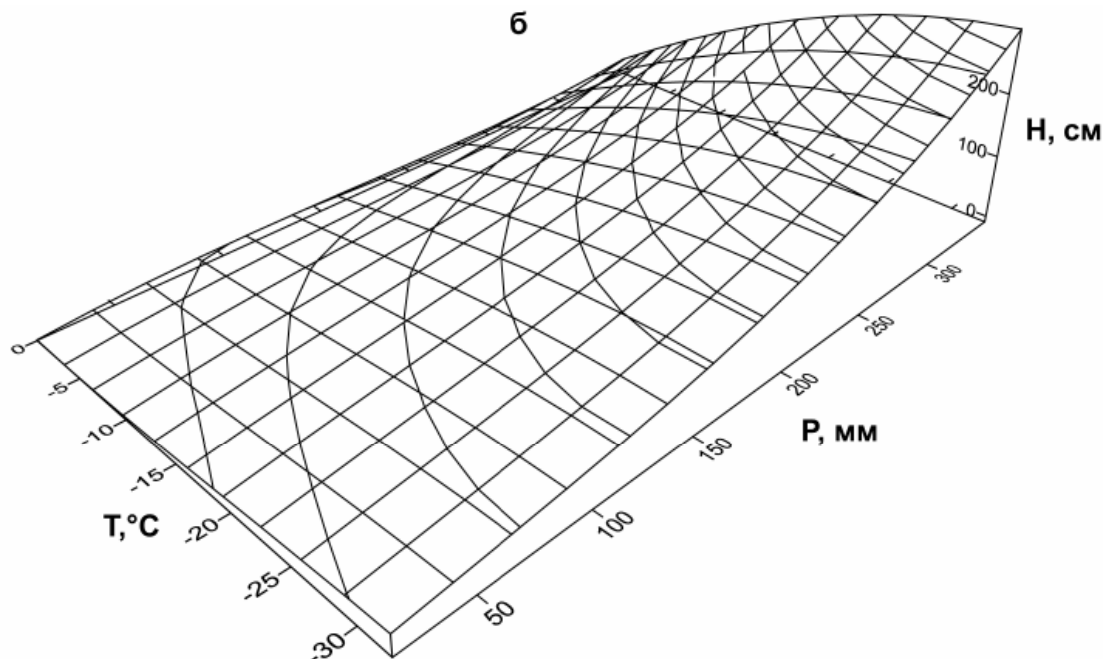


Рисунок 2. – Соотношение снегозапасов (изолинии) со средней зимней температурой и суммой зимних осадков в 1961-2008 гг. на 50 метеостанциях России

Литература

1. Голубев В.Н., Петрушина М.Н., Фролов Д.М. Закономерности формирования стратиграфии снежного покрова // Лёд и снег. – 2010. – №1 (109). – С. 58-72.
2. Голубев В.Н., Гусева Е.В. Особенности теплопереноса в стратифицированной снежной толще. Сб. Снежный покров в горах и лавины. – М.: Наука, 1987. – С. 62-74.
3. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. – Л.: ГИМИЗ, 1960. – 171 с.

О СООТНОШЕНИИ РОЛИ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ИЗМЕНЕНИИ РЕЧНОГО СТОКА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ.

Долгов С.В., Зайцева И.С., Коронкевич Н.И.

Институт географии РАН, Москва, hydro-igras@yandex.ru

ABOUT CONTRIBUTION OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS TO VARIATIONS OF RIVER RUNOFF IN RUSSIA

Dolgov S.V., Zaitseva I.S., Koronkevich N.I.

Institute of Geography RAS, Moscow, hydro-igras@yandex.ru

Анализируются изменения речного стока на территории России. Оценен вклад в эти изменения природных, в основном климатических, и антропогенных факторов. Для европейской территории страны выявлены градиенты изменения стока при изменении температуры воздуха и осадков.

The variations of river runoff in Russia are analyzed. The contribution of natural, basically climatic, and antropogenic factors to these variations are estimated. For European territory of the country the gradients of river runoff variations under the fluctuation of air temperature and precipitations are revealed.

Для определения гидрологической роли природных и антропогенных факторов, их соотношения применяется комплекс методов, которые можно сгруппировать в воднобалансовые и методы анализа гидроклиматических рядов. Развивается моделирование гидрологических ситуаций. На основе этих методов выполнено большое число расчетов, оценивающих влияние природных и антропогенных факторов на водные ресурсы. Вместе с тем следует подчеркнуть, что выявленные соотношения носят лишь относительный характер. Это объясняется тем, что в большинстве районов мира природа давно, часто намного раньше проведения инструментальных гидрометрических наблюдений, преобразована деятельностью человека, и величины элементов водного баланса и стока являются результатом совокупного воздействия природных и антропогенных факторов. В свою очередь многие виды деятельности человека, особенно в сельском хозяйстве, определяются природными условиями, как и интенсивность их воздействия на воды. Например, повышенная увлажненность в бассейнах Волги и Дона в последние десятилетия привела к снижению оросительных норм на 10-20% и более. Соответственно снизился и удельный водозабор.

Можно проследить и более сложные и еще более весомые по своим последствиям связи. Так, маловодья на Волге в 1930-е и 1970-е гг. способствовали разработке и осуществлению планов мелиорации и гидротехнического строительства в СССР, коренным образом изменивших водный режим целого ряда рек. Опять так же следствием маловодья на Волге и падения уровня Каспийского моря в 1970-х гг. стал проект переброски части стока северных европейских рек на юг. С другой стороны, происходящие в последние десятилетия изменения климата многие объясняют хозяйственной деятельностью, в частности усиленным выбросом CO₂ в атмосферу.

Таким образом, в полной мере разделить вклад природных и антропогенных факторов в изменение водных ресурсов практически невозможно. Поэтому, когда оценивают гидрологическую роль тех или иных факторов, имеют в виду в основном непосредственное или близкое к нему участие в формировании отклонений гидрологических характеристик от неких средних значений, от

нормы. При этом среди природных факторов безусловное лидерство в колебаниях стока и других элементов водного баланса отдается климатическим, метеорологическим. Они наиболее динамичны среди других компонентов природы, и изменение водности рек с их изменением кажется наиболее очевидным. В то же время следует иметь в виду, что климатические явления преломляются в гидрологические через почву, биоту и другие составляющие окружающей среды, которые играют отнюдь не пассивную роль и часто также весьма динамичны. А в интенсивно освоенных районах роль деятельности человека может быть вполне соизмерима по гидрологическим последствиям влиянию природных факторов.

Очевидно, что климатические флуктуации того или иного региона не являются первопричиной гидрологических колебаний. Они в свою очередь формируются процессами, происходящими подчас весьма далеко от этих регионов (например, в центрах действия атмосферы), истоки которых следует искать в солнечно-земных, планетарных связях. Видимо, только познав их, можно будет совершить прорыв в долгосрочных климатических и гидрологических прогнозах, а тем самым более уверенно оценивать и гидрологическую роль климатических и антропогенных факторов.

С учетом изложенного оценим роль климатических и антропогенных факторов в современных изменениях гидрологических характеристик, полагая, что современные климатические трансформации все же преимущественно природного происхождения, а в воздействии на водные ресурсы среди антропогенных факторов ведущая роль принадлежит отраслям водного хозяйства.

Если учесть, что водные ресурсы в виде речного стока России превышают 4 тыс. км³/год, а максимальное уменьшение его под влиянием деятельности человека в середине 1980-х гг. составляло около 44 км³ [1], т.е. приблизительно 1%, то можно прийти к выводу о ничтожном этом влиянии в масштабах всей страны. Однако в бассейне Волги этот процент возрастает до 5-10 %, а в бассейне Дона – до 20-30%. Еще выше он у Кубани и Терека.

Можно оценивать и по-другому. Известно, что в результате распада СССР уменьшилось и антропогенное воздействие на водные ресурсы, которые в последние десятилетия для большинства районов России в целом возросли. Какую же роль в современных изменениях речного стока сыграло указанное ослабление антропогенной нагрузки? Так, по данным [1, 4] сток с территории России в 5-летие 2001-2005 гг. увеличился по сравнению с 5-летием наибольшего антропогенного воздействия 1985-1989 гг. с 4160 км³/год до 4298 км³/год, т.е. в среднем на 138 км³/год. Если учесть, что одновременное среднее антропогенное уменьшение стока рек составило 14 км³ (43-29), то вклад антропогенного фактора в изменение стока возрастает до 10%, а в отдельные годы может быть существенно больше. Для Волги соответствующий расчет дает вклад почти в 60%, а для Дона он практически полностью обусловлен снижением антропогенной нагрузки. Роль климатических факторов, по существу обуславливающих среднее значение стока за сравниваемые периоды, в этих отклонениях от среднего для Волги и Дона, соответственно, невелика.

Из отдельных климатических факторов принято наиболее часто оценивать гидрологическую роль температуры воздуха и атмосферных осадков. Ранее [2] была предпринята попытка оценить эту роль для отдельных природных зон на территории Русской равнины (в основном в годовом разрезе), полагая независимость колебаний температуры воздуха и осадков. В данной же работе учтено, что между ними имеется коррелятивная связь. Кроме того, учтены сезонные особенности влияния изменений климатических факторов на сток (рис. 1).

Как следует из этого рисунка, в южных районах градиенты осадков максимальны (по абсолютной величине). Здесь увеличение в холодный период температуры на 1 градус сопровождается увеличением осадков (более чем на 13 мм) и уменьшением в теплый период (до 38 мм и менее). В итоге за год наблюдается отрицательный градиент – около 25 мм снижения осадков на каждый градус роста температуры. Иная ситуация складывается в северных районах, где увеличение осадков холодного периода компенсируется почти таким же снижением осадков теплого периода,

и за год в целом осадки слабо реагируют на изменение температуры, снижаясь лишь на 2 мм на один градус ее роста.

В результате сопоставления величин стока, температур воздуха и осадков по субъектам РФ в пределах Русской равнины получены следующие градиенты изменения стока и его основных составляющих при изменении осадков на каждые 10 мм (рис. 2).

Пользуясь рис 1 и 2, можно на основании известных изменений температуры и осадков рассчитать изменение полного речного стока, а также его поверхностной и подземной составляющих.

Проверка на примере происходящих в последние годы гидроклиматических изменений при близком уровне антропогенной нагрузки показала хорошую сходимость расчетных показателей стока и наблюдаемых.

Отметим, что изменения осадков холодного и теплого периодов в разной мере сказываются на изменениях стока. Если на рассматриваемой территории в целом рост осадков холодного периода на 10 мм приводит к увеличению суммарного стока на 4,4 мм, то такое же изменение осадков теплого периода увеличивает его лишь на 2,9 мм. При этом за счет осадков холодного периода поверхностная составляющая стока возрастает на 3,6 мм, подземная - на 0,8 мм, а за счет осадков в теплый период эти составляющие увеличиваются соответственно лишь на 2,2 мм и 0,7 мм.

Величина изменений суммарного стока, наблюдающихся в связи с изменением годовых осадков (с учетом сопутствующих изменений температуры и дефицита влажности) максимальна на севере лесной зоны – 7-8 мм на 10 мм увеличения осадков и снижается до 0,8-1 мм и менее в южных степных районах (рис. 2). Причем на севере Русской равнины следует ожидать на каждые 10 мм роста осадков изменение поверхностного стока на 6-6,8 мм, а на юге - лишь на 0,6-0,8 мм, а подземного стока - соответственно на 1-1,2 мм и на 0,1-0,2 мм. Таким образом, в хорошо увлажненных северных районах увеличение осадков может привести к более значительному, чем в южных засушливых районах, увеличению как поверхностного, так и подземного стока.

Полученные градиенты изменения стока при изменении климатических характеристик могут быть использованы и в прогностических целях, допуская, что и в будущем сохраняются современные пропорции в реакции гидрологических систем на климатические трансформации. Что касается роли антропогенных факторов в будущем, то в зависимости от варианта развития экономики и технологии использования воды безвозвратное изъятие водных ресурсов в первой трети XXI века может изменяться в 2 и более раза, как это показано в работе [3] для бассейна Волги.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант 09-05-00665

Литература

1. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. - СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. – 600 с.
2. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. О влиянии изменения годовых значений температуры воздуха и осадков на сток рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 2007. № 5. С. 64-70.
3. Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Милюкова И.П., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Сценарный прогноз изменения водных ресурсов р. Волги в первой трети XXI века. // В сб.: Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения. – Барнаул: изд-во ООО «Агентство рекламных технологий», 2009. С. 122-137.
4. Ресурсы поверхностных вод, их использование и качество. Водный кадастр Российской Федерации. Ежегодное издание.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА

Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А., Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, egor@imces.ru

SIMULATION OF WATER REGIME OF OLIGOTROPHIC SWAMP

Dyukarev E.A., Golovatskaya E.A., Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, egor@imces.ru

В работе представлены результаты моделирования водного режима олиготрофного болота, полученные на основе экспериментально установленных значимых связей уровней болотных вод с режимом осадков и температурным режимом верхних слоев торфяной толщи.

The paper presents the outcomes of modeling of oligotrophic swamp water regime obtained with experimentally determined relationship of swamp water and precipitation, and temperature conditions in the upper layer of peat.

Знание режима колебания уровней болотных вод (УБВ) необходимо во всех случаях при расчетах стока с болот, расчетах влагозапасов в зоне аэрации осушенных и эксплуатируемых болот и во многих других случаях, связанных с эксплуатацией заболоченных территорий и охраной природных комплексов. В то же время данные непосредственных наблюдений за режимом УБВ на неосушенных болотных системах различных типов и при различных условиях их залегания крайне ограничены как по числу постоянных пунктов наблюдений, так и по длительности рядов наблюдений. Огромные территории, занимаемые болотными системами на северо-востоке европейской территории России, в Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, не освещены систематическими гидрологическими наблюдениями. При этих условиях косвенные методы расчета УБВ, позволяющие вычислять ход уровней и восстанавливать данные за длительные прошлые периоды времени, приобретают большое значение [1]. В данной работе проведено моделирование уровней болотных вод для участка олиготрофного болота с использованием данных натурных метеорологических и гидрологических измерений.

Исследования водного режима проводились на территории стационара «Васюганье» на пункте наблюдения, расположенном на Бакчарском болотном массиве, находящемся в междуречье рек Бакчар и Икса. Пункт наблюдений расположен на удалении 200 м от окраины болота и представляет собой типичный низкий рям (сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз с угнетенным древостоем). Микрорельеф волнистый из-за большого количества больших моховых подушек высотой около 30-50 см, диаметром до 3 м. Торфяная залежь низкого рьяма достигает мощности 2 м, до глубины 1 м представлена фускум торфом.

Для автоматической регистрации УБВ использовался дифференциальный измеритель уровня вод НОВО Water Level Logger U20-001-01 (США). Кроме того, проводились автоматические наблюдения за температурой воздуха, количеством осадков (НОВО Rain Gauge RG3-M, США) и температурой торфяной залежи (автоматическая станция температурного мониторинга почво-грунтов МОДУЛ-Т производства Института геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск) на разных уровнях до глубины 80 см.

Изучение колебаний УБВ в течение теплого периода 2009 года показало, что УБВ варьирует от 17 до 2 см ниже поверхности мха (рис. 1). Среднее значение уровня за период с 27 мая по 30 июня 2009 г. составляет 11 ± 3.5 см. В период интенсивных дождей происходит быстрый рост УБВ (в

течение суток УБВ может увеличиться на 8.3 см), а затем, при отсутствии осадков, идет плавное снижение УБВ.

Для описания динамики УБВ нами была разработана модель, позволяющая рассчитать уровень вод, используя в качестве входных данных температуру почвы на разных глубинах (Модель 1 на рис. 1). Известно, что температуропроводность верхних слоев торфяной залежи в значительной степени зависит от влажности мохового очеса, определяемого режимом осадков и глубиной залегания болотных вод. Расчет градиента температуры по 6 слоям торфяной залежи для верхнего 40 см слоя и анализ взаимосвязей между УБВ и полученными градиентами температуры показали четкую зависимость между этими параметрами ($r = 0.93$). Регрессионное уравнение имеет вид:

$$W = -0.078 - 0.116 \cdot (T_5 - T_2) / 3 - 0.067 \cdot (T_{10} - T_5) / 5 + 0.573 \cdot (T_{15} - T_{10}) / 5 - 0.656 \cdot (T_{25} - T_{15}) / 10 + 0.287 \cdot (T_{40} - T_{25}) / 15$$

$$W = -0.078 - 0.116 \times (T_5 - T_2) / 3 - 0.067 \times (T_{10} - T_5) / 5 + 0.573 \times (T_{15} - T_{10}) / 5 - 0.656 \times (T_{25} - T_{15}) / 10 + 0.287 \times (T_{40} - T_{25}) / 15$$

где W - уровень болотных вод, $T_2, T_5, T_{10}, T_{15}, T_{25}, T_{40}$ - температура торфяной залежи на глубине 2, 5, 10, 15, 25, 40 см; в знаменателе указана толщина слоя, в котором рассчитывался градиент. Наибольшее влияние на вариабильность УБВ оказывают градиенты температуры в слоях 10-15 и 15-25 сантиметров. Коэффициент детерминации для предложенной модели составляет 87%.

Для описания динамики межсуточной изменчивости УБВ была предложена модель, согласно которой величина среднего уровня воды в текущие сутки равна уровню воды на предыдущие сутки плюс количество осадков минус величина суточного стока (Модель 2 на рис. 1). Учитывая, что в течение суток происходит перераспределение выпавших осадков, сумма осадков входит в уравнение, описывающее изменение УБВ, с некоторым коэффициентом kP . Величина стока за сутки зависит от коэффициента стока kS и минимального возможного уровня вод, ниже которого сток существенно замедляется. Уравнение, соответствующее предлагаемой модели, имеет вид:

$$dW = kP \times PRC - kS \times (W - W_{\min}),$$

где W - уровень болотных вод, dW - изменение уровня в течение суток, PRC - сумма суточных осадков, $W_{\min}$ - потенциально возможный минимальный уровень воды, kP - коэффициент трансформации приходящих осадков, kS - коэффициент стока.

Регрессионный анализ данных наблюдений за режимом уровней вод и осадков позволяет определить коэффициенты уравнения: $kS = 0.0694$, $kP = 0.1626$, $W_{\min} = 20.5$ см. Коэффициент детерминации для предложенной модели составляет 98%. Таким образом, предложенное соотношение и полученные коэффициенты могут использоваться для моделирования динамики уровня болотных вод в пункте наблюдений по данным измерений сумм суточных осадков.

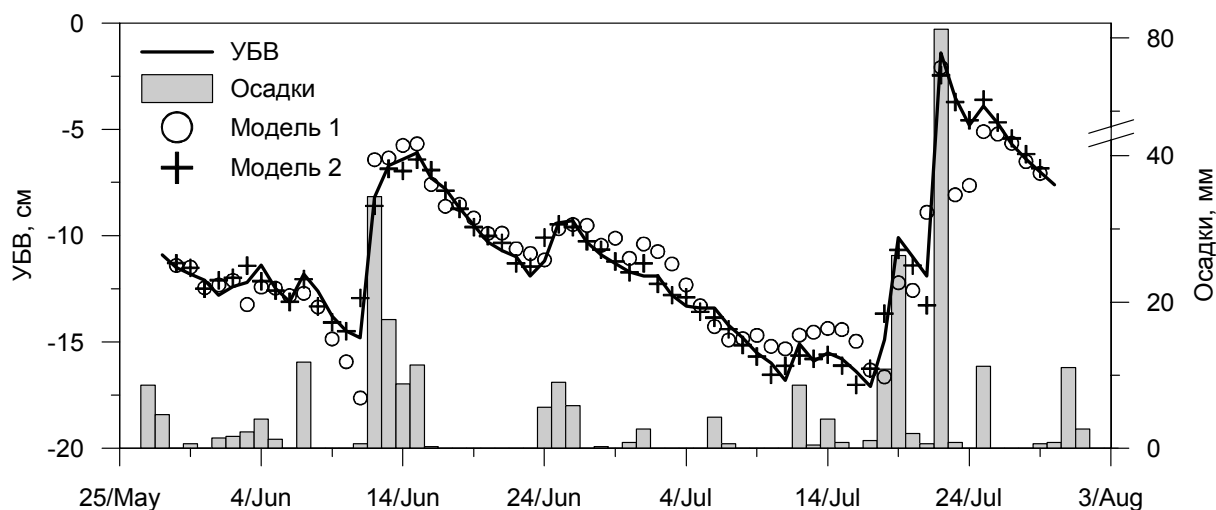


Рисунок 1. – Временной ход уровня болотных вод и сумм суточных осадков за период 27 мая – 30 июля 2009. Линия – данные наблюдений, значками показаны модельные данные.

Получены предварительные результаты мониторинга водного режима болота, установлены значимые связи уровней болотных вод с режимом осадков и температурным режимом верхних слоев торфяной толщи, позволяющие оценивать УБВ по данным косвенных измерений.

Литература

1. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.

ГЕЛИОТЕРМАЛЬНЫЕ ОЗЕРА МИРА*Егоров А.Н.**Институт озераедения РАН, Санкт-Петербург, alex6-1@mail.ru***HELIOTHERMAL LAKES OF THE WORLD***Yegorov A.N.**Institute of Limnology RAS, Saint Petersburg, alex6-1@mail.ru*

*Гелиотермальные озера наименее изучены среди соленых озер. Они являются нетрадиционными, возобновляемыми источниками для получения электрической энергии, добычи и разведения таких аквакультур, как рачок *Artemia salina*. География гелиотермальных озер охватывает весь Мир.*

*Heliothermal lakes are least studied among saline lakes. They are nonconventional, renewed sources for production of electric energy, extraction and cultivation of such aquacultures as *Artemia salina*. The geography of heliothermal lakes covers the whole World.*

Среди соленых озер особое место занимают, так называемые, гелиотермальные озера. Это обусловлено их способностью к формированию термохалинной структуры, позволяющей получать электрическую энергию с минимально отрицательным экологическим уроном. Изученность этих озер в рамках отечественной лимнологии весьма слабая. Все первые их описания гелиотермальных внутриконтинентальных озер были сделаны, в основном, русскими учеными.

География гелиотермальных озер очень обширна (Рис. 1), их распространение на Земном шаре совпадает с географией соленых озер, хотя следует отметить, что многие гелиотермальные озера открыты случайно, а многие до сих пор неизвестны.

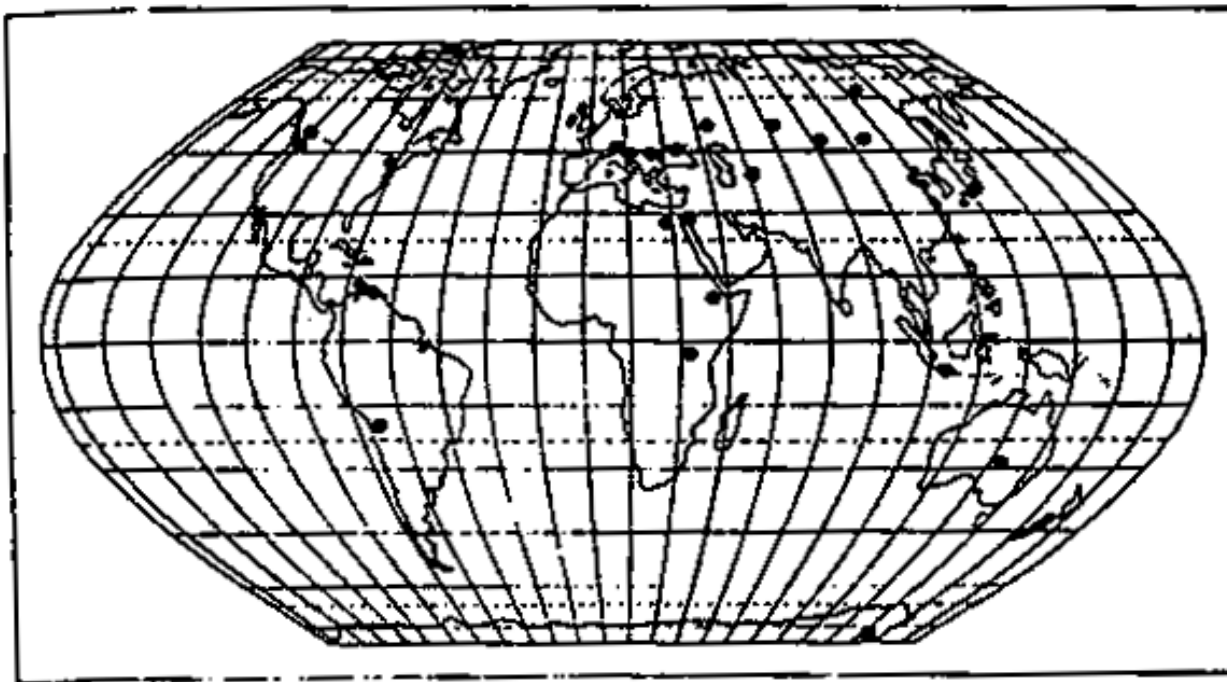


Рис.1. Распределение гелиотермальных озер на Земном шаре [4]

Как показали исследования первой половины XX века гелиотермальные озера – особый тип мезотермических водоемов, в которых максимум температуры в период открытой воды расположен на некоторой глубине. Русскими исследователями уже в период 1768-1900 гг. при посещении соленых озер Нижнего Поволжья, Казахстана, Крыма, Западной Сибири и Средней Азии было отмечено влияние поступления солнечного тепла на физические свойства соленых озер. Термин «гелиотермальный» впервые был использован Максим [3].

Практически с этого времени началось планомерное изучение физических, химических и биологических свойств гелиотермальных озер. Озера, стратифицированные по плотности воды, рассматривались как «меромиктические озера». В меромиктических озерах не развивается конвекция в их нижних слоях, которые остаются стагнационными с анаэробными придонными слоями, обогащенными сульфидом водорода. Однако не все меромиктические озера являются гелиотермальными. Как показали зарубежные и отечественные исследования на озерах Тянь-Шаня и Монголии, минимальные различия в плотности воды, при которых может возникнуть «парниковый» эффект, должны быть не менее 15 г/л [4, 1]. Только стратифицированные по плотности хлоридные и сульфатные озера достигают (и превышают) эту величину, карбонатные и бикарбонатные озера – нет. Чем больше плотностные различия, тем более устойчиво сохраняется тепло в них [4]. Гелиотермальные озера бывают антропогенными (соленые озера Илецкого соляного купола, горные выработки Мерзебурга в Германии) и естественными. Вертикальная термохалинная структура соленых озер формируется в зависимости от климатических и геологических условий бассейна, под воздействием его физико-географических особенностей. Кроме определенной величины минерализации, необходимым условием развития термохалинной структуры гелиотермального озера является наличие верхнего (в отдельных случаях до 15 см) пресного или слабоминерализованного слоя воды – миксолимниона [2]. Этот слой образуется за счет притока в озеро поверхностных и подпочвенных пресных вод, атмосферных осадков, а также при таянии льда. В случае отсутствия миксолимниона, при высокой мутности воды и большой мощности «парниковый» эффект не выражен. Формирование миксолимниона в соленом озере приводит к вертикальному физико-химическому расслоению воды за счет аккумуляции нижними слоями поступающей солнечной энергии. Возникает инверсия температуры и солености в водной среде и донных отложениях.

Чаще всего в гелиотермальных озерах реализуется трехслойная вертикальная термохалинная структура с верхним слоем миксолимнионом, нижним – хемоклином и придонным – мониолимнионом.

Миксолимнион – слой пресной или слабоминерализованной воды, гомотермичный или незначительно стратифицированный по температуре и минерализации. Гомогенность слоя обуславливается ветровым перемешиванием. В термохалинной структуре озера температура и минерализация миксолимниона всегда меньше нижележащих слоев. Он обычно богат растворенным кислородом и характеризуется в сравнении с нижележащими слоями обильной жизнью (например, массовым развитием *Artemia salina*). Ниже миксолимниона расположен хемоклин – слой, в пределах которого происходит резкое увеличение температуры и солености. Глубина этого слоя зависит от морфометрических, гидрофизических и гидрохимических особенностей озера, его основная функция связана с улавливанием поступающего солнечного тепла. Поток световой энергии на поверхности соленого озера лишь в ничтожной доле преобразуется в миксолимнионе в химическую энергию фотосинтезирующими организмами, большая его часть отражается в атмосферу, а меньшая – поглощается хемоклином. Для проявления парникового эффекта в озере, кроме условий, отмеченных выше, необходимо попадание в хемоклин не менее 3% всей солнечной энергии, поступающей на поверхность озера [2]. Световая энергия солнца в хемоклине преобразуется в тепловую и расходуется на нагревание слоев воды, лежащих ниже миксолимниона.

Тепло хемоклина и нижнего слоя не теряется при излучении, так как водная среда не пропускает длинноволновую инфракрасную радиацию (соответствующую максимуму температуры в диапазоне 30 – 90°C). Потеря тепла прогретой водной массой (хемоклином и монимолимнионом) путем конвекции также невозможна даже в случае небольшого различия в удельном весе воды миксолимниона и нижележащих слоев. И даже при значительном повышении температуры в пределах хемоклина и монимолимниона естественного гелиотермического озера удельный вес воды уменьшается незначительно и остается большим, чем в миксолимнионе (при этом сохраняется достаточно большой градиент солености и плотности). Теплопотери из прогретой водной массы гелиотермического озера происходят, в основном, путем теплопроводности в направлении миксолимниона, границы котловины озера и донных отложений, но этот процесс идет с очень медленной скоростью, так как даже насыщенная хлоридом натрия водная среда – очень плохой проводник тепла. Так, например, стратифицированный слой воды толщиной в 1 метр – такой же теплоизолятор, как пятисантиметровый лист пенопласта. Хемоклин уместно сравнить со стеклянными окнами теплицы – он препятствует потерям тепла, в результате чего возникает парниковый эффект (формируется прогретая водная масса в гелиотермальном озере).

Наиболее консервативен и минерализован нижний, придонный слой воды – монимолимнион. В отличие от миксолимниона монимолимнион богат растворенным сероводородом и обычно заселен только микробионтами. Существование инверсионной термохалинной структуры гелиотермального озера может быть периодическим или постоянным в зависимости от климатических, геологических и гидрографических условий бассейна. Кроме наиболее распространенного в природе трехслойного профиля солености в естественных гелиотермических озерах отмечается еще четыре типа формирования вертикальной структуры солености, когда вертикальное распределение солености характеризуется линейным распределением (без миксолимниона и монимолимниона), либо отсутствием миксолимниона или монимолимниона. Наиболее редкий четвертый тип вертикального распределения минерализации воды отмечен в озере Эвран Янку (Румыния).

Профили солености и температуры воды для гелиотермальных озер, как правило, повторяют друг друга. В таблице 1 представлены максимальные температуры воды, измеренные в естественных гелиотермальных озерах Мира.

**Максимальные температуры воды, измеренные в естественных
гелиотермальных озерах Мира (по различным источникам)**

Озеро	Страна, область	Градиент температуры, °С	Географическая широта
Урсула	Румыния	70	46°35' с.ш.
Султан-Санджар	Кара-Кумы, СНГ	65	40°28' с.ш.
Тузлучное	Оренбургская обл., Россия	60	51° 00' с.ш.
Хот Лэйк	штат Вашингтон, США	55	48°58' с.ш.
Соляр Лэйк Илат	Израиль	54	29°20' с.ш.
Лэйк Росу	Румыния	54	46°35' с.ш.
Лэйк Эвран Янку	Румыния	53	46°00' с.ш.
Лэйк Ротунд	Румыния	50	46°40' с.ш.
Лэйк Фэрэ Фунд	Румыния	47	46°00' с.ш.
Лаго Пуэбло	Венесуэла	45	11°58' ю.ш.
Рэд Понд	США	44	34°50' с.ш.
Солоновка "Крик"	СНГ	44	52°30' с.ш.
Лэйк "Вердэ"	Румыния	43	46°35' с.ш.
Лэйк Санта Иоан	Румыния	42	46°00' с.ш.
Синдер Кол Пул	США	40	34°27' с.ш.
Лэйк Элунис	Румыния	39	46°35' с.ш.
Сассыккуль	СНГ	38	38°00' с.ш.
Эспевич Понд	Норвегия	36	60°00' с.ш.
Лэйк Негру	Румыния	35	46°35' с.ш.
Лэйк Роман	Румыния	34	46°40' с.ш.
Лэйк Ванда	Антарктида	26	77°35' ю.ш.
Лэйк Меггарине	Алжир	26	33°12' с.ш.
Лэйк Хайверд	Зап. Австралия	20	32°52' ю.ш.
Кэйп Эванс Понд	Антарктида	16	77°38' ю.ш.
Сватиково	Россия, Тува	16	-
Лэйк Бонней	Антарктида	8	77°55' ю.ш.

Литература

1. Егоров А.Н. Парниковый эффект в соленых озерах // Водные ресурсы. М., 1991, № 6. – С.31-37.
2. Kirkland D.W., Bradbury J.P. and Dean W.E. 1983. The heliothermic a direct method of collecting and storing solar energy // Arch.Hydrobiol.Supplemented, vol.65, N1:1-60.
3. Maxim I.A. 1930. Contributini la explicarea fenomennului de inkalzire al apelor lacurilor sarate din Transilvania. Kontribution zur Erlarung des Erwarmungsprozesses des Wassers der Salzteiche von Transilvanien.II.Lacurile de la Ocna-Sibiului: Die Teiche von Ocna-Sibiului//Univ.Cluj,Rev.Muz. Geol.Mineral.4(1):47-111.
4. Sonnenfeld P.and Hudec P.P. 1980. Heliothermal lakes // Hypersaline Brines and Evaporitic Environ,Amsterdam: 93-100.

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА

Зуев В.В., Кураков С.А., Смирнов С.В.

Томск, Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН, vvzuev@imces.ru

SYSTEM OF COMPLEX KLIMATO-ECOLOGICAL MONITORING THE BIG VASJUGANSKY BOG

Zuev V.V., Kurakov S.A., Smirnov S.V.

Tomsk, Institute of climatic and ecological systems monitoring SB RAS, vvzuev@imces.ru

В докладе дано описание части сети мониторинга природно-климатических изменений Сибири, ориентированной на изучение климатических ландшафтных изменений на территории Большого Васюганского болота и связанных с ними гидроресурсных изменений.

The part of natural-climatic change monitoring net in Siberia, oriented on climatic landscape and hydroresource change of Great Vasjuga Bog study, is described.

Большое Васюганское болото (БВБ), расположенное на границах Томской, Новосибирской и Омской областей, охватывает территорию около 55000 км² и является самым крупным болотным образованием в мире. Торфяные залежи БВБ, образовавшиеся за 10000 лет, связывают воду, образуя гигантский резервуар пресной воды около 400 м³. На БВБ находятся более 800 открытых озер и многочисленные истоки рек, стекающих по разные стороны водораздела, проходящего почти по центру болота, либо в Обь, либо в Иртыш. Тем не менее, БВБ до сих пор не имеет статуса природно-охраняемого объекта.

Антропогенные нагрузки на БВБ пока незначительны. Более значительны природно-климатические изменения. Потепление климата в Сибири вызывает ландшафтные изменения БВБ: на юге болота высыхает, на севере болото прирастает за счет таяния вечной мерзлоты. Несмотря на формальное сохранение площади БВБ, происходит потеря торфяных масс, связывающих воду, поскольку торфообразование на севере пока неэффективно. Слабо изученным остаются процессы торфообразования в центре болота в условиях современных климатических изменений.

В рамках создаваемой в СО РАН сети мониторинга природно-климатических изменений, в ИМКЭС СО РАН создается система комплексного климато-экологического мониторинга БВБ. Предполагается создать многопрофильную станцию мониторинга на базе стационара «Васюганье», расположенного на Бакчарском болоте, на котором встречаются мерзлотные образования. Станция будет укомплектована высотными мачтами для градиентных измерений в атмосфере и погружными зондами для градиентных измерений в почве. Будет проводиться непрерывный мониторинг всех метеопараметров, радиационных потоков, потоков тепла и влаги в атмосфере и почве, уровней болотных вод и промерзаний, чистой первичной продукции. Аналогичную станцию предполагается разместить в южной части БВБ в районе оз. Чаны.

В центре БВБ планируется поместить два автономных пункта наблюдений по разным сторонам водораздела.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСЯЧНОГО СТОКА С ВОДОСБОРА (НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА РЕКИ КУДЫ)

Игнатов А.В.

Институт географии им.В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, ignatov@irigs.irk.ru

MODELING MONTHLY DRAINAGE OF RIVER BASIN (RUDA RIVER AS A CASE STUDY)

Ignatov A.V.

V.B.Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, ignatov@irigs.irk.ru

Построена модель временной динамики среднего месячного расхода воды в замыкающем створе водосбора, формирующегося в результате суммирования трех типов питания реки. Оценены параметры генезиса формирования стока ряда водосборов на территории юга Восточной Сибири. Проведен сравнительный анализ эффективности различных способов расчета месячного стока.

The model of temporary dynamics of the average monthly drainage of water in to the river is constructed. The parameters of drainage genesis of some basins in of the south of East Siberia are estimated. The comparative analysis of calculation efficiency of a monthly drainage by different ways is carried out.

Цель работы состояла в разработке модели, позволяющей в рамках сравнительно простой схемы объяснить наблюдаемую изменчивость средних месячных значений стока реки в зависимости от средних месячных значений метеорологических элементов. Такая модель при использовании типичных данных должна позволять с практически полезной точностью описать и в возможной степени прогнозировать наблюдаемую динамику средних месячных расходов реки, формирующихся на рядовом водосборе в зоне умеренного климата.

Исходные данные и метод решения задачи

В работе использованы данные о средних месячных значениях температуры и осадков на трех метеостанциях, расположенных на территории речного бассейна р. Куды (приток р. Ангары), и среднем месячном русловом расходе рек в трех створах, замыкающих три водосбора в этом бассейне. В теоретическую основу модели положены закон сохранения массы, а также закономерности фазовых переходов воды из одного агрегатного состояния в другое и транзита воды от места поступления на поверхность водосбора до замыкающего его речного створа. Для оценки эффективности модели выполнены сопоставительные расчеты стока другими способами. Метод решения задачи основан на компьютерном моделировании с использованием процедур оптимизации.

Вербальное описание и переменные модели

В рамках модели водосбор рассматривается как ограниченный в пространстве объект с суммарным влагозапасом W . Он обменивается с внешней средой потоками воды в виде: суммарных осадков P на поверхность водосбора, суммарного испарения E через поверхность водосбора и расхода воды Q в замыкающем его створе. Наблюдаемый расход Q формируется как совокупный результат процессов поступления, задержки, трансформации, поверхностного и подземного транзита воды с водосбора.

Для отображения в модели основных элементов механизма формирования стока с водосбора

названные выше интегральные компоненты его водного баланса разделены на следующие составляющие. Снегозапас W_1 – совокупность всех неподвижных форм льда или снега на водосборе и в русловой сети (поток льда через контрольный створ включен в расход воды). Поверхностный влагозапас W_2 – запас влаги на поверхности водосбора, образующийся в результате выпадения жидких осадков или таяния льда и снега. Его расходование обеспечивает быстрое «поверхностное» питание реки в половодье и паводки, и он полностью трансформируется в другие компоненты водного баланса водосбора в течение текущего месяца. Подземный влагозапас W_3 – это запас влаги, формирующийся путем инфильтрации талых I_1 и дождевых I_2 вод с поверхности водосбора и расходуемый на медленное «подземное» питание реки за время существенно большее одного месяца. Талая Q_1 , дождевая Q_2 и подземная Q_3 компоненты стока формируются за счет срабатывания соответствующих влагозапасов и в сумме составляют наблюдаемый сток с водосбора. Переменные E_1 , E_2 и E_3 представляют собой потери влагозапасов W_1 , W_2 и W_3 на возгонку, испарение или транспирацию. Суммарные осадки P разделяются на P_1 – твердые и замерзающие на поверхности водосбора осадки и P_2 – жидкие незамерзающие осадки. Дополнительно к этим характеристикам в модели рассматриваются переменные: S – характеризующая интенсивность поступления воды на территорию водосбора реки в результате весенне-летнего снеготаяния и L – представляющая собой затраты подземного питания реки на образование неподвижного руслового льда и наледей.

Математическая формулировка модели

Постановка задачи и исходные данные обуславливают рассмотрение речного бассейна как системы с сосредоточенными параметрами, динамика которой контролируется с месячным шагом по времени. Влагозапасы бассейна контролируются на момент времени t , разделяющий соседние месяцы. Все остальные переменные определены как суммарные потоки за месяц, оканчивающийся моментом t . С учетом сказанного могут быть записаны соотношения между переменными модели, логически следующие из закона сохранения массы:

$$W = W(t-1) + P - Q - E,$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \quad Q = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

$$E = E_1 + E_2 + E_3, \quad P = P_1 + P_2,$$

$$W_1 = W_1(t-1) + P_1 + L - S - E_1, \tag{1}$$

$$W_2 = W_2(t-1) + P_2 + S - I_1 - I_2 - E_2 - Q_1 - Q_2,$$

$$W_3 = W_3(t-1) + I_1 + I_2 - L - E_3 - Q_3.$$

В соотношениях (1) указание на зависимость от времени для переменных, определенных на текущий момент или месяц, опущено. Значения времени, отличающиеся от текущего значения, показаны в явной форме. Например, запись $W(t-1)$ означает полный влагозапас водосбора на начало текущего (или конец предыдущего) месяца.

Независимыми (задаваемыми) переменными модели в нашем случае являются только три: t , P_1 и P_2 . Поэтому уравнений в системе (1) не хватает для вычисления остальных характеристик водосбора. Кроме того, для обеспечения единственности решения разностных уравнений нужно задать начальные условия для влагозапасов. Следовательно, для полной математической постановки задачи требуются дополнительные и независимые от (1) соотношения, связывающие между собой переменные модели. Это можно сделать, только опираясь на отличные от уже использованных информационные материалы о других закономерностях, определяющих динамику

наблюдаемых расходов воды. В нашем случае, доступные для моделирования исходные данные не позволяют записать требуемые соотношения в виде детерминированных уравнений, поэтому дополнительные сведения в модель вводятся в виде простейших приближенных гипотетических математических соотношений, отражающих тенденции связей между ее переменными и не противоречащих общим физико-географическим представлениям о формировании стока в зоне умеренного климата. Поскольку в нашем случае в используемых материалах наблюдений имеются данные о средней месячной температуре воздуха (T), то ее можно и нужно использовать в качестве еще одной независимой задаваемой извне переменной. Дополнительные приближенные соотношения модели включают в себя также ряд новых параметров (или коэффициентов), физико-географический смысл которых пояснен ниже. В рамках модели они полагаются ограниченными по значению константами. Ограничения допустимых значений коэффициентов определяются на основе смыслового содержания последних. Записанная далее совокупность приближенных равенств и ограничений (2) задает гипотетическую составляющую модели формирования стока.

$$\begin{aligned} Q_1 &\approx k_1 * S, \quad 0 \leq k_1 \leq 1; \quad Q_2 \approx k_2 * P_2, \quad 0 \leq k_2 \leq 1; \quad Q_3 \approx k_3 * W_3 - L - E_3, \\ I_1 &\approx k_4 * S, \quad 0 \leq k_4 \leq 1 - k_1; \quad I_2 \approx k_5 * P_2, \quad 0 \leq k_5 \leq 1 - k_2; \\ L &\approx -k_6 * (T - T_{кр}), \quad L = 0, \text{ если } T > T_{кр} \text{ или } W_3 = 0, \quad T_{кр} < 0^\circ\text{C}, \quad k_6 > 0; \\ S &\approx k_7 * (T - T_{кр}), \quad S = 0, \text{ если } T < T_{кр} \text{ или } W_1 = 0; \quad k_7 > 0; \\ E_1 &\approx k_8, \quad E_1 = 0, \text{ если } W_1 = 0; \quad k_8 \geq 0; \quad E_2 \approx S + P_2 - I_1 - I_2 - Q_1 - Q_2, \\ E_3 &\approx k_9 * T, \quad E_3 = 0, \text{ если } T < 0 \text{ или } W_3 = 0, \quad k_9 \geq 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты талого стока k_1 и дождевого стока k_2 характеризуют долю талой и дождевой влаги, поступившей на водосбор в текущем месяце и в этом же месяце трансформировавшей в расход воды в замыкающем створе за счет ее быстрого поверхностного транзита в постоянную русловую сеть. Коэффициент k_3 характеризует относительную скорость гравитационного истощения подземного влагозапаса. Коэффициенты k_4 и k_5 представляют собой доли талой и дождевой влаги, идущие на пополнение подземного влагозапаса. Коэффициенты k_6 и k_7 характеризуют, соответственно, скорость образования руслового неподвижного льда и наледей а так же скорость таяния снега и льда в зависимости от средней месячной температуры (в градусах Цельсия) воздуха. Критическая температура $T_{кр}$ – точка баланса этих двух противоположных процессов. Коэффициент k_8 задает месячную интенсивность возгонки снега. Коэффициент k_9 определяет месячную скорость испарения подземного влагозапаса при его наличии в зависимости от средней месячной температуры воздуха.

Имитация на модели процесса формирования стока выполняется с момента t_0 , соответствующего началу выбранного календарного года (или концу предыдущего). Начальные условия для влагозапасов приближенно задаются по месячным данным измерения осадков в предшествующий началу имитационного процесса год и стока в первый после начала имитации месяц:

$$W_1(t_0) \approx P_1(t_0-2) + P_1(t_0-1) + P_1(t_0), \quad W_2(0) \approx 0, \quad W_3(t_0) \approx Q(t_0+1) / k_3. \quad (3)$$

Результаты моделирования

В таблице 1 приведены интервальные и наиболее вероятные (оптимальные) оценки параметров модели (1)-(3). Интервальные оценки параметров получены из условия изменения коэффициента детерминации модели на величину не более 5% при вариации одного параметра относительно его

оптимального значения. Значения коэффициентов детерминации построенных моделей, соответствующие оптимальным значениям их параметров, лежат в пределах 0,55-0,65. Для сравнения в таблице 2 показаны коэффициенты детерминации, получающиеся при расчете стока с водосбора р. Куды в створе с. Ахины другими способами. Строка, соответствующая обсуждаемой модели, выделена курсивом. Такая же тенденция поведения коэффициента детерминации, как в таблице 2, наблюдается и для других рассмотренных водосборов.

Таблица 1

Оценки параметров модели для трех водосборов

Река – Замыкающий створ		Куда-Ахины			Харат-Харат			Куда-Грановщина		
Параметры модели		$k_{нг}$	$k_{нв}$	$k_{вг}$	$k_{нг}$	$k_{нв}$	$k_{вг}$	$k_{нг}$	$k_{нв}$	$k_{вг}$
Температура баланса процессов замерз./таяния, гр.С	$T_{кр}$	-2	-0.2	0	-4	-2.3	0	-8	-4.5	0
Коэффициент талого стока	k_1	0.3	0.5	0.6	0.3	0.5	1	0.1	0.2	0.5
Коэффициент дождевого стока	k_2	0.05	0.08	0.15	0.1	0.16	0.25	0.05	0.06	0.1
Коэффициент истощения подземного влагозапаса	k_3	0.25	0.32	0.45	0.05	0.13	0.25	0.05	0.2	0.3
Коэффициент инфильтрации талой влаги	k_4	0	0	0.2	0	0	0.5	0	0.1	0.4
Коэффициент инфильтрации дождевой влаги	k_5	0.1	0.19	0.3	0.2	0.4	0.45	0.05	0.1	0.2
Коэффициент ледообразования, мм/мес/град.С	k_6	0	0.1	1	0	0.2	4	0	1	5
Коэффициент снеготаяния, мм/мес/град.С	k_7	5	9.7	15	3	6.3	20	3	5	20
Возгонка снега, мм/мес	k_8	0	1.3	5	0	0	7	0	0	10
Коэффициент испар. подземн. влаги, мм/мес/град.С	k_9	0	0	0.5	0	0.02	0.3	0	0.01	0.3

Таблица 2.

Коэффициент детерминации k_d расчета месячного стока Q с водосбора, замыкаемого створом в с.Ахины, при использовании различных моделей

Тип модели расчета стока	Предикторы стока	k_d
Полином первой степени	P, T	0.153
Полином первой степени	$M, P, T, P-, T-, Q-, P--, T--, Q--$	0.287
Локальное взвешенное среднее	P, T	0.302
Среднее многолетнее значение	M	0.381
Воднобалансовая модель водосбора	P, T	0.555
Локальное взвешенное среднее	$M, P-, T-, Q-$	0.654

Локальное взвешенное среднее	$M, P-, T-, Q-, P--, T--, Q--$	0.704
Локальное взвешенное среднее	$P, T, P-, T-, Q-$	0.748
Локальное взвешенное среднее	$M, P, T, P-, T-, Q-$	0.752
Локальное взвешенное среднее	$P-, T-, Q-, P--, T--, Q--$	0.753
Локальное взвешенное среднее	$M, P, T, P-, T-, Q-, P--, T--, Q--$	0.793
Локальное взвешенное среднее	$P, T, P-, T-, Q-, P--, T--, Q--$	0.794

Примечание: М – номер месяца, минусы справа у переменных Q,P,T означают их запаздывание как аргументов (предикторов) на один (-) и два (--) месяца относительно функции Q.

ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ В ПЕРИОД ИСКУССТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ОЗЕРА БАЙКАЛ

Ильичёва Е.А.

Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, Иркутск, lenail3663@mail.ru

DRAINAGE NETWORK OF THE DELTA OF SELENGA RIVER DURING ARTIFICIAL LEVEL CONTROL OF LAKE BAIKAL

Il'icheva E.A.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, lenail3663@mail.ru

Рассмотрены факторы морфогенеза дельты и причины изменения структуры ее русловой сети. Представлены результаты натурных наблюдений по распределению стока воды и наносов по основным дельтовым рукавам от вершины дельты до впадения в приемный водоем. Составлена база данных основных гидрографических параметров проток дельты р. Селенги на 7 временных срезов с 1952 по 2003 гг. Выявлены тенденции эрозионной деятельности потоков и плановых деформаций

The factors of delta morphogenesis and causes of its channel network change are considered. The outcomes of field observations of water flow and sediments distribution in main delta branches from its head to the reception basin are presented. The data base of hydrographic parameters of the Selenga delta branches for 7 time samples from 1952 till 2003 is created. The tendency to erosion and deformation is revealed.

Устьевая область р. Селенги – открытая динамическая система со сложными внутренними закономерностями функционирования и изменяющимися речными и озерными условиями на границах системы. Через эти границы устьевая область связана, с одной стороны, с бассейном реки, а с другой – с приемным водоемом. Особенности устьевой области реки выражаются в тесной и сложной морфологической и гидравлической взаимосвязанности всех элементов гидрографической сети дельты и устьевого взморья (авандельты). Это предопределяет, во-первых, взаимодействие речных и озерных факторов и процессов в устье реки, а во-вторых, возможность передачи динамических воздействий не только вниз по течению, но и поперек системы – из одних дельтовых рукавов и их систем в другие и даже вверх по течению реки. Любое естественное или антропогенное изменение морфологических или гидравлических характеристик в гидрографической сети дельты или приемного водоема передается на всю систему.

Дельта р. Селенги представляет собой довольно редкий морфо-генетический тип на побережьях внутренних водоемов – дельту выдвижения на открытом взморье. Это очень изменчивый и весьма уязвимый географический объект, физической основой процесса дельтоформирования служит отложение речных наносов вследствие уменьшения скоростей течения речного потока при втекании в приемный водоем. Речной сток, являясь важным рельефообразующим фактором, может существенно сказываться в процессах дельтообразования и во многом определяет неповторимую специфику изменчивости стока воды и наносов. Повышенная концентрация взвешенного материала в речных водах увеличивает скорость русловых деформаций и заметно активизирует процессы перестройки гидрографической сети.

Исследуемая территория характеризуется сложной и динамичной гидрографической

структурой. Наиболее полный анализ структуры устьевой области и ее границ проведен согласно двучленному принципу районирования на основе гидролого-морфологических признаков. Современная дельта начинается в главном узле бифуркации (с. Жилино) в 34 км от устья. Озёрное побережье протянулось на 60 км от мыса Облом до с. Исток. Площадь современной дельтовой равнины оценивается примерно в 800 км².

В вершине дельты река разделяется на два основных рукава: северный (Красноярский) и южный (Твороговский); затем, между расходящимися по краям основными рукавами отчленяются протоки следующего, более низкого порядка. Вся русловая сеть по своим гидроморфологическим особенностям условно может быть разделена на три группы. Северная: протоки Лобановская, Манзар, Дологан, сток которой направлен в залив Провал; Центральная: пр. Колпинная, Среднеустье, Галутай – впадают в озеро в среднем секторе дельты; Южная: Левобережная, Харауз, Шаманка выносят сток воды и наносов в озеро в южном секторе дельты. Основные параметры русловых потоков представлены в таблице 1. Гидрографическая структура дельты, помимо перечисленных, включает множество других проток, озер, стариц, создающих сложную динамически неустойчивую систему.

Таблица 1

Гидроморфометрические характеристики основных потоков в створах экспериментальной сети наблюдений

Гидроствор	V, м/с	H _{ср} , м	B _{ср} , м	I, ‰	ω, м ²	ω _{бр} , м ²	χ, м	R, м
Манзар	1,1	1,60	89,00	0,83	142,10	232,80	97	2,40
Дологан	0,85	1,61	178,75	0,1	287,79	550,04	274	2,01
Лобановская	0,6	1,69	159,89	0,08	270,92	501,08	222	2,26
Колпинная	0,45	0,85	29,17	0,17	24,69	47,86	44	1,09
Шаманка	0,56	1,84	34,75	0,22	64,03	83,74	44	1,90
Левобережная	1,1	2,08	98,38	0,26	204,87	255,34	131	1,95
Галутай	0,9	1,70	69,62	0,21	118,63	260,87	112	2,33
Харауз	0,56	1,16	200,00	0,31	232,00	454,26	270	1,68
Среднеустье	0,66	0,83	65,00	0,20	53,95	127,38	82	1,55
М.Колесово	1,5	3,30	101,67	0,17	335,50	363,49	401	0,91

Примечание: V – скорость потока (м/с), H_{ср} – средняя глубина потока (м), B_{ср} – средняя ширина потока (м), I – уклон (‰), ω – площадь живого сечения (м²), ω_{бр} – площадь живого сечения в уровне бровок русла (м²), χ – смоченный периметр (м), R – гидравлический радиус (м).

На входе в устьевую область (по посту р. Селенга - разъезд Мостовой) максимальная водность за период инструментальных наблюдений отмечалась в 1973 году, расход воды составил 1472 м³/с. Максимальный среднегодовой расход наносов 130 кг/с зафиксирован в 1941 г., минимальный среднегодовой расход наносов составил 12 кг/с в 1972 году. Для р. Селенги характерны синхронные колебания стока воды и наносов. Сезонное распределение стока наносов совпадает с сезонным распределением стока воды. Определяющими факторами в формировании стока наносов являются водный режим реки, процессы русловой эрозии и дождевой смыл со склонов бассейна. Увеличение расходов воды и наносов начинается в апреле с началом снеготаяния, затем в мае происходит скачок подъема стока воды и наносов в связи с прохождением половодья, в июне – снижение водности и более резкий спад стока наносов, что объясняется отсутствием поверхностного смыла. В период прохождения паводков (в июле) отмечается увеличение стока наносов и пик мутности, а пик водности – в августе. Далее спад расходов наносов опережает спад

расходов воды. С апреля по сентябрь по русловой сети транспортируется до 96% от годового стока наносов.

В меженный период открытого русла распределение стока по секторам происходит в зависимости от водности в вершине дельты (рис. 1). С подъемом уровня воды в створе главного разбоя ($H > 400$ см, $Q > 3000$ м³/с) возрастает сток по протокам южной группы.

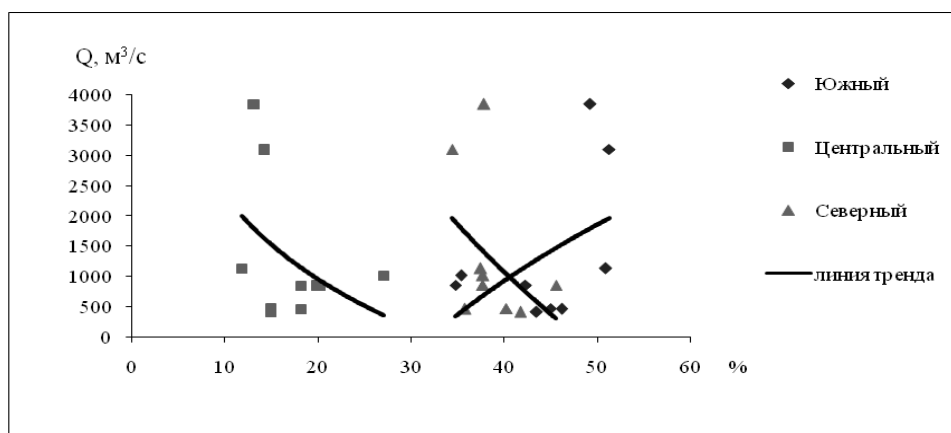


Рисунок 1. Распределение стока по секторам при различной водности в вершине дельты

Структура распределения взвешенных и влекомых наносов в период летне-осенней межени представлена на рисунке 2. Большую часть - более 60% - переносят протоки северного сектора, 5% - по центральному сегменту и до 30% наносов - по южной части. Значительное содержание взвешенных наносов отмечается в воде протоки Лобановская и ее составляющих (Манзар и Дологан).

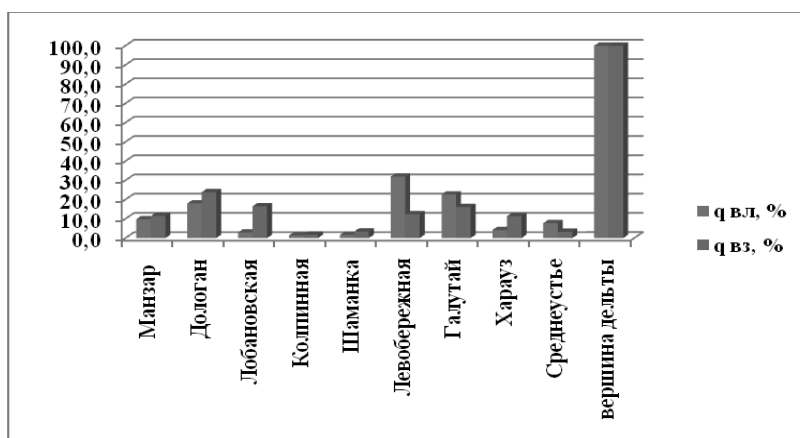


Рисунок 2. Распределение влекомых и взвешенных наносов по основным протокам

В донных отложениях протоки Лобановская независимо от водности фиксируется преобладание частиц песчаной фракции. Наблюдаемый факт можно объяснить влиянием ветров. Для северного сектора преобладают ветра северо-восточного направления «Баргузин», с повторяемостью 18%, что создает подпор со стороны залива Провал. В таких случаях наблюдается снижение скоростей водного потока до минимальных значений. Затем происходит интенсивное выпадение наносов и последующий рост дельты в устье протоки Лобановская в залив Провал.

Расчет расхода влекомых расходов выполнен методами Г.И. Шамова и В.Н. Гончарова. Распределение влекомых наносов по русловой сети, поступающих в вершину дельты, обусловлено морфометрическими и динамическими характеристиками проток. Максимальные расходы

в протоках Левобережная и Лобановская с ее составляющими - 34% и 31% соответственно, минимальные расходы - в небольших замыкаемых протоках Колпинная 1,43% и Шаманка 1,67%. Для небольших проток (Колпинная, Шаманка), наблюдается почти равномерное распределение наносов - как влекомых, так и взвешенных. Причина этому, скорее всего, морфология их русел и малые уклоны водной поверхности.

С использованием картографических материалов и космических снимков дельты р. Селенги за период 1952 - 2003 гг. нами рассчитаны гидрографические характеристики русловой сети дельты за многолетний период (табл.2). Анализ динамики основных параметров русловой сети выявил, что более нестабильная сеть водных потоков принадлежит северному сектору, коэффициент извилистости здесь находится в диапазоне $k_{изв}=1,3 - 1,36$. Средний коэффициент в центральном секторе составил $k_{изв} = 1,24$. В южном секторе русловая сеть менее динамична. Построенная к началу 1940-х гг. по левому берегу реки дамба препятствует естественным эрозионным процессам, что выражается в замыкании протоков, образовании старичных озер и в конечном счете, в сокращении площади; $k_{изв} = 1,21$. Плотность речной сети и извилистость русел в значительной мере варьируют в соответствии с периодами водности и условиями зарегулированности; так, для северного сектора колебания густоты русловой сети составляют от 0,62 до 0,81 км/км². Максимальное развитие русловых деформаций отмечено в многоводные годы. В период высокой водности 1990-95 гг. произошла наиболее существенная перестройка гидросети, приведшая к перераспределению стока. В период с 1998 г. по 2002 г. русловая сеть находилась в состоянии относительной стабильности.

Таблица 2

Гидрографические характеристики по секторам дельты р. Селенги

Годы	F, км ²			d, км/км ²			k _{изв}		
	Северный	Центральный	Южный	Северный	Центральный	Южный	Северный	Центральный	Южный
1952	220	204	192	0,81	0,89	0,69	1,34	1,27	1,23
1982	236	204	200	0,68	0,84	0,67	1,31	1,22	1,19
1995	230	205,2	196,2	0,72	0,80	0,72	1,34	1,24	1,21
1998	222	192	192	0,72	0,86	0,74	1,31	1,22	1,21
2000	232	196	196	0,73	0,99	0,75	1,31	1,22	1,21
2002	234	194	196	0,62	0,94	0,73	1,3	1,23	1,19
2003	236	194	196	0,65	0,92	0,70	1,36	1,25	1,19
среднее	230	198,5	195,5	0,70	0,89	0,71	1,32	1,24	1,21

Пояснения: F, км²-площадь; d, км/км²- густота русловой сети; k_{изв} –коэффициент извилистости

Степень устойчивости русла отражает характер взаимодействия руслового потока и грунтов берегов и дна реки, а в интегральном виде показывает интенсивность переформирования русел. Применяя различные показатели устойчивости русла, можно сравнивать реки и отдельные участки рек, отличающиеся интенсивностью развития русловых деформаций. Таким путем можно оценить количественно скорости размыва берегов. Расчеты параметров устойчивости для большинства

проток характеризуют переходное состояние русла от корытообразной к параболической форме. Наиболее ярким примером корытообразного русла является относительно молодая протока Левобережная.

Все протоки дельты извилистые. Этому способствуют наличие пространства для блуждания и легкоразмываемые грунты. Ширина пояса меандрирования в привершинной части составляет 10 км в сторону хр. Улан-Бургасы (северо-восточное направление) и до 5 км в юго-западном направлении от современного русла. В северном секторе в поясе меандрирования сохранились старичные протоки (старый Харауз, ранее именовавшийся Кударинский рукав, 1897 г., район с. Байкало-Кудара) и озера; в этой части дельты наибольшая ширина пояса блуждания от 7,5 до 10 км. В южном секторе пояс меандрирования 2–3,5 км. Процесс эродирования и блуждания подтвержден расчетными величинами параметра Глушкова ($G=5,3-9,0$) и параметра Гришанина ($M=0,9-1,1$). Интенсивность просадки ложа или аккумуляции наносов в русле наглядно можно видеть на поперечных профилях русел, полученных нивелированием по створам временной сети наблюдений (рис. 3).

Совмещение разновременных картографических материалов и натурные данные указывают на существенные плановые миграции и перестройку гидросети. Скорость сползания излучин составляет в среднем 1–1,5 м/год, скорость боковой эрозии по натурным наблюдениям в среднем достигает 3–4 м/год. Скорость плановой деформации при поперечном смещении излучин в створе разбоя на два основных рукава составляет порядка 1 м/год. При этом фронт размыва распространяется на всю привершинную часть излучины, частично замывая ее. Узел разбоя сместился на 1,5 км вниз по течению.

Русловая сеть дельты «приспосабливается» к условиям зарегулированности и практически не имеет устойчивого состояния. Конфигурация и морфометрические параметры русел и островов варьируют достаточно быстро во времени и пространстве, что выражается в постоянной плановой перестройке, изменение фарватера реки, размыве островов и образовании новых, заиливание в течение одного половодья какого-либо глубокого русла и появление нового, прорыв русла через прирусловые валы. Интенсивность русловых деформаций зависит от сезонных и многолетних колебаний стока воды и твердого материала, перемещаемых рекой, постепенных изменений продольного профиля русла и отношения эрозионной способности потока и податливости пород ложа реки процессу эрозии. Повышение уровня оз. Байкал приводит к аккумуляции наносов и повышению отметок русел.

Исследования разновременных срезов, начиная с 1950-х годов до наступления качественно нового периода в истории развития дельты Селенги – периода искусственного регулирования уровня режима озера Байкал, выявили основные элементы морфодинамики дельты р. Селенги. Значительные изменения происходят в соровой зоне дельты и в дельтовых водотоках. Изменение уровня озера после окончания строительства Иркутской ГЭС (249 см над «0» графика в 1964 г.) привело к усилению волнового воздействия на морской край дельты, частичному ее подтоплению и приостановке общего выдвигания устьевых конуса выноса в озеро. Современный прирост дельты происходит за счет заполнения соровых акваторий между краем субэвральная дельты и цепочкой окаймляющих береговых баров в заливах Сор-Черкалов и Провал, куда впадают самые многоводные дельтовые рукава Левобережная, Харауз и Лобановская. Наибольший рост отмечается в зоне выдвигания северного сектора и составил к 2007 году до 1,5 км.

Центральная, менее обводненная, часть дельты долгое время находится в стадии стабильного равновесия, так как большая часть речных наносов аккумулируется в пределах субэвральная дельтовой равнины, формируя молодую пойму. От протоки Колпинная до протоки Шаманка произошло подтопление дельты, выражающееся в образовании множества водоемов (дельтовых озер) и отступании береговой линии до 2,0 км. В центральном поясе дельтового тела в результате аккумуляции наносов происходит подъем отметок русел и обмеление ранее существовавших старичных озер.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ПРОГНОЗ КЛИМАТА РОССИИ ДО 2020 ГОДА

Кирста Ю.Б., Ловцкая О.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, kirsta@iwep.asu.ru

SIMULATION AND FORECAST OF CLIMATE IN RUSSIA TILL 2020

Kirsta Yu.B., Lovtskaya O.V.

Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, kirsta@iwep.asu.ru

Выполнен информационный системно-иерархический анализ воздействия растительности и человека на атмосферные процессы. Дан прогноз до 2020 года среднепогодных значений месячных температур и осадков, определяющих режим увлажнения и урожайность в зернопроизводящей зоне России. Показана возможность прогноза климата и увлажнения по территории Горного Алтая.

Information system-hierarchical analysis of the vegetation and man influence on atmospheric processes is carried out. The mean annual monthly values for precipitation and temperature that determine humidification regime and crop in Russian grainproducing region are predicted till 2020. The prognosis of both climate and humidification throughout Gorny Altai territory is shown to be possible.

В работах [1–3] вскрыт механизм совместного информационно-ритмического влияния наземной растительности и человека на динамику климата в умеренной зоне. Проведенный информационный системно-иерархический анализ показал, что динамика климатических факторов (приповерхностных температур воздуха и осадков) определяется многолетней ритмикой как развития растительности, так и функционирования человеческого общества и имеет определенные информационные статистические характеристики.

Российское государство как система воздействует на среду единообразно по своей обширной территории, тогда как растительные экосистемы на этой территории имеют различные сроки своих циклов развития. По этой причине ритмика функционирования человеческого общества является «задающей» для климата России. При этом совместное влияние растительности и человека ведет, например, к появлению климатических квазивековых циклов.

Показано, что вековые циклы состоят из трех характерных 33-летних периодов (фаз) [3]. В России данные фазы охватывают 1918–1950, 1951–1983, 1984–2020 гг. Каждой 33-летней фазе векового цикла отвечает своя межгодовая динамика климатических факторов. Она характеризуется определенной статистической информацией, аналогичной информации для растительности и человеческого общества. Подобная передача информации легко объясняется с физической точки зрения. Действительно, в ходе циклических сукцессий у наземной растительности изменяется альбедо, что ведет к циклическим изменениям теплового баланса земной поверхности и атмосферы. В свою очередь, человек постоянно воздействует на климатические процессы путем загрязнения атмосферы выбросами промышленности, вспахивания и изменения альбедо освоенных им обширных территорий (изменяются режим испарения почвенной влаги и температура приземного слоя атмосферы). Это влияние тоже имеет циклический характер с различной внутригодовой (регулярные выходные дни, праздники) и многолетней (севооборот сельскохозяйственных полей)

ритмикой. При таких воздействиях, очевидно, будет формироваться и определенная ритмика атмосферных процессов. В физике данное явление известно как вынужденные колебания и параметрический резонанс динамических систем. Информация же рассматривается как статистическая характеристика динамики переменных.

Исходные материалы и метод исследования

Исследование осуществлялось с помощью совместной имитационной математической модели агроклиматического потенциала и климатических трендов, описывающей взаимосвязанные многолетние изменения потенциала и климата. Точность описания моделью базовых процессов в агроэкосистемах совпадала с теоретически наилучшей [4, 5]. Модель апробирована для различных территорий с континентальным и умеренным климатом, в частности, для оценки многолетних изменений потенциала и климата в зернопроизводящих зонах России и США [4, 5].

На рисунке 1 приведена схема формирования используемых данных.

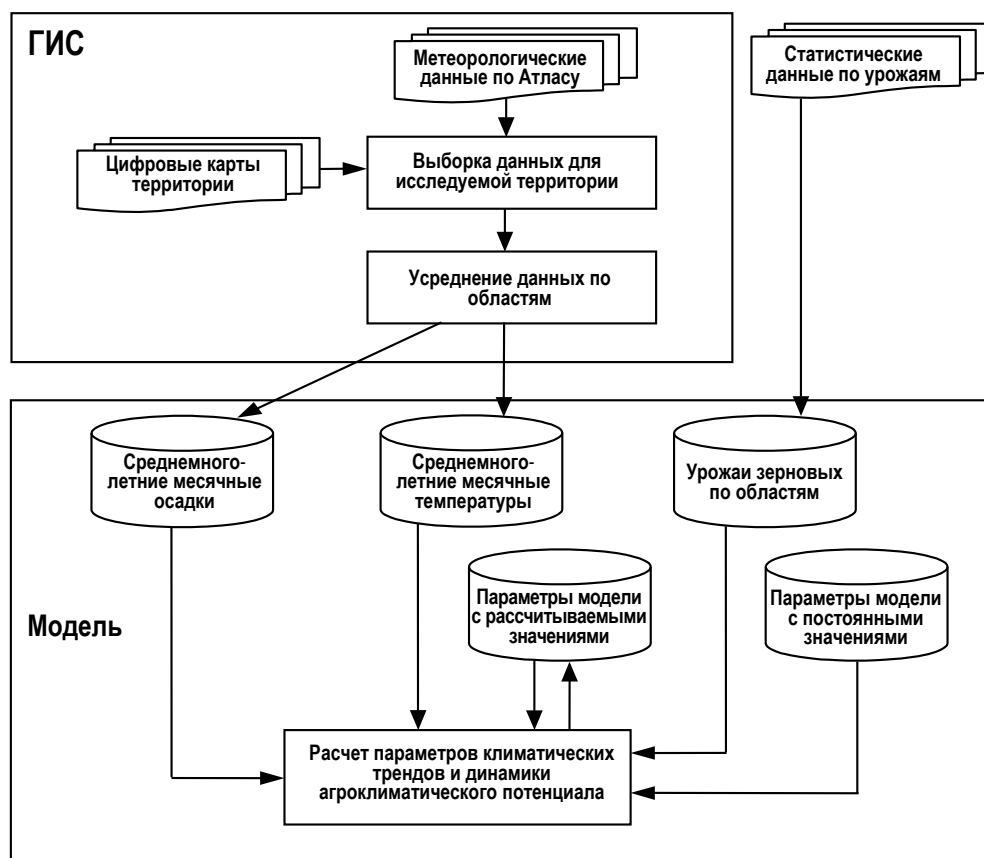


Рисунок 1. Схема формирования входных данных для имитационной модели

Расчеты выполнялись путем решения обратной задачи (наилучшего совпадения найденных по модели и фактических урожаев зерновых по 71 областям России) с помощью оптимизационных методов при одновременном использовании средне-годовых данных о месячных температурах воздуха и осадках на характеризующих территориях.

Результаты исследований

Проведенный системно-иерархический анализ и имитационная модель показали, что при совместном воздействии на атмосферные процессы растительности и человека должны стабилизироваться средне-годовые значения месячных температур приземного слоя воздуха и осадков в пределах каждого из указанных выше 33-летних фаз векового цикла.

Прогноз климатических изменений для зернопроизводящей зоны России выполнен по тре-

твей фазе, охватывающей 1984–2020 гг. В ней был выделен период 1984–2007 гг. с известными урожаями зерновых, по которому идентифицировались все необходимые для прогноза параметры модели (рис. 1). Найденные для этого периода месячные температуры и осадки, отвечающие средним площадным характеристикам, и являются искомым прогнозом (табл. 1).

Таблица 1

Климатический прогноз до 2020 г. для зернопроизводящей зоны России

Климатическая характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Среднегодовая температура, °C	-13,4	-11,4	-5,9	3,2	11,7	16,8	19,6	17,5	11,2	3,5	-4,7	-10,4
Среднегодовые осадки, мм	44,5	38,8	37,6	37,8	54,8	71,3	76,3	70,2	55,6	50,3	53,7	51,4

Для Горного Алтая средние площадные климатические характеристики не показательны из-за резкой пространственной изменчивости. Горный Алтай с заметно меньшим влиянием растительности и человека на атмосферные процессы прилегает к зернопроизводящей зоне России. В связи с широкомасштабностью атмосферных процессов для него также можно ожидать стабилизацию среднегодовых, но уже «точечных» значений климатических характеристик в пределах 33-летних фаз векового цикла.

Для проверки стабилизации среднегодовых значений температур и осадков нами взяты данные семи метеостанций в Горном Алтае по периодам 1951–1965 и 1966–1983 гг., составляющих фазу 1951–1983 гг. (табл. 2).

Таблица 2

Стабилизация климатических характеристик в пределах 33-летней фазы 1951–1983 гг. столетнего цикла для территории Горного Алтая

Метеостанция	Сумма среднегодовых месячных значений характеристики за холодный период года ($T < 0$), °C			Сумма среднегодовых месячных значений характеристики за теплый период года ($T > 0$), °C		
	1951–1965 гг.	1966–1983 гг.	Отношение сумм	1951–1965 гг.	1966–1983 гг.	Отношение сумм
Температуры воздуха						
Кузедеево	-63,3	-61,7	0,975	73,5	74,5	1,015
Змеиногорск	-56,0	-55,4	0,990	83,5	83,5	1,000
Солонешное	-64,8	-60,9	0,939	74,8	77,6	1,037
Кызыл-Озек	-58,3	-56,3	0,966	75,7	77,9	1,028
Яйлю	-31,4	-30,6	0,974	71,7	72,1	1,006
Усть-Кокса	-80,1	-76,6	0,961	65,2	65,8	1,009
Кара-Тюрек	-88,5	-86,3	0,975	18,2	16,9	0,927
Осадки						
Кузедеево	170,4	167,5	0,983	451,3	484,6	1,074
Змеиногорск	206,3	260,5	1,263	406,0	433,2	1,067
Солонешное	109,6	109,1	0,995	442,6	455,8	1,030
Кызыл-Озек	169,5	167,5	0,988	541,0	602,8	1,114
Яйлю	141,0	133,9	0,950	718,5	761,2	1,059
Усть-Кокса	76,1	76,1	1,000	373,5	379,8	1,017
Кара-Тюрек	232,2	268,6	1,157	299,8	314,0	1,047

Предполагалось, что отношения сумм в таблице 2 (столбцы 4, 7) в среднем по семи станциям должно быть близко к 1. Поэтому эмпирическое среднее по каждой выборке из семи отношений сравнивалось с 1 как средним генеральной совокупности. Проверка с доверительной вероятностью 95% равенства этих двух величин (справедливости нуль-гипотезы при двустороннем критерии) статистически подтвердила это равенство для температур теплого периода и осадков холодного периода года. Для температур же холодного периода и осадков теплого периода года нуль-гипотеза не подтвердилось из-за стабильного отношения сумм, имеющего весьма малую дисперсию. В то же время различие соответствующих сумм месячных значений климатических характеристик в таблице 2 не превышает погрешности самих измерений, включая возможные систематические ошибки, в частности, при смене измерительных приборов. Например, в 1960-х годах осуществлена замена осадкомера с защитой Нифера на осадкомер с защитой Третьякова. Учитывая возможные систематические ошибки и закономерную стабильность отношений сумм в пределах выборок, можно полагать стабилизацию среднемноголетних значений температур и осадков на территории Горного Алтая в пределах отдельных 33-летних фаз столетнего цикла. Таким образом, несмотря на значительную орографическую и климатическую неоднородность горной территории, осуществим прогноз климата и среднемноголетнего увлажнения территории Горного Алтая до 2020 г. (в пределах фазы 1984–2020 гг. столетнего климатического цикла) путем усреднения данных метеонаблюдений с 1984 по текущий год и принятия полученных величин в качестве прогнозных.

Литература

1. *Kirsta, Yu.B.* Information-hierarchical organization of biosphere and problems of its sustainable development // *Ecol. Modelling*. – 2001. – Vol. 145. – P. 49–59.
2. *Kirsta, Yu.B.* Information-hierarchical organization of mankind and problems of its sustainable development // *World Futures*. – 2003. – Vol. 59. – P. 401–420.
3. *Кирста, Ю.Б., Кирста, Б.Ю.* Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем: монография. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. – 270 с.
4. *Kirsta, Yu.B.* System-analytical modelling – Part I: General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // *Ecol. Modelling*. – 2006a. – Vol. 191. – P. 315–330.
5. *Kirsta, Yu.B.* System-analytical modelling – Part II: Wheat biotime run and yield formation. Agroclimatic potential, Le Chatelier principle, changes in agroclimatic potential and climate in Russia and the U.S. // *Ecol. Modelling*. – 2006b. – Vol. 191. – P. 331–345.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД НА ОСНОВЕ ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кичигина Н.В.¹, Макагонова М.А.²

¹*ИГ им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, kichigina@irigs.irk.ru,*

²*Владивосток, ТИГ ДВО РАН, mmakagonova@bk.ru*

REGULARITIES OF SMALL RIVERS RUNOFF FORMING OF BAIKAL NATURE TERRITORY IN SUMMER – AUTUMN PERIOD ON BASED OF DYNAMICS – STOCHASTIC MODELING

Kichigina N.V.¹, Makagonova M.A.²

¹*V.B. Sochava IG SB RAS, Irkutsk, kichigina@irigs.irk.ru,*

²*PIG FEB RAS, Vladivostok, mmakagonova@bk.ru*

Модель паводочного цикла используется для выявления закономерностей формирования стока малых рек на Байкальской природной территории. Она имитирует динамику водного баланса составляющих влагозапаса бассейна. Определены основные и вспомогательные параметры модели, на основе численных экспериментов рассчитаны генетические составляющие стока.

The flood cycle model is using for revelation of runoff forming regularities of small rivers of Baikal Nature Territory. The water balance dynamics in river basin are simulated with the model. Basic and additional parameters of model were determined. Genetic components of river runoff were calculated.

Байкальская природная территория (БПТ) является уникальным объектом для изучения специалистами разного профиля. На территории БПТ находится огромное число малых рек, которые представляют собой один из важнейших элементов географической среды и играют большую роль в характеристике гидросферы региона.

Территория БПТ характеризуется континентальным климатом, который обуславливает большие колебания температур воздуха и неравномерное распределением атмосферных осадков по сезонам года. Распределение осадков по территории БПТ определяется преобладанием северо-западного переноса воздушных масс и рельефными особенностями территории (ориентацией горных хребтов с юго-запада на северо-восток). Истоки большинства рек БПТ находятся на склонах горных хребтов и в верховьях, а для многих рек и по всей длине они имеют горный характер. Основная часть стока рек проходит в теплый период года. Наличие многолетнемерзлых пород способствует, наряду с сильной расчлененностью рельефа, быстрому преобразованию дождевых осадков в сток с относительно небольшими потерями на инфильтрацию и образованию высоких паводков на реках [4].

Огромный вклад стока малых рек в водную массу оз. Байкал определяет важность изучения закономерностей формирования их стока. Для этого используется модель паводочного цикла малого речного бассейна (ПЦ-модель МРБ) Б.И. Гарцмана [1, 2].

Модель имитирует динамику водного баланса составляющих влагозапаса бассейна, которых выделяется всего четыре, с суточным разрешением по времени. Три из них (русовая, грунтовая и «верховодка») образуют гравитационный влагозапас, четвертая представляет негравитационный

влагозапас в целом (в основном, капиллярная почвенная влага). Согласно предварительной оценке, ПЦ-модель адекватна в диапазоне пространственных масштабов от 10 до 1000 км², с разрешением по времени одни сутки. Она была создана и опробована для расчета паводочного стока рек Дальнего Востока, где гидрологический режим рек характеризуется высокой неустойчивостью и неравномерностью распределения в годовом и многолетнем разрезах [3]. Цель работы – на примере выбранных бассейнов возможность применения модели на малых реках БПТ.

Используемая модель оперирует небольшим числом параметров, (8) все они имеют физический смысл. Два динамических параметра модели – это критический расход и коэффициент истощения бассейновых влагозапасов, остальные – это емкостные характеристики бассейна. Критический расход вскрывает закономерности пороговой динамики речного стока, превышение критического расхода означает, что речной бассейн переходит на режим поверхностного стекания воды. Коэффициент истощения бассейновых влагозапасов тесно связан с закономерностями строения речной сети. Емкостные характеристики связаны с почвенно-гидрологическими константами. Исследование зависимости этих параметров от гидрографических, ландшафтных, и других характеристик представляет важный аспект в исследовании режима формирования стока малых рек БПТ.

Для этого на выбранных малых речных бассейнах БПТ определены основные и вспомогательные параметры модели паводочного цикла малого речного бассейна; на основе численных экспериментов рассчитаны генетические составляющие стока.

В качестве модельных выбрано три малых речных бассейна в пределах БПТ. Два из них – (бассейны рр. Харат и Олха) относятся к бассейну р. Ангары и находятся в экологической зоне атмосферного влияния БПТ, и один – (бассейн р. Хара-Мурин) относится к бассейну оз. Байкал и находится в пределах центральной экологической зоны БПТ. По характеру водного режима реки Байкальского региона относятся к типу рек с половодьем и паводками. На выбранных бассейнах паводочные максимумы существенно превосходят половодные как по количеству в ряду годовых максимумов, так и по абсолютным величинам (таблица 1).

Таблица 1

Сравнение половодных и паводочных максимумов стока речных бассейнов

Бас- сейн	Период наблюдений	Максимумы половодья			Дождевые максимумы		
		Кол-во в ряду годовых макс.	Значение максимума, м ³ /с	№ п/п в ранжиров. ряду годовых максимумов	Кол-во в ряду годовых макс.	Значение максимума, м ³ /с	№ п/п в ранжиров. ряду годовых максимумов
Олха	54	13	32,9	29	41	210	1
Харат	35	12	27,8	1	23	21	3
Хара- Мурин	59	10	232	33	49	1270	1

Расчеты проводятся на основе стандартных ежедневных данных об осадках и стоке и взяты из гидрологических ежегодников и метеорологических ежемесячников. Для каждого пункта наблюдений за стоком подбираются репрезентативные метеостанции или посты, наилучшим образом отражающие генезис и динамику увлажнения в каждом малом речном бассейне. В таблице 2 представлены результаты расчета динамических и емкостных параметров модели.

Для работы модели выбирались годы с высокими паводками, когда наблюдалось превышение критического расхода. На рисунке представлены наблюдаемые и моделированные гидрографы стока с хорошим качеством моделирования, когда коэффициент Нэша-Сэтклифа составлял 0,85-0,87.

Результаты расчетов параметров ПЦ-модели МРБ

Речной бассейн	Площадь водосбора, км ²	Залесенность, %	R _{рус}	Q _{кр} , м ³ /сек	Q _{кр} , мм/сут	ПВ, мм	НВ, мм	ГКВ, мм	РКВ, мм
Харат	288	90	0.509	13.8	4.13	180	155	16.8	8.41
Олха	590	80	0.372	28.5	4.18	200	180	13.3	6.66
Хара-Мурин	1130	66	0.287	163.5	12.5	584	517	35.1	17.5

На сильно залесенных водосборах рр. Харат и Олха уменьшается критический расход, уменьшается доля поверхностного стока и увеличивается доля внутриобъемного и подземного, по сравнению с менее залесенным бассейном р. Хара-Мурин.

Качество моделирования оценивалось тремя мерами сходимости – мерой абсолютной сходимости (M), мерой среднеквадратической сходимости (σ) и коэффициентом корреляции в формулировке Нэша-Сэтклифа (E).

$$M = \frac{\sum_{i=1}^N |Q - Q_s|}{N}, \quad \sigma = \frac{\sum_{i=1}^N (Q - Q_s)^2}{N}, \quad E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q - Q_s)^2 / N}{\left(\sum_{i=1}^N \frac{Q^2}{N} - \left(\sum_{i=1}^N Q \right)^2 / N \right)},$$

где Q – ежедневные наблюдаемые значения стока, Q_s – значения стока, полученные по модели, N – число дней в расчетном периоде. Основным методом при оценке соответствия моделированного гидрографа наблюдаемому являлся метод Нэша-Сатклифа.

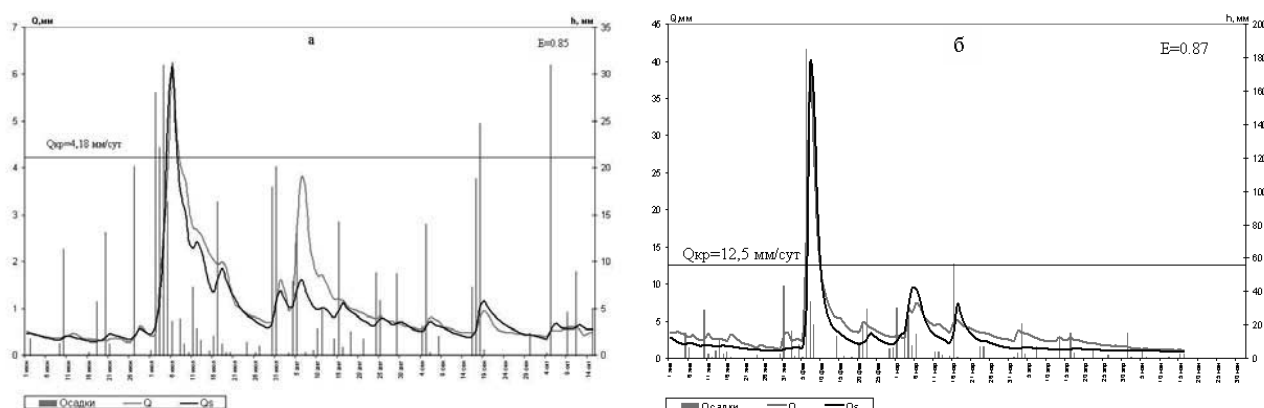


Рисунок Наблюдаемый (Q) и рассчитанный с помощью ПЦ-модели МРБ (Q_s) гидрографы стока в бассейне р. Олхи за 1966 г. (а) и р. Хара-Мурина за 2001 г. (б).

Для ряда лет с незначительными паводками или с паводками смешанного происхождения (с наложением снеготаяния) коэффициент Нэша-Сатклифа был около 0,50 и ниже. Особенно это проявилось для июньских паводков в бассейне р. Хара-Мурина, берущей начало на отрогах Хамар-Дабана, где выпадает значительное количество снега, сохраняющегося до июня месяца. Немаловажным при моделировании является выбор репрезентативного осадкомера. Однако слабая изученность территории и труднодоступность данных суточного разрешения по стоку и осадкам не позволило в настоящий момент более полно охватить распределение дождей. Процессы осадкообразования того или иного года имеют различный генезис и динамику, что может не от-

ражать одна станция. При этом большая часть метеорологических станций находятся на устьевых участках водосбора и не отражают в полной мере процессы осадкообразования на водосборе.

Проведенные расчеты показали пригодность модели для расчетов и прогнозов стока для рек БПТ с преобладанием в режиме дождевого стока. Использование возможностей модели паводочного цикла позволит более полно исследовать особенности формирования и динамики стока малых рек БПТ в разных структурно-гидрографических и ландшафтных условиях.

Литература

1. *Гарцман Б.И.* Феномен контррегулирования стока в модели паводочного цикла малого речного бассейна // География и природные ресурсы. 2001. № 2.
2. *Гарцман Б.И.* Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока. Методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. – 221 с.
3. *Макагонова М.А.* Пространственно-временная динамика параметров водообмена малых речных бассейнов в области восточно-азиатского муссона // География и природные ресурсы. 2009. №2. С. 11-20.
4. Сетевой ресурс: <http://www.redbookrb.ru/>

О ВЛИЯНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

*Копылова Г.Н. Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru*

EFFECTS OF SEISMICITY IN BEHAVIOR OF UNDERGROUND WATERS

*Kopylova G.N.
Kamchatka Branch Geophysical Service, Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatskii, gala@emsd.ru*

По данным многолетних специализированных наблюдений на скважинах и источниках Камчатки и материалов сейсмогеологического обследования плейстосейстовых зон сильных землетрясений рассматривается воздействие коровых землетрясений на формирование режима напорных пресных и термоминеральных подземных вод.

The effects of strong earthquakes on the behavior of head fresh and thermal underground waters are considered on data of long-term observations in wells of Kamchatka seismic region and geological investigations of earthquake sources areas.

Формирование подземных вод (ПВ) сейсмоактивных районов имеет специфические особенности, связанные с воздействием на их режим сейсмичности, в первую очередь, сильных коровых землетрясений. Характер, пространственные и временные масштабы изменений в подземных водах, вызванные землетрясениями, необходимо учитывать при геоэкологических исследованиях, поиске гидрогеологических предвестников землетрясений, а также при оценке последствий произошедших землетрясений, в частности, при построении макросейсмических карт и изосейст. Вместе с тем, вопросам методологии оценки гидрогеологических последствий сильнейших землетрясений не уделяется достаточное внимание. В настоящей работе на примере отдельных сейсмоактивных районов дается общая характеристика влияния на ПВ факторов сейсмичности, среди которых выделяются процессы подготовки землетрясений, образование различных типов сейсмодислокаций и распространение сейсмических волн.

Характеристика взаимосвязи материалов сейсмологических и гидрогеологических исследований, необходимых для региональной оценки гидрогеологических последствий сильнейших землетрясений, приводится на рисунке. Особенностью использования сейсмологических данных является рассмотрение землетрясений с точки зрения отдельных факторов их воздействия на состояние геологической среды. Результаты гидрогеологических исследований в форме различных карт характеризуют особенности распространения и формирования различных типов ПВ сейсмоактивной территории. Эти материалы, а также данные режимных наблюдений на скважинах и источниках, привлекаются для оценки воздействия отдельных сейсмических факторов на состояние и режим различных типов ПВ. Анализ данных режимных наблюдений должен быть направлен, в первую очередь, на достоверное выделение гидрогеосейсмических вариаций в изменениях гидродинамических и гидрогеохимических параметров режима скважин и источников, соответствующих влиянию отдельных факторов сейсмического воздействия.

Оценка гидрогеологических последствий землетрясений с использованием приведенной схемы (рис.) проводилась на примере сильных ($M \geq 5$) землетрясений второй половины XX – начала

Методология оценки гидрогеологических последствий сильнейших землетрясений в сейсмоактивном регионе

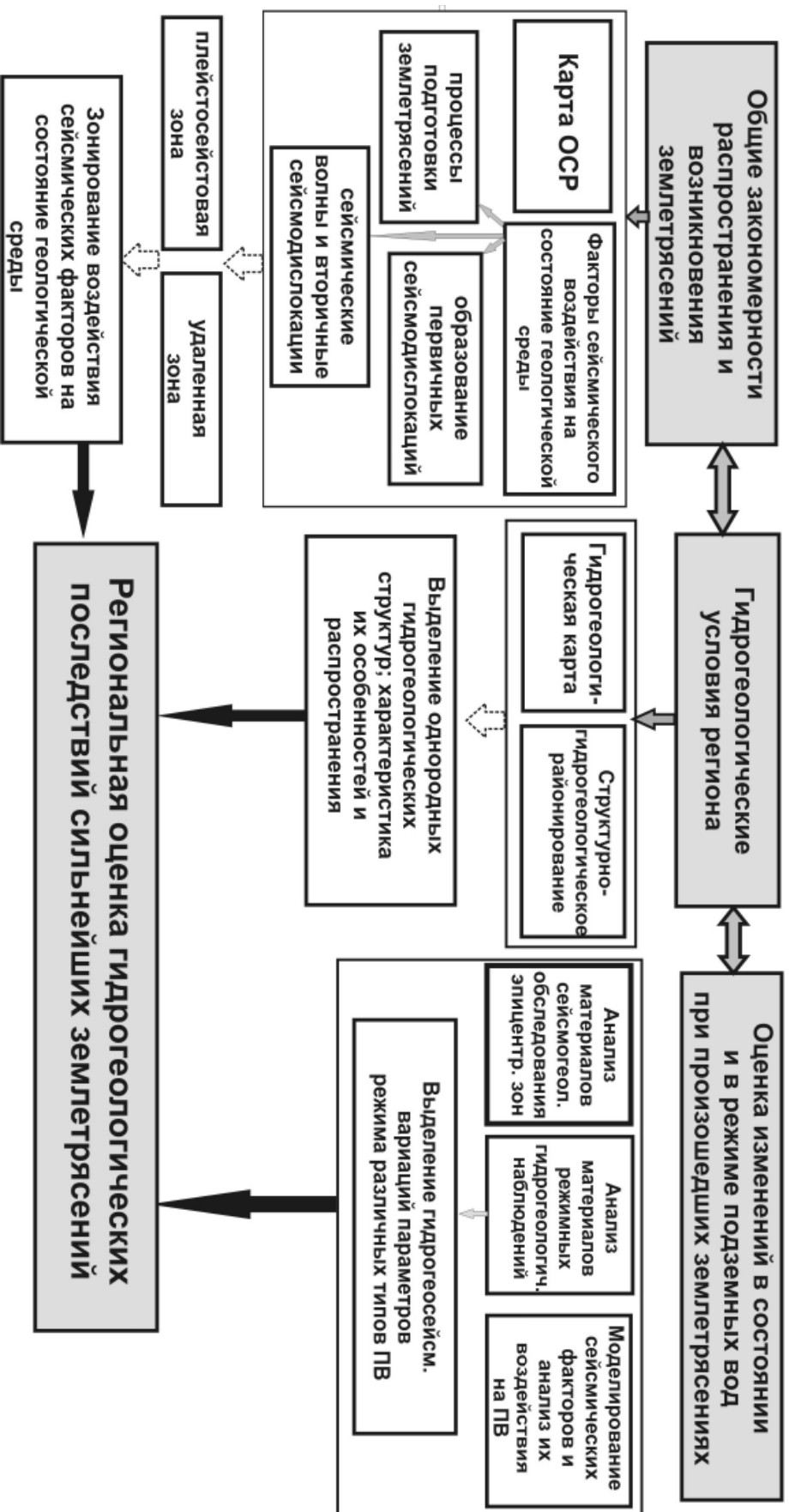


Рис. 1.

XXI вв., произошедших на территории России и бывшего СССР. В качестве исходных данных использовались опубликованные материалы сейсмогеологического обследования эпицентральных зон в районах.

Дальнего Востока, Байкальской рифтовой зоны, Кавказа и др., составленные сейсмологическими организациями; а также материалы режимных наблюдений на сетях скважин и источников, в т. ч. результаты специализированных наблюдений КФ ГС РАН на территории Петропавловского полигона, Восточная Камчатка, в 1977-2010 гг.

Анализ материалов сейсмогеологического обследования эпицентральных районов показывает значительные изменения в состоянии грунтовых ПВ в зонах с интенсивностью сотрясений от 10 до 7-8 баллов по шкале MSK-64, которые были вызваны, в основном, разжижением грунтов и образованием вторичных сейсмодислокаций при воздействии высокочастотного сейсмического излучения. Типичными формами таких изменений являются массовые выбросы воды и водонасыщенных грунтов по трещинам в долинах рек в области распространения рыхлых четвертичных отложений. Во время некоторых землетрясений отмечались залповые выбросы воды из скважин вследствие резкого повышением флюидного давления грунтовых и напорных ПВ. Наблюдалось исчезновение источников пресных и минеральных вод и образование новых источников. Такие явления указывают на изменение условий разгрузки грунтовых пресных и напорных минеральных ПВ. В некоторых районах отмечалось изменение структуры местной гидросети и связанная с этим перестройка зон питания и разгрузки грунтовых ПВ.

Формирование трещинно-жильных систем напорных ПВ в относительно глубоких зонах складчатых областей связано, в основном, с развитием трещиноватости в скальных горных породах. Определяющую роль в их формировании играют глубинные разломы и трещинные системы их оперения. Во время сильных землетрясений и их афтершоков образуются новые разрывы со смещением, которые могут изменять существующую систему трещиноватости и условия формирования напорных ПВ в диапазоне глубин до первых десятков км.

Материалы режимных наблюдений можно разделить на две группы: 1 – ретроспективное обобщение данных, проводимых различными организациями с целью мониторинга пресных ПВ, нефтяных и газовых месторождений (до 1970-ых гг.); 2 – данные наблюдений на скважинах и источниках с целью поиска гидрогеологических предвестников землетрясений (примерно со второй половины 1970-х гг.).

Недостатками первой группы материалов являются фрагментарность временных рядов данных наблюдений и невозможность достоверного выделения пред-, ко- и постсейсмических вариаций в изменениях отдельных параметров режима ПВ с указанием их формы, продолжительности и амплитуды. Материалы специализированных наблюдений (группа 2) наиболее представительные, т. к. они дают объективную информацию об изменениях параметров режима скважин и источников с возможностью достоверного выделения различных типов гидрогеосейсмических вариаций.

Определенные проблемы при оценке влияния сейсмодислокаций и процессов подготовки сильных землетрясений на ПВ связаны также с весьма малым объемом данных специализированных гидрогеологических наблюдений в плейстосейстовых зонах. Например, наблюдения на сети скважин и источников Камчатки проводятся КФ ГС РАН более 30-ти лет. На основе полученных данных выделены основные типы гидрогеосейсмических вариаций, проявляющихся в режиме напорных пресных и термоминеральных ПВ вод в зонах с интенсивностью сотрясений до 5-6 баллов: гидрогеологические предвестники, сопровождавшие подготовку ряда сильных землетрясений с $M=6,6-7,8$ на гипоцентральных расстояниях $R=90-320$ км; косейсмическая реакция порового давления напорных пресных ПВ, проявляющаяся в скачках уровня при образовании разрывов в очагах землетрясений с $M=6,2-7,8$; разнообразные постсейсмические изменения уровней, дебитов, температуры и химического состава ПВ при прохождении сейсмических волн от мест-

ных ощутимых землетрясений. В изменениях уровня воды безнапорных и слабонапорных поровых ПВ в четвертичных отложениях гидрогеосейсмические вариации либо не проявлялись или проявлялись очень слабо. При этом достоверные данные об изменении режима различных типов ПВ в зонах с интенсивностью сотрясений ≥ 7 баллов не получены до настоящего времени.

По данным наблюдений ТЦ «Алтайгеомониторинг», в районе Чуйского землетрясения (Горный Алтай, $M=7,5$) были выявлены закономерные изменения химического состава ПВ: их разбавление до землетрясения, сопровождавшееся уменьшением концентраций компонентов химического состава воды; формирование локальных гидродинамических и гидрогеохимических аномалий за счет увеличения разгрузки глубинных минерализованных вод после землетрясения [1]. Аналогичные тенденции в изменении химического состава воды напорных пресных и термоминеральных подземных вод при сильных камчатских землетрясениях прослеживаются и по данным наблюдений КФ ГС РАН.

Необходимым условием объективной оценки роли сейсмодислокаций и процессов подготовки землетрясений в формировании режима различных типов ПВ является проведение специализированных гидрогеологических наблюдений в сейсмоактивных регионах, включающих регистрацию гидрогеодинамических и гидрогеохимических параметров режима источников и скважин.

Литература

1. *Кац В.Е., Робертус Ю.В.* Гидрогеологические особенности в эпицентральной части Чуйского землетрясения // Матер. научно-практич. конф. «Алтайское (Чуйское) землетрясение: прогнозы, характеристики, последствия». Горно-Алтайский ун-т, 2004. http://e-lib.gasu.ru/konf/zemletr04/R_10.html.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОДОВОГО СТОКА РЕК СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Коробкина Е.А., ИВЭП СО РАН, Новосибирск,
E-mail: elenakorobkina@mail.ru

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF ANNUAL RUNOFF IN SIBERIA AND THE FAR EAST

Korobkina E.A., IWEP SB RAS, Novosibirsk,
E-mail: elenakorobkina@mail.ru

Выполнен анализ синхронности и пространственной однородности колебаний годового стока рек Сибири и Дальнего Востока. Районирование исследуемой территории по синхронности колебаний стока рек проведено с помощью анализа корреляционной матрицы на основе алгоритма автоматической классификации. Для оценки пространственной однородности территории построены пространственно-корреляционные функции колебаний годового стока.

The analysis of synchronism and spatial homogeneity of fluctuations of river annual runoff in Siberia and in the Far East has been carried out. Regionalization of the territory of Siberia with respect to synchronism of runoff fluctuations were performed with applying of analysis of correlation To assess spatial homogeneity of selecting regions spatial correlation functions of fluctuations of river annual runoff were constructed.

При исследовании закономерностей многолетних колебаний различных гидрологических характеристик возникает вопрос об их пространственной структуре. Выявление районов со сходными изменениями изучаемых характеристик является в настоящее время распространенным методом анализа пространственно-временной изменчивости речного стока. В частности, районирование территории по синхронности колебаний стока имеет важное значение при решении многих научных и практических гидрологических задач, связанных с комплексным использованием водных ресурсов при планировании и проектировании крупных энергетических и водохозяйственных систем.

Задача гидрологического районирования является как важным начальным этапом исследования закономерностей водного режима территории, так и представляет собственный научный интерес, поскольку позволяет выявлять и описывать основные гидрологические закономерности пространственной изменчивости стока. В последние годы большое распространение получили методы районирования, опирающиеся на статистический анализ закономерностей распределения по территории не самих исследуемых характеристик, а параметров их распределений, что дает возможность оценить не только качественный характер связей, но и сделать некоторую количественную оценку внутри однородных в гидрологическом отношении районов. В частности, широко стали использоваться подходы на основе различных методов факторного и корреляционного анализа. Применительно к задаче пространственной изменчивости стока рек рассматриваются пространственно-корреляционные функции колебаний стока [1, 2, 3, 4].

Анализ пространственно-корреляционной функции колебаний стока рек и выделение однородных районов по степени синхронности/асинхронности стока были выполнены применительно к рекам Азиатской части территории России (АТР).

Пространственно-корреляционная функция (ПКФ) колебаний годового стока $r=f(L)$ представляет собой зависимость выборочных оценок коэффициентов парной корреляции r от расстояния между центрами тяжести водосборов L . Полагается, что ПКФ отражает территориальную изменчивость характера многолетних колебаний годового стока рек.

На основе исследования пространственно-корреляционной функции выполнен анализ синхронности и пространственной однородности колебаний годового стока рек бассейнов Оби и Иртыша, Енисея и Ангары, Лены, Амура.

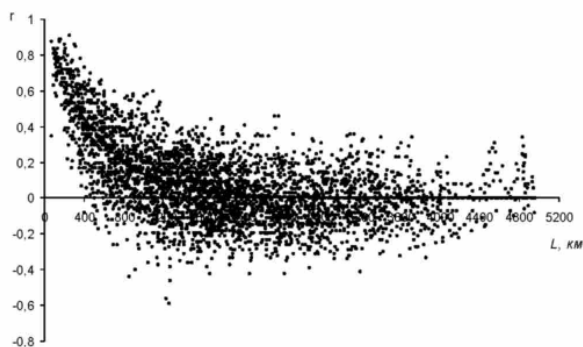


Рисунок 1. ПКФ годового стока рек

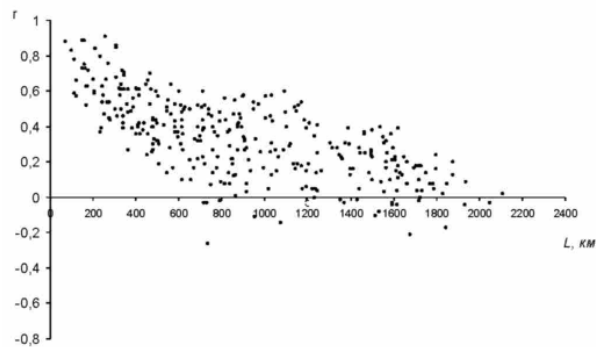


Рисунок 2. ПКФ годового стока рек
АТР район I

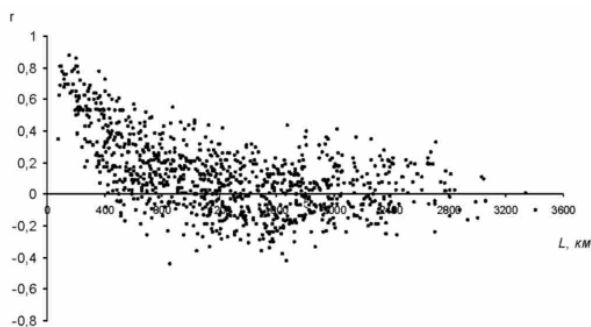


Рисунок 3. ПКФ годового стока рек
АТР район II

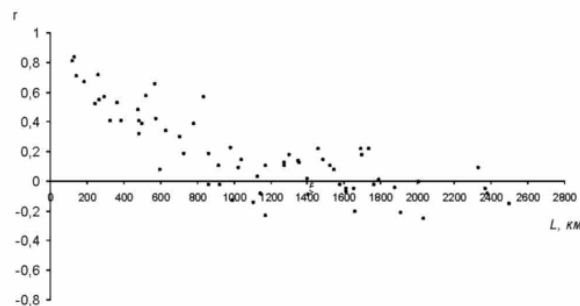


Рисунок 4. ПКФ годового стока рек
АТР район III

Прежде всего при проведении такого анализа встает вопрос выбора репрезентативных водосборов. Отбор производился с учетом следующих критериев: продолжительность гидрологических наблюдений более 40 лет, «непересечение» водосборов рек, отсутствие в бассейнах исследуемых рек существенных антропогенных воздействий на сток, площадь водосбора от 10000 до 65000 км².

Из 282 пунктов гидрологических наблюдений на реках Сибири и Дальнего Востока было выбрано 86 водосборов удовлетворяющих данным условиям. Исследуемая территория состоит из трех условных районов: I район – реки Обь-Иртышского бассейна и р. Кулунда; II район – реки бассейнов Енисея, Ангары, Лены, Яны и р. Норилка, р.Малая Куноапка; III район – реки бассейнов Амура, Колымы и р. Раздольная.

Анализ пространственно-корреляционной функции проводился как для всей исследуемой территории в целом, так и отдельно для рек районов I, II и III. Для территории Обь-Иртышского бассейна пространственно-корреляционная функция строилась на основе данных наблюдений за стоком 29 рек, для бассейнов рек Енисей, Ангара и Лена использовались данные по стоку 45 гидрометрических створов, для рек Амур и Колыма репрезентативных водосборов оказалось всего 12.

ПКФ годового стока рек всей исследуемой территории рассчитана по 3655 парным коэффициентам корреляции (рис. 1). Полученная функция хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией вида $r = \exp(-L/500)$. На рис. 2, 3 и 4 представлены эмпирические ПКФ годового стока рек, рассчитанные отдельно для каждого района I, II и III по 406, 990 и 66 парным коэффициентам корреляции, соответственно. Точки на графиках располагаются широкой полосой; хорошо заметна тенденция к убыванию коэффициентов корреляции с увеличением расстояния, что согласуется с результатами других авторов. Значительный разброс точек на графиках может быть связан с различными причинами, в том числе и со случайными ошибками расчета парных коэффициентов корреляции.

Оценка статистической однородности ПКФ, выполненная с помощью преобразования Фишера показала, что построенные функции не могут считаться однородными для всей исследуемой территории. Однако, разбиение исходного поля исследуемой функции на более мелкие районы и последующее построение ПКФ позволило выделить диапазоны расстояний, в которых правомерно использовать построенные функции для дальнейших оценок стока на основании их однородности, что согласуется с рекомендациями [5]. Оказалось, что для небольших районов, от 200 до 600 км, ПКФ однородна практически во всем диапазоне расстояний с хорошим соответствием теоретическим вероятностям распределения.

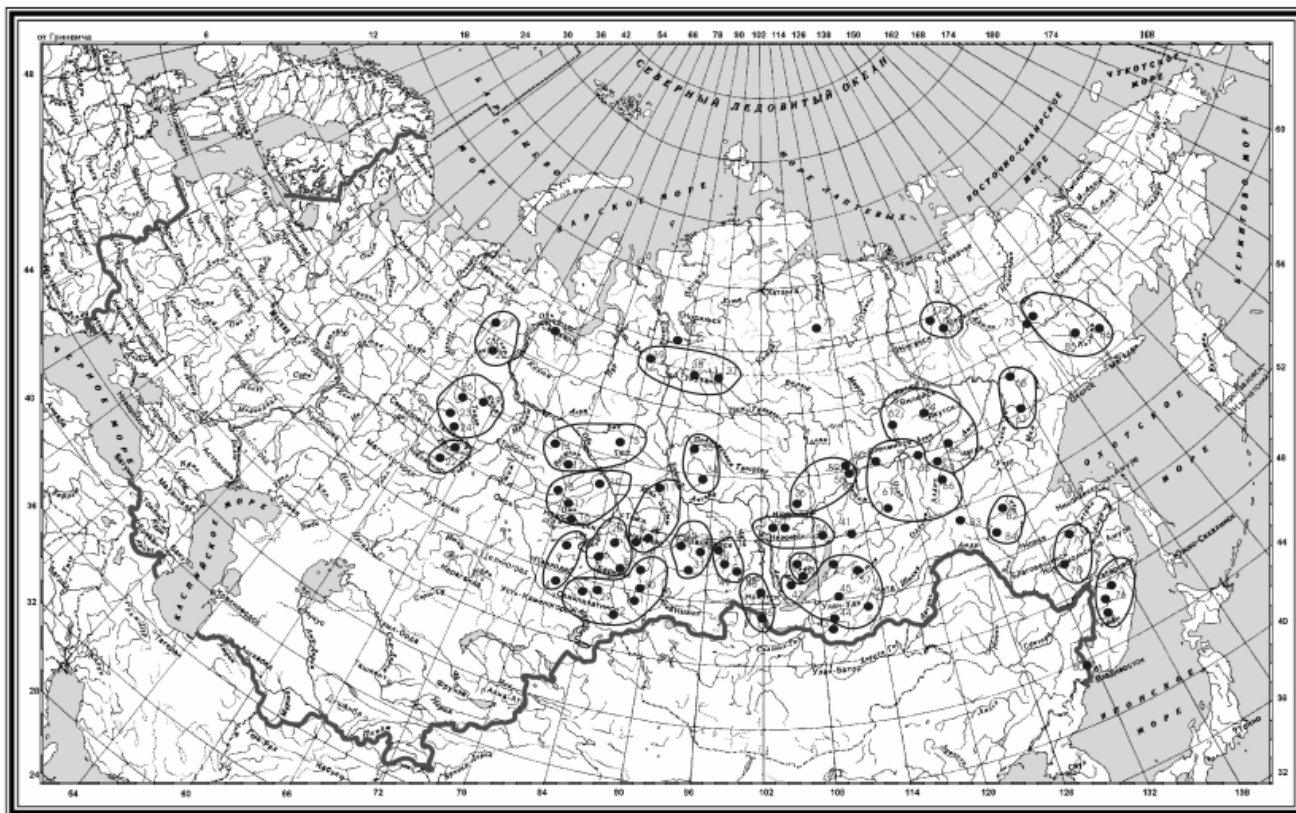


Рисунок 5. Районы с синхронными колебаниями стока.

● - центры тяжести бассейнов, ○ - границы районов

Районирование территории по синхронности колебаний стока. Для выявления районов синхронных колебаний кроме традиционных методов выявления и систематизации особенностей гидрологического режима применяются различные методы многомерного анализа: разложение полей на естественные ортогональные составляющие, факторный анализ, алгоритмы распознавания образов, различные варианты кластерного анализа.

Районирование по синхронности колебаний годового стока рек с применением метода корреляции выполнялось многими авторами [2, 6, 7]. В данной работе сделана попытка выявления однородных районов по синхронности/асинхронности стока на основе алгоритма классификации полей гидрометеорологических характеристик (типа кластер-анализа), первоначальная версия которого изложена в работе [8].

В качестве характеристики схожести колебаний временных рядов используется коэффициент корреляции. Корреляционная матрица временных рядов по всем рассматриваемым пунктам наблюдений анализируется с целью выделения групп, элементы которых связаны между собой корреляцией не ниже критического значения $r_{кр}$, и последовательно выделяются такие группы (таксоны), чтобы в одну группу попадали объекты, обладающие близкими значениями признаков. При этом теснота связи объектов внутри таксона не ниже заранее установленного уровня $r_{кр}$, а корреляция между объектами из разных таксонов ниже, чем внутри групп. Процесс образования групп идет последовательно с некоторым шагом Δr до достижения критического уровня $r_{кр}$.

Районирование всей исследуемой территории проведено на уровне связности $r_{кр} = 0,5$. Такое значение коэффициента парной корреляции было выбрано по нескольким соображениям. Начиная с этого уровня и ниже, присоединение дополнительных отдельных пунктов к существующей группе, или слияние групп, приводит к понижению среднего внутрирайонного коэффициента корреляции, что говорит о нарушении однородности колебаний (уменьшении связности) стока рек, входящих в данный район. Среднее квадратическое отклонение начинает расти достаточно существенно. Также при понижении порогового значения коэффициента корреляции начинают объединяться районы, географически между собой слабо связанные, находящиеся в разных природных зонах.

Таким образом, приняв в качестве наименьшего коэффициента парной корреляции внутри групп с однородными колебаниями годового стока $r_{кр} = 0,5$, мы получили 26 районов, объединивших 78 бассейнов (рис. 5). Отметим, что расстояния между центрами водосборов, объединившихся в однородные районы, не превышают 600 км, что согласуется с выводом об однородности ПКФ в диапазоне от 200 до 600 км.

Выводы

1. В результате применения модификация алгоритма гидрологического районирования по синхронности многолетних колебаний стока к водосборам на территории Сибири и Дальнего Востока получены устойчивые кластеры, согласующиеся с представлениями об особенностях гидрологического режима и ландшафтах изучаемой территории.

2. Анализ ПКФ выявил существенную неоднородность изучаемой территории в целом. Показано, что ПКФ корректно может быть использована для гидрологических приложений лишь для небольшого диапазона расстояний (до 600 км). Расстояния между центрами водосборов, объединившихся в однородные районы, не превышают 600 км, что согласуется с выводами о размерах однородных районов. Таким образом, в качестве подхода к оценке однородности региона, можно привлекать анализ пространственно-корреляционной функций.

Автор выражает признательность д.т.н. М.В. Болгову за терпеливое руководство и неоценимую помощь в выполнении работы и академику О.Ф. Васильеву за содействие в выборе темы исследований.

Литература

1. Сомов, Н. В. Асинхронность колебаний стока крупных рек СССР. //Метеорология и гидрология. – 1963. – № 5. – С. 14–21.
2. Никитин С. П., Земцов В. А. Изменчивость полей гидрологических характеристик в Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1986. – 206 с.

3. *Горошко Н. В., Бураков Д. А.* Факторы и закономерности пространственной корреляции годового стока рек бассейна Верхней Оби. //Метеорология и гидрология. – 2007.– № 1. – С.101–109.
4. *Синюкович, В. Н.* Характер и природа синхронных колебаний стока рек юга Сибири. // География и природные ресурсы. – 1999. – № 3. – С. 91–97.
5. *Алексеев Г. А.* Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации. – Л:Гидрометеиздат, 1971. – 363с.
6. *Бубин М.Н., Рассказова Н.С.* Районирование территории Челябинской области по синхронности многолетних колебаний весеннего стока рек. //Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды м/н науч.-практ. конф. (28 мая- 1 июня 2007 г., г.Пермь)/ Перм. ун-т. – Пермь, 2007. – Т.III. – С.71–76.
7. *Лалыкин Н. В.* Районирование территории Украины и Молдавии по синхронности и синфазности колебаний годового стока рек. //Климатология и гидрология – Киев: Издательство Киевского университета, 1973. – Вып.9. – С.117–120.
8. *Жук В. А., Романова Е.А.* Об одном методе автоматических классификаций гидрометеорологических величин //Вестник Московского университета. Сер.геогр. – №5. – 1981. – С.33–38.

ПРОБЛЕМНОЕ ВОДНО-РЕСУРСНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ АЗИИ

Корытный Л.М.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, kor@irigs.irk.ru

PROBLEM-ORIENTED WATER-RESOURCE MAPPING OF RIVER BASINS OF ASIA

Korytny L.M.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, kor@irigs.irk.ru

Рассмотрена бассейновая структура Азии (по океанам и крупнейшим бассейнам). Предложена система кодирования речных бассейнов. Определена совокупность водно-ресурсных проблем Азии и приоритеты их решения. Обоснована типовая структура проблемного водно-ресурсного атласа азиатского речного бассейна.

The basin structure of Asia (for oceans and major basins) is considered. The encoding system for river basins is suggested. The set of water-resource problems of Asia and the priorities of their solution are defined. The model structure of the problem-oriented water-resource atlas for the Asian river basin is substantiated.

Экономика азиатских стран в значительной степени определяется наличием водных ресурсов. Площадь орошаемых земель в Азии составляет 60% от мировых. Продолжается крупномасштабное гидротехническое строительство. Однако во многих регионах Азии очень остры водно-ресурсные проблемы. Именно в Азии наибольшими темпами приближается всеобщий водный кризис.

Бассейновая структура Азии уникальна. Азия – единственная из частей света – омывается всеми четырьмя океанами; она также имеет обширные области внутреннего стока (Аральского моря, бассейнов рр. Гильменда, Тарима, оз. Балхаш и др.). Согласно иерархической бонитировке Хортон-Стралера в Азии имеется 30 крупнейших речных систем, в том числе 6 из них – IX порядка (Обь, Енисей, Лена, Амур, Янцзы, Ганг) и 24 – VIII порядка.

Нами проведено усовершенствование системы кодирования поверхностей стока LAWА [1]. Предложен универсальный вариант кодирования бассейнов с учетом бонитировки Хортон-Стралера и классификации рек по их величине [2]. Кодирование бассейна начинается с истока, причем водосборы главных притоков получают четные, а межбассейновые поверхности, включая верховья, – нечетные номера. Выполнено кодирование основных бассейнов Азии (табл.).

Нехватка водных ресурсов. Хотя ресурсы среднего многолетнего стока (13200 км³) составляют около трети мировых, по водообеспеченности населения Азия почти в 5 раз уступает Северной Америке и почти в 10 раз – Южной. При этом водные ресурсы Азии крайне неравномерно распределены по территории: водообеспеченность Северной Азии на порядок превышает эту характеристику для большинства ее других субрегионов. В течение XX века полное водопотребление в Азии увеличилось в 57 раз, а безвозвратный расход достиг почти 1,5 тыс. км³/год (две третьих безвозвратного водопотребления планеты). В аридной и полуаридной природных зонах Центральной, Западной и Южной Азии сложилась крайне напряженная водно-ресурсная обстановка, да и в других зонах в сухой период зимнего муссона дефицит водных ресурсов значителен.

Таблица

Кодирование Азии на глобальном и макрорегиональном уровне

Океан	Море, залив	Глобальный код	Бассейны рек порядка		Полный код
			IX	VIII	
1	2	3	4	5	6
Северный Ледовитый	Карское	124	Обь		124.2
		124		Иртыш	124.24
		124	Енисей		124.4
		124		Ангара	124.42
		124		Тасеева	124.44
		124		Подкам. Тунгуска	124.46
		124		Нижняя Тунгуска	124.48
	Лаптевых	125		Хатанга	125.12
		125	Лена		125.2
		125		Витим	125.22
		125		Олекма	125.24
		125		Алдан	125.26
		125		Виллой	125.28
Тихий	Восточно-Сибирское	126		Колыма	126.12
	Чукотское	127			
	Берингово	221			
	Охотское	222	Амур		222.2
		222		Сунгари	222.22
	Японское	223			
	Желтое	224		Хуанхэ	224.12
	Восточно-Китайское	225	Янцзы		225.2
		225		Ялунцзян	225.22
		225		Цзялинцзян	225.24
		225		Юаньцзян	225.26
		225		Ганьцзян	225.28
Индийский	Южно-Китайское	226		Меконг	226.12
	Андаманское	321		Иравади	321.12
	Бенгальский	322	Ганг		322.2
		322		Брахмапутра	322.22
	Аравийское	323		Инд	323.12
	Персидский	324		Шатт-эль-Араб	324.12
	Красное	325			
Атлантический	Средиземное	421			
	Черное	422			
Область внутреннего стока	Аральское	521		Аму-Дарья	521.12
		521		Сыр-Дарья	521.14

Перечень водно-ресурсных проблем Азии значителен.

Истощение подземных вод в результате их переэксплуатации нередко, особенно в Китае, в странах Индокитая, на Филиппинах. В прибрежных городах это приводит к интрузиям соленых морских вод [3].

Загрязнение водоисточников – настоящий «бич» азиатских стран. Особенно оно велико в Южной и Юго-Восточной Азии, а также в Китае. Наиболее опасны патогенные организмы, биогены, тяжелые металлы, пестициды и другие токсичные соединения. Это является причиной многих болезней, особенно среди детского населения.

Катастрофические наводнения в результате летних муссонов, тайфунов, цунами, половодий, заторов ежегодно уносят немало жизней и приносят огромный материальный ущерб. Хотя предпосылки этого – природные, но ущерб определяется высокой плотностью населения и его сосредоточением на паводкоопасных территориях.

Недостаточная эффективность водохозяйственных (мелиоративных, гидротехнических и др.) и водоохранных мероприятий – еще одна беда азиатских государств. Она усугубляется несогласованностью водохозяйственной и в целом природопользовательской политики в международных речных бассейнах [4]; в Азии находится 53 таких бассейна.

Одним из перспективных путей решения вышеназванных проблем является водно-ресурсное атласное картографирование. Нами разработан вариант типового атласа речного бассейна. В него входит 8 серий карт: вводная (гидрографическая); природные и социально-экономические условия; водно-ресурсный потенциал; водный баланс, формирование режимов поверхностных и подземных вод; опасные гидрологические явления; водное хозяйство и управление им; воздействие на водные ресурсы и их последствия; водоохранные мероприятия и рекомендации. При картографировании применяются не только традиционные методы (изолиний, картодиаграмм, красочного фона и др.), но и специально разработанные, в частности, эпюрного вдольусловного картографирования [2].

Необходимо начать работу по комплексному проблемному водно-ресурсному картографированию азиатских бассейнов, в первую очередь международных (трансграничных). Организация этого целесообразна в рамках программы Ассоциации Академий наук Азии «Чистая вода» и Водной программы Межакадемической ассоциации.

Литература

1. LAVA. Richtlinie für die Gebietsbezeichnung und die Verschlusselung von Fließgewässern, Länderbreitengemeinschaft Wasser. – 1993.
2. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция в природопользовании. – Иркутск: изд-во Института географии СО РАН, 2001.
3. Глобальная экологическая перспектива 3. – М.: ИнтерДиалект, 2002.
4. *Корытный Л.М., Жерелина И.В.* Международные бассейны Азии: конфликты, пути сотрудничества // География и природные ресурсы. – 2010. - №2.

КЛИМАТ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ЕНИСЕЯ

Космаков И.В., Колотилина Л.С., Медведева Е.В., Научно-исследовательская лаборатория по экологии природных систем НИЛ «ЭПРИС», Красноярск, epris@inbox.ru

CLIMATE AND ICE MODE OF AVERAGE AND BOTTOM YENISEI

*Космаков И.В., Колотилина Л.С., Медведева Е.В.
Научно-исследовательская лаборатория по экологии
природных систем НИЛ «ЭПРИС», Красноярск, epris@inbox.ru*

По материалам наблюдений рассмотрены изменения ледового режима реки Енисей, как под воздействием изменения климата, так и после строительства плотины Красноярской ГЭС.

On materials of supervision are considered changes an ice regime of the Yenisei River as influenced by climate change, and after building a dam of the Krasnoyarsk hydroelectric station.

Имеющиеся материалы непрерывных наблюдений за температурой воздуха на метеостанциях Енисейск (1872-2007 гг.), Бор (1935-2008 гг.), Туруханск (1881-2007 гг.), Игарка (1948-2006 гг.) и за ледовыми явлениями с 1948-2006 гг. на постах Ворогово, Осинковский Порог, Подкаменная Тунгуска, Бахта, Верхнеимбатск, Верещагино, Селиваниха, Курейка, Игарка, Дудинка, Караул (данные с 1965-2006 гг.) позволяют судить о возможности выявления воздействия изменения климата и введения в эксплуатацию Красноярской ГЭС в 1970 г. на осенне-зимние гидрологические процессы за последнее время.

В 20 веке наблюдалась общая тенденция увеличения температур воздуха, что многие ученые связывают с глобальным изменением климата. В этот период практически во всех районах Земли отмечался положительный тренд средней годовой приземной температуры воздуха, более выраженный в высоких и умеренных широтах [3]. Общая тенденция потепления климата проявлялась по-разному, и в отдельные сезоны тренд температуры мог отличаться по знаку. Так, для преобладающей части территории Европы потепление повсеместно происходило зимой, в остальные сезоны отмечался переход от потепления на западе до похолодания на востоке. Напротив, на северо-западе России, в Карелии температура воздуха в 20-м столетии зимой понижалась, а положительный тренд средней годовой температуры был обусловлен потеплением в весенне-летний период [3].

За период наблюдений повышение средней годовой температуры воздуха произошло на всём протяжении среднего и нижнего Енисея от 0,8 до 1,7°C. Минимальная величина повышения относится к Енисейску, а максимальная – к Туруханску. При этом наибольшее увеличение температур воздуха приходится на зиму – от 1,7 до 2,6°C. Крайние значения относятся к тем же пунктам. Потепление происходило во все сезоны, и только в Енисейске температура воздуха за лето уменьшилась на 0,2°C.

За 1948-2006 гг. в среднем и нижнем течении Енисея рост средней годовой температуры воздуха составил 1,2-2,0°C. Причем, темпы потепления в разные сезоны года отличались. На метеостанциях Енисейск, Бор, Туруханск и Игарка прослеживается повышение температур воздуха за холодный период года. В Енисейске в зиму средние температуры воздуха повысились на 4,3°C, в Бору – на 3,0°C, в Туруханске – на 2,3°C, в Игарке – на 2,2°C.

Суммы отрицательных температур воздуха с октября по март с 1970-2006 гг. (с начала нормальной эксплуатации Красноярской ГЭС) имеют тенденцию к уменьшению, на станции Бор – на 15,6°C, Туруханск – на 11°C, Игарка – на 10°C, отражая потепление климата с начала 1970-х годов по настоящее время.

Если с 1948 г. тренд температуры воздуха по сезонам показывал ее повышение, то начиная с 1970 г. в осенний период происходит снижение температуры от 0,3°C (у Енисейска) до 1,1°C (у Игарки) при сохранении повышения в остальные сезоны.

В совокупности с изменением гидрологического режима реки в результате строительства плотины Красноярской ГЭС на ледовый режим реки сказывается и влияние потепления климата. Так, после зарегулирования наблюдается более позднее наступление ледостава и увеличение продолжительности периода шугохода. В естественных условиях температура воды Енисея у Красноярска приближалась к 0°C в начале ноября, а 15 ноября устанавливался ледяной покров. Сейчас в ноябре в нижний бьеф поступает вода из водохранилища с температурой 10-6°C, а в середине декабря – 4°C, в январе – 3,8-3,2°C, в феврале – около 3°C [1].

Ледяной покров первоначально образуется на северном участке: с. Караул – г. Игарка – 21-23 октября. Отсюда ледостав распространяется вверх по реке [2]. В среднем замерзание наступает: в с. Селиваниха – 4 ноября, с. Верхнеимбатское – 13 ноября, с. Подкаменная Тунгуска – 25 ноября, с. Ворогово – 20 ноября, с. Назимово – 6 декабря, г. Енисейск – 16 декабря (табл. 1). Заметим, что сроки начала ледостава относятся к периоду после начала нормальной эксплуатации Красноярской ГЭС.

Замерзание Енисея происходит посредством образования ледяных перемычек, повышения уровня воды, уменьшения уклонов на кромке льда и как следствие смерзания поступающего с верхних участков реки ледяного материала (шуги).

Скорость наступления кромки ледостава зависит от температуры воздуха, а в условиях зарегулирования еще и от расходов воды в период замерзания.

Таблица 1

Средние сроки наступления ледовых явлений

Пост	Появление ледовых явлений		Начало ледостава		Исчезновение ледовых явлений	
	Естественные условия	При зарегулировании	Естественные условия	При зарегулировании	Естественные условия	При зарегулировании
Ворогово	19.10	18.10	9.11	20.11	23.5	23.5
Осиновский порог	20.10	22.10	8.11	19.11	23.5	24.5
Подкаменная Тунгуска	19.10	20.10	17.11	25.11	25.5	25.5
Бахта	17.10	17.10	11.11	16.11	24.5	27.5
Верхнеимбатск	17.10	16.10	9.11	13.11	26.5	28.5
Верещагино	16.10	16.10	7.11	9.11	30.5	29.5
Селиваниха	15.10	14.10	3.11	4.11	2.6	31.5
Курейка	18.10	16.10	27.10	29.10	1.6	31.5
Игарка	19.10	16.10	24.10	22.10	9.6	7.6
Дудинка	16.10	16.10	23.10	23.10	11.6	11.6
Караул	9.10	15.10	21.10	21.10	17.6	16.6

Начало ледостава, в период эксплуатации Красноярской ГЭС, на южном участке происходит позднее, чем в бытовых условиях: у Ворогово – на 11 дней (20 ноября), у Осиновского Порога – на 11 дней (19 ноября), у Подкаменной Тунгуски – на 8 дней (25 ноября), у Бахты – на 5 дней (16 ноября), у Верхнеимбатска – на 4 дня (13 ноября), у Верещагино – на 2 дня (9 ноября), а на постах Селиваниха, Игарка, Дудинка ледостав начинается раньше на 1-3 дня (табл. 1).

Влияние условий замерзания в изменившихся условиях можно проследить, если рассматривать многолетние значения толщины ледяного покрова на Енисее. Средняя толщина льда на всем участке уменьшилась на 2,9 см, у Ворогово, Селиванихи и Игарки на 5-6 см, у Бахты и Верхнеимбатска на 8 см, у Курейки на 2 см, а у постов Осиновский Порог, Подкаменная Тунгуска, Верещагино, Дудинка наблюдается незначительное увеличение толщины ледяного покрова на 1-5 см (табл. 2).

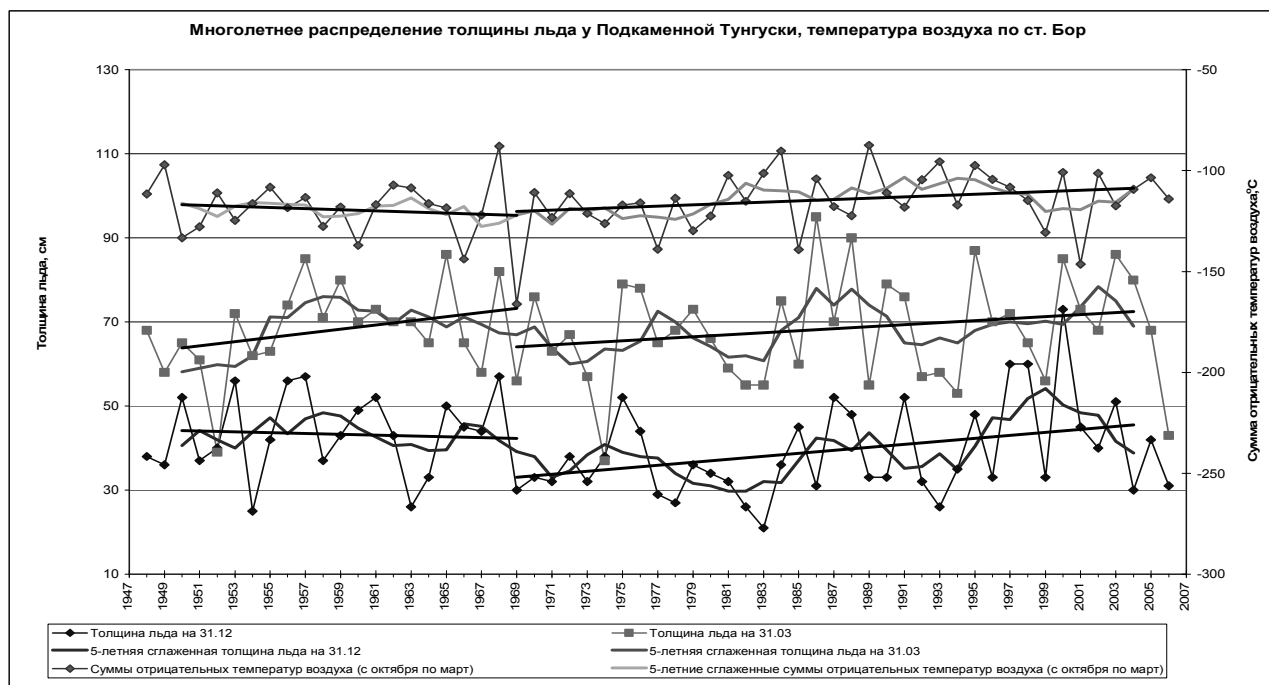
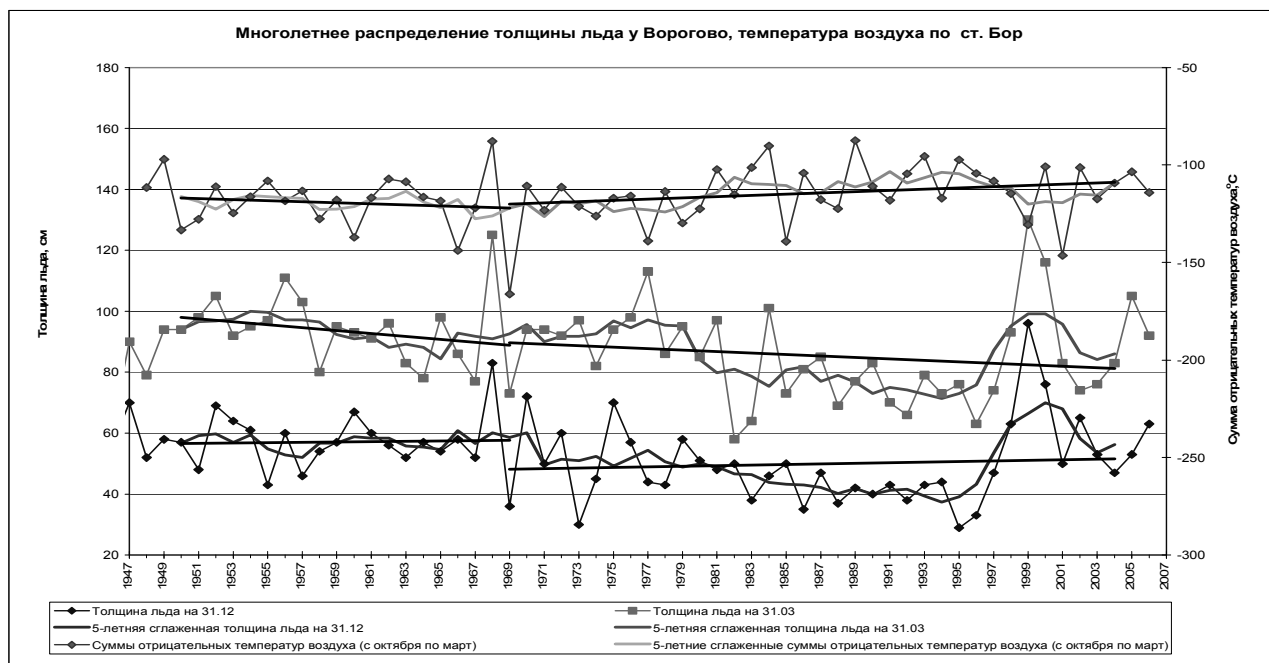
Таблица 2

Среднее значение толщины льда на 31 марта

Пост	Естественный режим			Зарегулированный режим		
	средняя	наименьшая	наибольшая	средняя	наименьшая	наибольшая
Ворогово	92	62	125	86	58	130
Осиновский порог	85	65	104	87	49	160
Подкаменная Тунгуска	67	39	86	68	37	95
Бахта	95	61	153	87	60	107
Верхнеимбатск	85	64	136	77	44	100
Верещагино	91	74	131	92	75	120
Селиваниха	90	66	143	84	59	108
Курейка	89	63	121	87	65	110
Игарка	98	74	150	92	68	115
Дудинка	124	103	169	127	87	172
Караул	151	103	215	128	84	163

Практически на всем участке от Ворогово до Дудинки при зарегулировании прослеживается тенденция к уменьшению толщины льда и изменение направлений линий тренда с 1970 г. (рис. 1). На толщину льда у Ворогово, Осиновского Порога, Подкаменной Тунгуски оказывает влияние не только глобальное потепление, но и поступление более теплой воды с плотины Красноярской ГЭС. У Ворогово с уменьшением сумм отрицательных температур за зиму толщина льда на 31 марта уменьшается как в естественных условиях, так и при зарегулированном режиме, но 31 декабря прослеживается незначительное возрастание толщины льда. В Осиновском Пороге после строительства ГЭС отмечается выравнивание средней толщины льда за многолетний период. Это скорее всего, связано с более стабильной водностью. У Подкаменной Тунгуски прослеживается возрастание толщины льда на момент обеих дат с одновременным повышением сумм среднемесячных температур воздуха. Это связано с поступлением большего количества шуги из Осиновского многоостровья. Отметим при этом, что при незначительных отрицательных температурах воздуха в период, предшествующий установлению ледяного покрова, увеличивается продолжительность шугохода и, как следствие, возрастает количество ледяного материала, проходящего по реке. В Бахте, Верхнеимбатске и Верещагино влияние Красноярской ГЭС почти отсутствует, поэтому четко прослеживается тренд уменьшения толщины льда с увеличением температуры

воздуха (рис. 1). В то же время у Селиванихи в период нормальной эксплуатации Красноярской ГЭС изменения мощности льда соответствуют средней величине без значительных отклонений при общем его уменьшении, что можно объяснить воздействием вод Нижней Тунгуски. То же самое отмечается и у Курейки, которая находится ниже впадения р. Турухан. В Игарке, Дудинке и Карауле в условиях отсутствия влияния ГЭС наблюдается четкая зависимость толщины льда от сумм отрицательных температур за зимний период.



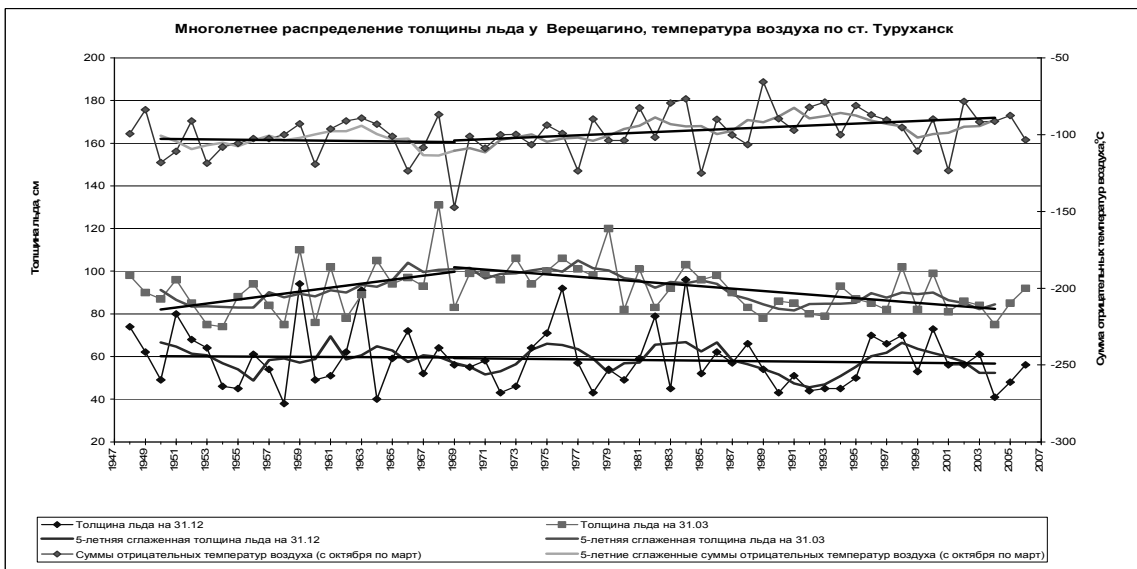
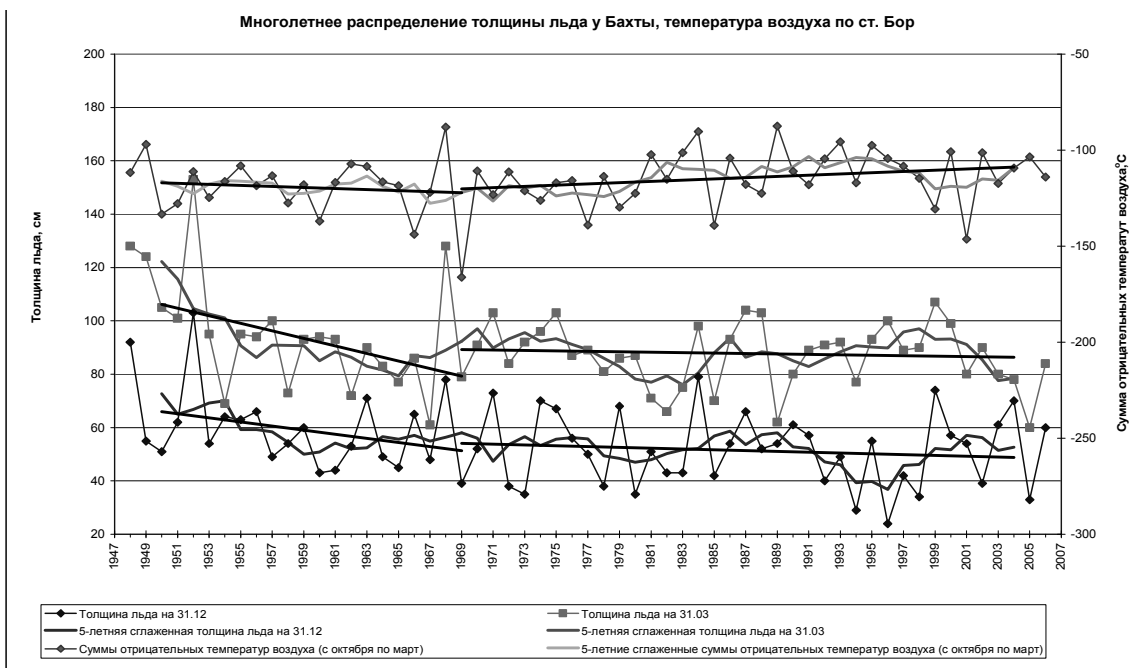




Рисунок 1. Многолетнее распределение толщины льда на 31 декабря и 31 марта и суммы отрицательных среднемесячных температур воздуха с октября по март

Таким образом, на границе 1970 г. отмечается разнонаправленность линий тренда, как многолетнего распределения толщины льда, так и сумм температур воздуха за период намерзания. Причем разрыв линий тренда для толщин льда более значим, чем для сумм температуры воздуха. Представляется, что влияние Красноярской ГЭС на ледовый режим распространяется дальше Подкаменной Тунгуски. А уже при стабильной эксплуатации ГЭС рост толщины льда напрямую зависит от температуры воздуха.

Начиная с 1970 г. прослеживается определенная закономерность в уменьшении толщины льда по всей длине Среднего и Нижнего Енисея с одновременным глобальным повышением температуры воздуха за осенне-зимний период.

Литература

1. Космаков И. В. Ледовый режим Енисея ниже плотины Красноярской ГЭС. Природные ресурсы Сибири: современное состояние и проблемы природопользования. Новосибирск: Наука, 2010. – 91-101.
2. Чернов И.М. Способ долгосрочного прогноза толщины ледяного покрова на нижнем Енисее (г. Енисейск – устье). Труды ЗапСибНИИ Госкомгидромета, 1981, вып. 51. - 21-28 с.
3. Шимараев М.Н., Куимова Л.Н., Синюкович В.Н., Цехановский В.В. Климат и гидрологические процессы в бассейне оз. Байкал в XX столетии. Метеорология и гидрология, 2002, № 3. – 71-78 с.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИТОКОВ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Кочеткова М.Ю.¹, Чекмарева Н.А.²

¹ФГУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Приволжского федерального округу», Нижний Новгород, kochmarina@inbox.ru

²ГФУ по обеспечению инженерных защит Чебоксарского водохранилища по Нижегородской области, Нижний Новгород, ninachek@mail.ru

FORMING CONDITIONS AND WATER QUALITY CONTROL OF GORKOVSKOE WATER RESERVOIRS TRIBUTARIES

Kochetkova M.Yu.¹, Chekmareva N.A.²

¹FS Institution Centre of Laboratory Analysis and Technical Measurements in Privolzhsky Federal Region, Nizhny Novgorod, kochmarina@inbox.ru

²State Federal Institution of providing engineering security of Gheboksarskoe water reservoir the Nizhny Novgorod region, Nizhny Novgorod, ninachek@mail.ru

На основе материалов многолетних наблюдений авторов проведена оценка качества воды устьевых участков притоков Горьковского водохранилища.

On the date of long-term authors, research water quality control of mouth tributaries of Gorkovskoe water reservoir was held.

Горьковское водохранилище образовано в 1955 г. перекрытием Волги земляной плотиной выше г. Городца. В водохранилище выделяются следующие участки: озеровидный приплотинный (от плотины Горьковской ГЭС до устья р. Елпать, включая Юрьеvecкий разлив); переходный, протяженностью 170 км (от устья р. Елпать до Костромского разлива); зона выклинивания подпора (от Костромского разлива до плотины Рыбинской ГЭС) и Костромской разлив (обособленный мелководный плес водохранилища, затопивший пойму р. Костромы и центральную часть Костромской низины).

Водохранилище расположено в северо-восточной подобласти лесной атлантико-континентальной подобласти, характеризуется коротким, сравнительно теплым летом, продолжительной холодной и многоснежной зимой. Наиболее теплая часть лета со среднесуточной температурой воздуха выше 15°C продолжается около 50-70 дней. Максимальная суточная $T^{\text{возд}}$ может достигать 34-38°C. Средняя месячная температура самого холодного месяца (января) составляет от -12° до -14°.

Годовое количество осадков распределено на водосборе довольно равномерно и колеблется от 550 до 700 мм. При этом более половины их выпадает в теплую часть года [3]. Устойчивый снежный покров образуется во второй половине ноября и его продолжительность в среднем колеблется от 150 суток на юге до 170 – на севере. Величина годового испарения в среднем в 1,5 раза меньше суммы осадков [2].

Водосбор водохранилища расположен в хвойных лесах лесной зоны. В его почвенном покрове преобладают дерново-подзолистые почвы различного механического состава. Наибольшая облесенность характерна для левобережной части и составляет до 75%. В пределах Горьковской области (южная часть) лесами покрыто до 30% площади. Наибольшее распространение в бассейне водохранилища имеют еловые леса с примесью березы, осины и сосны. Смешанные и мелколи-

ственные леса имеют вторичное происхождение.

Основные черты рельефа сложились в дочетвертичное время. Коренные породы пермского, триасовского, юрского и мелового периодов, представленные песчано-глинистыми отложениями, перекрыты сверху толстым слоем ледниковых отложений. Ледниковые формы рельефа к настоящему времени значительно переработаны эрозионными процессами. Особенно сильно переработке подверглись возвышенности, которые расчленены густой сетью небольших долин. Глубокое расчленение возвышенностей привело к тому, что речные долины вскрыли водоносные горизонты межморенных и коренных отложений. Это определяет различия химического состава воды в реках, формирующих сток в пределах возвышенностей и низин бассейнов. Из многочисленных притоков Горьковского водохранилища существенное влияние на формирование его химического состава оказывают только большие притоки: Унжа, Кострома, Немда, Которосль. Остальные реки составляют очень малую долю в водном питании и почти не оказывают влияния на формирование химического состава водохранилищных водных масс. Водосборы притоков обычно асимметричны, преимущественно неправильно овальной или грушевидной формы. Долины рек трапецеидальные или ящикообразные, террасированные, шириной от 1 до 8-10 км (реки Кострома, Унжа), с глубиной вреза 30-40 м. При пересечении моренных гряд долины сужаются, а глубина их вреза увеличивается до 50-70 м. На пониженных участках местности долины расширяются в несколько раз. Долина р. Волги большей частью узкая (2-5 км), лишь на участке Ярославль–Кострома расширяется до 20-25 км. Характеристики основных притоков водохранилища приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика основных рек, частного водосбора Горьковского водохранилища [1, 2]

Река	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовой расход, м ³ /сек	Максимальный расход, м ³ /сек	Минимальный расход, м ³ /сек
Унжа	468	27360	158,1	2520	12
Кострома	358	17100	69,7	1620	5,2
Немда	159	4860	29,6	598	1,9
Которосль	110	6012	39,3	450	5,2

Оценка гидрохимического состояния устьевых участков притоков проводилась на основе отбора и анализа проб воды 3-4 раза в год: в период зимней межени, пика половодья, летней межени и в осенний период (дождевые паводки) согласно РД 52.24.509-96 и РД 52.24.309-92. В пробах воды, отобранных на химический анализ, определялись следующие показатели: растворенный кислород, БПК₅, ХПК, азот аммонийный, нитриты, нитраты, железо, нефтепродукты, медь, цинк, марганец, свинец, кадмий, фосфаты, минерализация, прозрачность, цветность, взвешенные вещества, СПАВ, фенолы, хлориды, сульфаты.

По данным среднегодовых концентраций, в период с 2000 по 2008 гг., концентрация железа общего изменялась в диапазоне: р. Унжа от 0,2 мг/л (2002 г.) до 0,85 мг/л (2004 г.), 0,99 мг/л (2003 г.) и 1,48 мг/л (2008 г.) (при ПДК_{рыб.} – 0,1 мг/л); в р. Которосль – от 0,21 мг/л (2000 г.) до 0,89 мг/л (2004 г.); р. Немда – от 0,71 мг/л (2001 г.) до 2,1 мг/л (2006 г.) и 2,73 мг/л (2004 г.); р. Кострома – от 0,3 мг/л (2000 г.) до 0,48 мг/л (2004 г.). Наибольшие превышения ПДК наблюдались в многоводные 2004, 2008 годы.

Неорганические соединения азота (аммонийный, нитриты, нитраты) могут образовываться

при разложении органических соединений или же поступают в поверхностные водные объекты с атмосферными осадками при вымывании удобрений из почвы (аммонийный азот, нитраты). Содержание и преобладание различных форм азота зависит от условий поступления азотсодержащих соединений в воду и гидрологического режима водоема. Амплитуда изменения межгодовых значений биогенных элементов достаточно велика. В то же время какой-либо закономерности в зависимости среднегодовых концентраций отдельных форм биогенных элементов от объема суммарного притока не наблюдается. Различия в поведении соединений азота и фосфора, прежде всего, обеспечиваются особенностями миграционной способности этих элементов. Если соединения азота поступают с площади водосбора преимущественно в растворенном состоянии, то фосфор, в основном, мигрирует вместе с взвешенными веществами – продуктами эрозии почв, крупная фракция которых быстро оседает в водохранилище в условиях замедленного водообмена. Превышение ПДК рыб по содержанию азота аммонийного наблюдались в многоводные 2004, 2008 годы, превышение азота нитритов и нитратов – в 2004 г. По фосфору – фосфатов превышений ПДК (при ПДК рыб – 0,2) не наблюдалось. Среднегодовые концентрации азота аммонийного колебались в диапазоне: р. Унжа – от 0,20 мг/л (2000 г.) до 1,07 мг/л (2008 г.) (при ПДК рыб. 0,39); в р. Которосль – от 0,09 (2000 г.) до 0,80 (2008 г.); р. Немда – 0,20 (2001 г.) до 0,46 (2003 г.); р. Кострома – от 0,28 (2000 г.) до 0,4 (2004 г.). Концентрация нитритного азота: р. Которосль – от 0,02 мг/л (2008 г.) до 0,15 мг/л (2004 г.) (при ПДК рыб. 0,08); р. Кострома – 0,005 (2002 г.) до 0,04 (2004 г.). Концентрация нитратного азота (при ПДК рыб. – 40 мг/л): р. Унжа от 0,16 мг/л (2001, 2008 гг.) до 1,63 мг/л (2004 г.); в р. Которосль от 0,52 (2008 г.) до 12,0 (2004 г.); р. Немда от 0,44 (2002 г.) до 1,13 (2001 г.); р. Кострома от 0,46 (2001 г.) до 1,92 (2004 г.).

Во всех отобранных пробах концентрация меди и марганца, в рассматриваемый период с 2001 по 2009 гг., превышала ПДК рыб. (ПДК рыб. меди – 0,001 мг/л, марганца – 0,01 мг/л). Максимальные значения по меди: в р. Немда – 0,005 мг/л (2005 г.); р. Кострома – 0,004 мг/л (2005 г.); р. Унжа – 0,005 мг/л (2001 г.); р. Которосль – 0,005 мг/л (2001-2003 гг., 2008 г.). По марганцу были превышения во все рассматриваемые годы от 1 до 10 раз.

По содержанию нефтепродуктов среднегодовые концентрации изменялись в диапазоне: р. Унжа – от 0,012 мг/л (2006 г.) до 0,064 мг/л (2008 г.); р. Которосль от 0,045 мг/л (2005 г.) до 0,150 (2000 г.); р. Немда от 0,008 (2006 г.) до 0,034 (2002 г.); р. Кострома – от 0,018 (2005 г.) до 0,036 мг/л (2001 г.). Превышение среднегодовых концентраций по нефтепродуктам (ПДК рыб 0,05 мг/л) в некоторых реках, например для Которосли составило в период с 2000 по 2002 гг. от 25 до 30 раз.

Наиболее высокие среднегодовые концентрации свинца (ПДК рыб – 0,006 мг/л): р. Которосль – 0,012 мг/л (2001 г.), р. Унжа – 0,0067 (2006 г.), р. Немда – 0,0055 (2006 г.); фенолы: р. Которосль – 0,0005 мг/л (2001 г.); р. Унжа – 0,0012 мг/л (2006 г.), при ПДК рыб. 0,001.

Среднегодовые концентрации кадмия и СПАВ значительно ниже ПДК (во всех устьевых участках рассматриваемых рек).

Оценка качества воды в Горьковском водохранилище и устьевых участках притоков проводилась по расчету удельного комбинаторного индекса загрязненности воды в период с 2000 по 2005 гг. УКИЗВ рассчитывалось по 26 показателям (алюминий, азот аммонийный, железо общее, кадмий, магний, марганец, медь, никель, нитраты, нитриты, свинец, СПАВ, сульфаты, фенолы, фторид-анион, хлориды, цинк, кальций, ХПК, хром 6+, нефтепродукты, фосфор фосфатов, хром 3+, БПК₅, рН, растворенный кислород). Сравнительные данные качества воды устьевых участков притоков Горьковского водохранилища в 2000-2005 гг. по УКИЗВ представлены в таблице 2.

По данным таблицы самые чистые притоки Горьковского водохранилища реки Унжа и Кострома. Качество их воды по УКИЗВ в период с 2002 по 2005 гг. соответствовало 2 классу – слабозагрязненная. Качество воды р. Которосль в период с 2000 по 2005 гг. несколько улучшилось с 4А – грязная (2000–2001 гг.) на 3Б – очень загрязненная. Высокий уровень загрязненности р.

Которосль в 2000-2001 гг. обусловлен критическими показателями фосфатов 14,8 ПДК и марганца 10,0 ПДК, соответственно. В последующие годы в данном устьевом участке отмечаются повышенные среднегодовые концентрации железа 4,8 – 6,1 ПДК, меди 2,6 – 4,6 ПДК. Качество воды р. Немда изменилось с 2000 г. по 2005 г. с 3А – загрязненная на 2 – слабозагрязненная. Приоритетным показателем загрязнения р. Немда является железо общее, среднегодовые концентрации которого колеблются от 7,1 до 16,4 ПДК.

Таблица 2

Качество воды притоков Горьковского водохранилища в 2000-2005 гг. по УКИЗВ

№ п\п	Устьевой участок	УКИЗВ					
		2000г.	2001г.	2002г.	2003г.	2004г.	2005г.
1	Унжа	–	–	1,35	1,59	1,51	1,66
2	Кострома	1,54	1,73	1,52	1,83	1,21	–
3	Немда	2,1	–	2,57	2,6	–	1,57
4	Которосль	4,14	4,03	2,6	3,15	–	3,35

Литература

1. Буторин Н.В. Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада. – Л.: ЛО Наука, 1969. – 324 с.
2. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водоохранилища Верхней Волги. Под ред. Викулиной З.А., Знаменского В.А. – Л.: Гидрометиздат. Ленинград, 1975.
3. Экологические проблемы Верхней Волги. – Ярославль: ЯГТУ, 2001. – 427 с.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАССЕЙНА АМУРА

Кулаков В.В.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, vvkulakov@mail.kht.ru

FUNDAMENTAL PROBLEMS OF USE GROUNDWATER OF THE AMUR RIVER BASIN

Kulakov V.V.

Institute for water and ecology problems FEB RAS, Khabarovsk, vvkulakov@mail.kht.ru

Рассмотрены ресурсные и эколого-гидрогеохимические проблемы использования подземных вод региона, обусловленные наличием многолетнемерзлых пород, преобладанием гидрогеологических массивов и повышенными природными концентрациями в воде нормируемых компонентов – железа, марганца, кремния.

Are considered resource and ecology-hydrogeochemical problems of use of groundwater of the region, caused by development permafrost rocks, prevalence of hydro-geological massifs u high natural concentration in water of normalized components - iron, manganese, silicon.

Бассейн Амура - это территория с очень сложными гидрогеологическими условиями, большая часть которой в пределах России (северная) относится к области с толщей многолетнемерзлых пород. Разнообразие природных условий и сложность геологического строения определяет гидрогеологические особенности территории, где в горной части происходит интенсивное питание и сток, а основные ресурсы подземных вод приурочены к межгорным депрессиям.

В бассейне Амура выделяются 3 гидрогеологические складчатые области: Алдано-Становая; Амуро-Охотская, Сихотэ-Алиньская. Основными типами гидрогеологических структур в пределах гидрогеологических складчатых областей на территории являются: гидрогеологические массивы, артезианские бассейны, вулканогенные бассейны и бассейны трещинно-карстовых вод.

Обеспечение населения надежно защищенными источниками питьевого водоснабжения является важной социально-экономической и стратегической задачей. Пресные подземные воды бассейна Амура широко используются для питьевых, бытовых и различных производственных нужд [3]. В северном Приамурье многие реки, имеющие водосборные площади до 1000 кв.км, а иногда и до 4000 кв.км, в зимний период перемерзают, из-за чего подземные воды становятся единственным источником питьевого и технического водоснабжения.

Естественные ресурсы пресных подземных вод на Российской части бассейна Амура достаточны для обеспечения водой потребителей этой территории на далекую перспективу. Однако распределение ресурсов подземных вод крайне неравномерно по площади: в артезианских бассейнах, занимающих менее 30% территории, сосредоточено более 90% из 5000 км³ естественных запасов пресных подземных вод.

Оцененные прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод в бассейне р. Амур составляют 94400 тыс.м³/сутки (1092 м³/с), в т.ч. в Читинской области – 9657 (110), Амурской области – 21210 (245), в ЕАО – 4930 (60), в Хабаровском крае – 23500 (270) и Приморском крае – 4785 (55). Модуль прогнозных ресурсов пресных подземных вод изменяется от 22,3 (Читинская область) до 168 м³/сутки км² (Хабаровский край).

В бассейне Амура разведано более 250 месторождений подземных вод для обеспечения

хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения с утвержденными запасами в количестве более 6 млн.м³/сутки [3]. Наиболее крупные по запасам месторождения выявлены в долинах крупных рек - Амур, Зея и Бикин: Хурбинское с запасами подземных вод 833.6 тыс.м³/сутки, Сенденское - 100, Островное 260, Бикинское - 80 тыс.м³/сутки. Суммарный водоотбор подземных вод в бассейне составляет порядка 700 тыс.м³/сутки.

Практически все населенные пункты обеспечены разведанными месторождениями пресных подземных вод для водоснабжения, но изменившиеся в последние десятилетия геолого-экономические условия освоения месторождений требуют переориентации на участки, находящиеся в наиболее благоприятных условиях по технико-экономическим соображениям, при этом возрастает риск безопасности многолетнего использования подземных вод.

Установлены региональные мерзлотно-гидрогеологические, гидродинамические условия формирования месторождений пресных подземных вод и гидрогеохимические закономерности изменения состава подземных вод (химического, газового и микробиологического) по площади и на изученную глубину, что позволяет оценить безопасность подземных вод в различных гидрогеологических системах. В регионе преобладают пресные подземные воды на всю глубину изученного разреза (сотни – две тысячи метров).

Все установленные очаги техногенного загрязнения подземных вод территории связаны с объектами добычи и переработки полезных ископаемых, технологическими особенностями производства и утилизации отходов в районах городов и поселков, и возделывания сельскохозяйственных земель.

На территории Приамурья в городах Благовещенск, Белогорск, Свободный, Биробиджан, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре и крупных поселках сложилась система взаимодействующих водозаборов подземных вод.

Экологические проблемы безопасности использования подземных вод в бассейне р. Амура [1, 2] обусловлены особенностями природного формирования химического состава пресных подземных вод региона (повышенные концентрации железа, марганца, кремния и низкие содержания фтора) и антропогенным (техногенным) воздействием на геологическую среду в результате бытовой, производственной и сельскохозяйственной деятельности.

В артезианских бассейнах региональным распространением в химическом составе подземных вод пользуются железо, марганец, кремний. Площади распространения подземных вод с повышенными концентрациями железа (до 70 мг/л) и марганца (до 4,5 мг/л) на территории приурочены к равнинным территориям (артезианским бассейнам и долинам рек, выполненным рыхлыми осадочными отложениями), где проживает основная масса населения. Именно с водами этого качества, не удовлетворяющего нормативные показатели по безопасности для питьевых вод и требующего проведения водоподготовки, связаны все крупные месторождения подземных вод, снабжающие водой питьевого качества крупные города и поселки.

В Приамурье, испытывающем дефицит в безопасной и качественной питьевой воде, особое значение имеют подземные воды природновысокого качества, соответствующего стандартам и нормативам и отвечающим без предварительной очистки по медико-биологическим показателям требованиям для питьевого потребления. Обеспечение питьевых потребностей каждого человека территории экологически безупречной пресной подземной водой – важная социальная задача. Особыми достоинствами отличаются пресные подземные воды вулканогенных бассейнов, месторождения которых разведаны в базальтах в районе городов Совгавань, Николаевск-на-Амуре и других местах. Эти воды не имеют экологических ограничений, безопасны для питьевого применения и относятся к высшему классу.

Бассейн р. Амура характеризуется распространением разнообразных типов минеральных подземных вод, которые представлены термальными щелочными азотно-кремнистыми, холодными

углекислыми, азотно-метаново-углекислыми и водами без специфических компонентов. Минеральные воды территории широко используются для бальнеолечения и розлива. Кроме разведанных месторождений существуют многочисленные источники (проявления) различных типов минеральных вод, нуждающиеся в освоении.

Экологические проблемы безопасности питьевого использования подземных вод, возникающие при антропогенном или техногенном воздействии, могут быть решены глубокой и дорогостоящей очисткой подземных вод до стандартных нормативов или предотвращены применением комплекса широко известных природоохранительных мероприятий, но требующих существенных финансовых затрат на их проведение. К таким мероприятиям относятся упорядочение и улучшение состояния природной среды в зонах санитарной охраны водозаборов подземных вод, а также ликвидация или локализация очагов и источников техногенного загрязнения подземных вод.

Прогрессирующее загрязнение в последние годы поверхностных вод, достаточно определенно высвечивает экологическую проблему в бассейне р. Амура - переориентацию централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения городов и поселков с поверхностных источников на подземные. Переход на подземные источники водоснабжения имеет несомненный прямой социальный и экологический эффект, поскольку это позволит улучшить состояние здоровья людей и увеличить продолжительность жизни населения.

Таким образом, по освещенным выше фундаментальным проблемам использования подземных вод бассейна Амура можно сделать следующие основные выводы:

1. Безопасность использования подземных вод для питьевого водоснабжения населения на территории городов ограничивается существующим превышением концентраций нормируемых компонентов природного характера или имеющимся и потенциальным антропогенным и техногенным характером.

2. При природных повышенных концентрациях железа и марганца и других нормируемых компонентов на водозаборах подземных вод следует внедрять очистку их в пласте, как имеющую существенные экономические и главное – экологические преимущества.

3. Прогрессирующее загрязнение в последние годы поверхностных вод, достаточно определенно высвечивает экологическую проблему в бассейне р. Амура – переориентацию питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения городов и поселков с поверхностных источников на подземные.

4. Переход на подземные источники водоснабжения повышает безопасность использования и имеет несомненный социальный, экономический и экологический эффект, поскольку это позволит гарантировать устойчивость качества питьевых вод, улучшить состояние здоровья людей и увеличить продолжительность жизни населения.

Литература

1. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М., Научный мир, 2001. – 328 с.
2. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М., Наука, 2004. – 677 с.
3. Кулаков В.В. Пресные подземные воды Приамурья – перспективы использования и освоения известных месторождений. Регионы нового освоения: стратегия развития: матер. Междунар. научн. конф., 15 – 17 сентября 2004 г. – Хабаровск: ИВЭП, 2004, с. 125 – 128.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОБЬ-ИРТЫШСКОМ БАССЕЙНЕ

Кусковский В.С.

ИНГГ СО РАН, Новосибирск, KuskovskiyVS@ipgg.nsc.ru

THE PROBLEMS OF UNDERGROUND WATERS UTILIZATION IN THE OB – IRTYSH RIVERS' BASIN

Kuskovsky V.S.

IPGG SB RAS, Novosibirsk, KuskovskiyVS@ipgg.nsc.ru

Рассмотрены особенности гидрогеологических условий Западно-Сибирского артезианского бассейна и его обрамления. Приводятся данные по ресурсам подземных вод и их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения, поддержания пластового давления, бальнеологических, теплоэнергетических целей, орошения и извлечения из них полезных компонентов.

The paper deals with the specific features of hydrogeological conditions of West Siberian artesian basin and its margins. Supplied are the data on the ground waters resources and their use for municipal water supply, reservoir pressure maintenance, as well with balneological, irrigation purposes, for heating energy produce, and extraction of valuable elements.

Обь-Иртышский речной бассейн (ОИБ) в границах водоразделов охватывает огромную территорию, включая часть бассейна р. Иртыш в пределах сопредельных государств – Казахстана и Китая. Общая площадь ОИБ составляет несколько миллионов квадратных километров. В гидрогеологическом отношении в состав ОИБ входят Западно-Сибирский артезианский бассейн (в пределах площади Западно-Сибирской равнины) и ряд гидрогеологических массивов, расположенных в обрамлении артезианского бассейна – Алтае-Саянская складчатая область, Урал, Колывань-Томская складчатая область, Казахский мелкосопочник и Енисейский кряж.

Особенности гидрогеологических условий

Гидрогеологические условия Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ) и его обрамления описаны в многочисленной литературе, в связи с этим остановимся лишь на некоторых особенностях с учетом веяний последнего времени. Еще в первом обобщении по гидрогеологии бассейна [2] в разрезе, исходя из стратиграфических подразделений, выделяется пять водоносных комплексов, включающих ряд водоносных горизонтов, разделенных водоупорами. Первый комплекс – отложения четвертичного и неоген-верхнеолигоценового возраста, второй – турон-нижнеолигоценовые осадки, третий – осадки сеноманского, альбского и аптского возраста, четвертый – баррем-готеривский и валанжинский возраст и пятый – осадки юрского возраста и доюрского фундамента. Первый и второй комплексы образуют верхний гидрогеологический этаж, а третий-пятый – нижний гидрогеологический этаж, выделенные по условиям водообмена. В последнее время В.М. Матусевичем и другими [5] ЗСАБ переименован в Западно-Сибирский мегабассейн (ЗСМБ). В пределах его они выделяют три самостоятельных, наложенных друг на друга бассейна I-го порядка: 1) палеозойский, 2) мезозойский и 3) кайнозойский. В пределах всего разреза они выделяют уже 7 этажно залегающих водоносных комплексов.

Основные области питания можно разделить на внешние и внутренние, но они приурочены к окраинам ЗСАБ. В целом водоразделы ОИБ – это гидравлические границы ЗСАБ, что поддер-

живается в последнее время и другими исследователями [3]. Питание основных водоносных комплексов осуществляется как путем подтока подземных вод со стороны обрамляющих гидрогеологических массивов [1], так и за счет инфильтрации атмосферных осадков, при этом она на периферии значительно (вероятно, на два порядка) больше, чем во внутренней части бассейна. Как показывают последние исследования, например [3], питание со стороны Урала и Казахского мелкосопочника значительно (примерно на порядок) меньше, чем со стороны других обрамлений ЗСАБ.

Разгрузка водоносных горизонтов ЗСАБ осуществляется в русла рек по тектоническим нарушениям, по так называемым гидрогеологическим (литологическим) окнам как вниз, так и вверх по разрезу и в моря и океаны.

Следует подчеркнуть особую роль болот в формировании водоносных горизонтов ЗСАБ. В районах распространения болот имеет место круглогодичная инфильтрация болотных вод в водоносные горизонты четвертичных отложений и через окна в нижележащие водоносные горизонты. Однако следует указать, что этот вопрос требует более основательных исследований. В северной половине ЗСАБ распространены многолетнемерзлые породы (ММП), где выделяются надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные подземные воды. Наибольшее практическое значение (для водоснабжения) имеют межмерзлотные воды. В связи с глобальным потеплением следовало бы ожидать отступления ММП, однако, по данным Института криосферы земли (В.П. Мельников), этого пока не происходит.

Ресурсы подземных вод

Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных южной части ЗСАБ вод оценены в конце прошлого века большим коллективом гидрогеологов [6]. Региональная оценка ресурсов подземных вод мелового водоносного комплекса проведена методом численного моделирования в пределах Новосибирской, Омской областей и Алтайского края, а также части Павлодарской области ВСЕГИНГЕО (Крашин И.И. и др.). Рассчитаны суммарные перспективные водоотборы по выше указанным территориям.

Для ориентировочной оценки потенциальных эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод всей территории бассейна нами использовано соотношение естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена и прогнозных эксплуатационных ресурсов пресных и солоноватых подземных вод Обь-Иртышского бассейна

Регион оценки	Эксплуатационные ресурсы, тыс. м ³ /сут			Естественные ресурсы	
	пресные	солоноватые	всего	тыс. м ³ /сут	% от эксплуатационных ресурсов
Южная часть бассейна на площади около 1 млн. км ² (I этап оценки)	74304	37152	111456	103680	93

Южная и центральная части бассейна на площади 1,184 млн. км ² (II этап оценки)	172742	10406	183148	59682	33
Тюменская область (южная и центральная части площадью 330 188 км ²)	83519	307	83826	25903	31
Томская область (левобережная часть Оби площадью 179088 км ²)	38327	1622	39949	18922	47

Естественные ресурсы в результате их непрерывного возобновления в процессе общего круговорота воды на земле могут считаться верхним пределом эксплуатационных ресурсов при неограниченном сроке эксплуатации. Естественные ресурсы подземных вод зоны интенсивного водообмена плиты оцениваются в 355 588 тыс. м³/сут. причем 90% их формируется в зонах умеренного и избыточного увлажнения бассейна. Таким образом, потенциальные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод зоны интенсивного и слегка затрудненного водообмена ЗСАБ как минимум могут быть оценены в 355 588 тыс. м³/сут. за вычетом эксплуатационных ресурсов солоноватых и соленых вод, составляющих ориентировочно 37 152 тыс. м³/сут. Следовательно, потенциальные и прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод бассейна в количестве 318 436 тыс. м³/сут. обеспечены питанием (восполнением) за счет подземного стока при неограниченном сроке эксплуатации. Потенциальные эксплуатационные ресурсы пресных вод плиты, видимо, составляют не менее 1 000 000 тыс. м³/сут. В формировании потенциальных ресурсов, наряду с восполняемыми, принимают участие естественные запасы (гравитационные и упругие), привлекаемые ресурсы поверхностных вод (рек, озер, болот) и искусственные ресурсы в самых разнообразных соотношениях. Естественные (емкостные) запасы, как правило, составляют большую часть в общем балансе потенциальных или прогнозных эксплуатационных ресурсов, даже без учета привлекаемых ресурсов, поэтому распространение эмпирического соотношения естественных и прогнозных эксплуатационных ресурсов к северу и востоку от оцененных на II этапе районов бассейна на неизученные территории ледово-гумидной и гумидной макрозон, характеризующиеся весьма благоприятными условиями формирования огромных потенциальных эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод, вполне оправданно, а приведенные цифры потенциальных эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод бассейна – их нижний предел.

Использование подземных вод

Не приходится претендовать на полное освещение всех вопросов и проблем использования подземных вод ОИБ, однако остановимся на ряде из них, с которыми приходилось сталкиваться. Подземные воды ОИБ используются и могут использоваться по нескольким направлениям:

1) для хозяйственно-питьевого водоснабжения, 2) для поддержания пластового давления (ППД) при эксплуатации нефтяных месторождений, 3) для бальнеологических целей (минеральные воды), 4) для орошения, 5) для теплоэнергетики, 6) для промышленных целей. По этим направлениям использование подземных вод происходит по-разному: по первым двум происходит интенсивное их использование, по следующим двум использование пока весьма незначительно, по 5-му направлению – почти не используются и по 6-му – совсем не используются.

За последнее десятилетие в пределах ОИБ открыто и утверждено ТКЗ и ГКЗ много месторождений пресных подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Однако здесь возник ряд проблем: загрязнение продуктивных водоносных горизонтов в районах разработки нефтяных месторождений, повышенное содержание железа в подземных водах – на порядок выше ПДК по ГОСТу «Вода питьевая», затруднения с поисками подземных вод в районах распространения ММП и многие другие. Загрязнение нефтепродуктами в центральной и северной частях ЗСАБ носит мозаичный характер, однако это обстоятельство значительно затрудняет использование подземных вод для питьевых целей. Освобождение от железа на водозаборах подземных вод осуществляется различными методами – зачастую устаревшими или неприемлемыми. Необходимо предусматривать (уже при проектировании) современные методы освобождения от излишнего железа и марганца. Рекомендуется применять технологию обезжелезивания и демантанацию подземных вод непосредственно в водоносном пласте. Эта технология уже давно успешно используется за рубежом, где эксплуатируется более 150 установок (Германия, Швеция, США, Финляндия и др.), а в пределах России и СНГ – более 40 (Уфа, Санкт-Петербург, Подмосковье и др.). Сейчас необходимо для интенсивно осваиваемых территорий ОИБ проведение следующего этапа оценки ресурсов по созданной ВСЕГИНГЕО методике. По просьбе администрации Республики Хакасия несколько лет назад мы провели такую оценку для её территории. Оказалось, что около 90% ресурсов приходится на береговые линейные водозаборы (рр. Енисей, Абакан, Ч. и Б. Июс и др.). Для оценки запасов подземных вод инфильтрационного водозабора может быть использован опыт использования математического моделирования с учетом введения функции источников в основное уравнение [4].

В последнее время испытываются затруднения с поисками подземных вод в районах развития ММП, где перспективные межмерзлотные воды залегают в виде линз.

Нами проведены экспериментальные исследования по поиску пресных подземных вод на севере Западной Сибири с использованием ЯМР-томографии (установка «Гидроскоп»).

«Гидроскоп» – гидрогеологический ядерно-магнитно-резонансный (ЯМР) томограф – является представителем нового класса полевых геофизических приборов, предназначенных для выяснения гидрогеологических условий без бурения скважин, поэтому он значительно удешевляет и ускоряет весь цикл геологоразведочных работ.

Метод позволяет производить поиски и разведку подземных вод на глубину до 100 и более метров. Для этой цели на поверхности земли располагается геофизический кабель, обычно в форме круга диаметром порядка 100 м, служащего антенной, как для источника возбуждающих импульсов, так и для приемника сигнала ЯМР. Для уменьшения влияния внешних электромагнитных помех (линии электропередач) используется антенна в виде восьмерки. Нами проведено зондирование верхних слоев земли с помощью ЯМР-геотомографии в Ямало-Ненецком национальном округе на двух участках – ОП (опорный пункт) 45 км (участок № 1) и ДЛО (дом линейного обходчика) 23 км (участок № 2).

В результате проведенных исследований можно заключить, что ЯМР-геотехнология может успешно применяться при поиске подземных вод в районах развития ММП. С помощью этого метода можно оконтурить талики, где имеет место распространение продуктивных водоносных горизонтов, а также определить оптимальное местоположение разведочно-эксплуатационных скважин на воду.

В настоящее время в районах добычи нефти весьма интенсивно используются подземные воды продуктивных водоносных горизонтов для ППД. Для этого рядом коллективов проводится оценка запасов подземных вод. Еще при составлении первого крупного обобщения по гидрогеологии ЗСАБ [2] В.А. Нуднером была поставлена задача о всесторонней технико-экономической оценке целесообразности использования подземных вод для ППД. К сожалению, на наш взгляд, на должном уровне и своевременно эта задача не была решена. Поэтому сейчас закачивается вода в глубокие горизонты, в результате чего там происходит смешивание («кесиль-месиль»), а возможно и разубоживание промышленных и минеральных подземных вод. Для ППД используется огромное количество природных вод. Так, по данным А.Р. Курчикова, для ППД в Тюменской области уже добыто 238 млн.м³ подземных вод (более всего в 2002 году).

ОИБ очень богат минеральными подземными водами. Так, по оценкам гидрогеологов Сибири потенциальные ресурсы лечебных минеральных вод ЗСАБ составляют не менее 300 м³/с. Это без учета минеральных вод гидрогеологических массивов, где сосредоточены значительные ресурсы, например, Терсинское месторождение углекислых вод, используемое по назначению пока весьма незначительно. На этом месторождении, как и на других возможна организация новых здравниц. Разлив минеральных вод (бутылирование) пока производится в незначительном количестве.

Использование подземных вод для орошения производится в небольших масштабах – в Кулунде, Павлодарской области. В постсоветское время по известным причинам оно снизилось. Следует подчеркнуть, что использование подземных вод, особенно меловых, для орошения следует проводить осторожно, чтобы избежать содового засоления почв (левобережье р. Иртыш, Казахстан).

Ресурсы термальных вод в пределах ЗСАБ и областях питания также значительны. Так, по оценке ВСЕГИНГЕО, в пределах доступных для освоения глубин, находится 180-190 м³/с (с температурой более 40°C). Пока этот потенциал почти не используется. Между тем, использование, например, тепловых насосов (Институт теплофизики СО РАН) позволило бы значительно повысить эффективность термальных вод для отопления зданий, что сделано в с. Купино Новосибирской области (отапливается школа). Потенциал использования промышленных вод в ЗСАБ огромен. В них в большом количестве во многих местах содержится йод, бром, литий и другие полезные компоненты, которые пока совсем не добываются, хотя, например, технология извлечения лития из промышленных подземных вод создана и апробирована в СО РАН.

Выводы

Изучение подземных вод Обь-Иртышского бассейна в настоящее время хотя и продолжается, но находится в неудовлетворительном состоянии. Во всяком случае, темпы и основательность его сейчас значительно ниже, чем это было в середине и конце прошлого века, несмотря на большое количество пробуренных скважин. Следует указать, что многие скважины, за исключением опорных и параметрических, пройдены сплошным забоем, поэтому с минимальной гидрогеологической информацией. Между тем, исследования подземных вод, особенностей их формирования, качества, роли в различных геологических процессах и жизни человека в целом остаются актуальными. Поэтому уже в ближайшее время предлагается обратить внимание на следующие направления исследований, напрямую связанных с использованием подземных вод Обь-Иртышского бассейна для различных целей:

- 1) создание постоянно действующей математической модели Западно-Сибирского артезианского бассейна;
- 2) проведение второго этапа региональной оценки ресурсов питьевых подземных вод на всей территории Обь-Иртышского бассейна;
- 3) выяснение особенностей формирования подземных вод верхнего гидрогеологического

этажа, в частности до сих пор не выявлена роль болот в различных частях бассейна в формировании количества и качества олигоцен-четвертичного и ниже лежащих гидрогеологических комплексов;

- 4) продолжение изучения промышленных подземных вод в центральной и северной частях бассейна;
- 5) изучение минеральных вод на всей территории бассейна;
- 6) изучение теплоэнергетических возможностей использования подземных вод;
- 7) прекращение использования природных вод, в том числе подземных для ППД;
- 8) использование метода ЯМР-томографии для поисков и разведки месторождений подземных вод, особенно в районах развития ММП;
- 9) обобщение материалов по гидрогеологии всего бассейна в виде крупной монографии.

Литература

1. Гармонов И.В., Иванов А.В., Сугробов В.М. области питания и разгрузки подземных вод юго-восточной части Западно-Сибирской низменности // Проблемы гидрогеологии. М.: Госгеолтехиздат, 1960, С. 51-68.
2. Гидрогеология СССР. Тома XVI, XVII. Недра, 1970, 1972, 367 с.; 398 с.
3. Дюнин В.И., Корзун В.И. Гидрогеодинамика нефтегазоносных бассейнов. Научный мир, 2005, 517 с.
4. Кусковский В.С., Кашеваров А.А., Рыбакова С.Т. Оценка запасов подземных вод инфильтрационного водозабора (математическое моделирование). Новосибирск: Наука, 2005, 153 с.
5. Матусевич В.М., Рыльков А.В., Ушатинский И.Н. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна. ТюмГНГУ, 2005, 225 с.
6. Ресурсы пресных и маломинерализованных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. М.: Недра, 1991, 259 с.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ХАНТЫ-МАНСЙСКА

Кусковский В.С.

ИНГГ СО РАН, Новосибирск, KuskovskyVS@ipgg.nsc.ru

UNDERGROUND WATERS IN THE AREA OF KHANTY-MANSYISK

Kuskovsky V.S.

IPGG SB RAS, Novosibirsk, KuskovskyVS@ipgg.nsc.ru

На территории выделены водоносные горизонты, определена их взаимосвязь, разгрузка подземных вод, а так же их влияние на возникновение и развитие экзогенных геологических процессов.

The aquifers have been defined in the area, as well as their co-relations, and discharge of ground waters and their impact on the origination and further development of exogenetic geologic processes.

Город Ханты-Мансийск можно назвать уникальным. За последние годы он превратился в красивейший современный город, можно сказать, европейского типа. Кроме того, в пределах его территории находится природный парк «Самаровский Чугас» (ПП «СЧ»), где произрастают могучие сибирские кедры. Где Вы ещё встретите такое? В городе существует организация, которая следит за состоянием и развитием – ПП «СЧ».

В геологическом отношении большая часть территории города и природного парка ПП «СЧ» представляет собой его так называемый «Самаровский останец обтекания» в районе устья р. Иртыш. История изучения геологических разрезов довольно продолжительна и включает в себя принципиальные научные дискуссии между гляциалистами и антигляциалистами. В связи с чем, к настоящему времени в нашем распоряжении имеется достаточно большой список опубликованных данных в виде монографий и многочисленных статей в различных изданиях. Поэтому в работах [1, 2] и др. обсуждаются различные представления о генезисе и возрасте отложений.

По материалам государственной геологической съемки М 1:200 000, а также данных гидрогеологических исследований, связанных с поисками и разведкой подземных вод для хозяйственно-питьевого назначения, в пределах данной территории можно выделить несколько водоносных горизонтов, относящихся к верхнему гидрогеологическому этажу. Он содержит водоносные горизонты и комплексы, связанные с отложениями четвертичного и верхнепалеогенового возраста. Это подземные воды, как правило, безнапорные или они имеют так называемый местный (слабый) напор. Области питания совпадают с областями разгрузки, источники питания – атмосферные осадки. По минерализации – это ультрапресные и пресные воды, о чем свидетельствуют и фактические данные, полученные в результате общих химических анализов вод источников, обследуемых нами в 2001 г.

Выделяются следующие водоносные горизонты и комплексы:

- 1) водоносный горизонт современных озерно-болотных отложений (широко распространен на территории, особенно в её северной части);
- 2) водоносный горизонт нерасчлененных верхнечетвертичных и современных аллювиальных отложений первых надпойменных террас и пойм;
- 3) водоносный горизонт верхнечетвертичных и современных аллювиально-озерных и аллювиальных отложений вторых и первых надпойменных террас р. Иртыш;
- 4) водоносный горизонт верховодки (наблюдается в отложениях эоловых песков и субэраль-

ных покровных суглинках; верховодка приурочена к верхней части верхнечетвертичных отложений плато и долин рек);

5) водоносный горизонт нерасчлененных ледниковых, озерно-ледниковых и озерно-аллювиальных отложений (усть-лянинская толща);

6) водоносный комплекс нерасчлененных отложений новомихайловской и атлымской свит.

Разгрузка подземных вод тесно связана с распространением верхних по разрезу водоносных горизонтов и возникновением и развитием ряда экзогенных геологических процессов (ЭГП), нарушающих геологическую среду. Выше указанные ЭГП – это оползни, суффозия, оплывины, подтопление и наледи. Разгрузка водоносного горизонта ледниковых и озерно-ледниковых отложений осуществляется несколькими путями. Во-первых, эти подземные воды в течение всего года разгружаются на зеркало грунтовых вод и верховодки второй надпойменной террасы, гипсометрически располагающихся значительно ниже этого горизонта. Это имеет место на границе ПП «СЧ» и селитебной части г. Ханты-Мансийска (рис. 1).

В силу особенностей геологического строения и гидрогеологических условий эта разгрузка осуществляется неравномерно по всему выделенному фронту (локальными частями), выделить которые в настоящее время не представляется возможным. Во-вторых, разгрузка осуществляется в русло р. Иртыш на участке, где склоны Самаровского останца являются берегом реки – восточная часть территории вдоль улицы Набережной и далее на север. Эта разгрузка имеет также локальный характер. В-третьих, в подошве склонов Самаровского останца на юге и юго-западе подземные воды разгружаются на зеркало вод пойменной террасы и тоже крайне неравномерно. В-четвертых, разгрузка наблюдается в виде нисходящих источников, обнаруженных автором в 2001 г. в пределах всей площади распространения Ханты-Мансийских холмов (Самаровского останца). Всего было обнаружено и описано 30 источников, один из них – восходящий. Обследовано и для 20 составлен каталог источников [3]. На рис. 1 показано местоположение источников и номер по каталогу. Источники располагаются на различных высотных отметках местности и, как правило, они приурочены к логам, лощинам, другим отрицательным формам рельефа.

По приуроченности к отдельным типам подземных вод обнаруженные источники подразделяются на две группы: 1) источники, питающиеся верховодкой (№ 11, 13, 17 по каталогу), 2) источники поровых грунтовых вод (№ 1-10, 12, 14-16, 18-20). Источники второй группы относятся к типам эрозионных, контактовых, выклинивания и переливающихся (экранированных). К переливающемуся (экранированному) источнику относится Валентиновский источник (12 по каталогу) в правом борту ручья Б. Логовой. Наличие дислокаций, разрывных нарушений и надвигов в породах способствует образованию источников выклинивания и контактовых. По характеру выхода воды на дневную поверхность многие источники относятся к типу рассеянных, нисходящих (№ 3, 7, 10, 11, 16-19). Другие относятся к типу рассеянно-сосредоточенных или сосредоточенно-рассеянных, нисходящих (№ 1, 4, 8, 13, 15). Часть источников (№ 2, 5, 6, 9, 14, 20) относятся к типу сосредоточенных, нисходящих. И только один источник (№ № 12) относится к типу сосредоточенных, восходящих. Дебиты обследованных объектов относительно небольшие, они колеблются в пределах 0,01-0,90 л/с. Относительно повышенные дебиты имеют источники №№ 6, 7, 14, 16, их дебиты, соответственно, равны 0,30, 0,90, 0,35 и 0,20 л/с.

Режим источников не изучался, но, судя по приуроченности их к водоносным горизонтам и устным сообщениям местных жителей, источник № 12 (Валентиновский) относится ко II-ой категории, т.е. постоянных. Часть источников, связанных с верховодкой (11, 13, 17), относятся к IV-ой категории (т.е. весьма переменных), остальные – к III-ей категории, т.е. переменным.

Разгрузка аллювиальных водоносных горизонтов осуществляется непосредственно в русло р. Иртыш. При этом следует подчеркнуть, что эти водоносные горизонты гидравлически связаны с речными, а также друг с другом. Поэтому разгрузка в реку Иртыш имеет место только в осенне-

зимний период (рис. 1). В остальное время года, особенно в паводок наблюдается обратный процесс – река является источником питания этих водоносных горизонтов.

С разгрузкой подземных вод на территории парка, которая часто носит очаговый характер, связан ряд экзогенных геологических процессов (ЭГП): оплывины, оползни, плывуны, эрозия ручьев и временных водотоков (овраги), суффозия, заболачивание, наледи (рис. 1). Все эти ЭГП требуют тщательного изучения с постановкой круглогодичных режимных наблюдений. Но наибольший урон городу и парку, на наш взгляд, наносят эрозия, оползни и оплывины. Оползни и оплывины, которые наблюдались нами в маршрутах, связаны с очаговой разгрузкой подземных вод. Источник № 18 назван нами «Оплывинный», т.к. находится в логу, где обнаружено большое количество оплывин: особенно в левом более крутом борту лога (угол склона 30-40°). Типичные размеры оплывин: длина – 8-15 м, ширина – 2-4 м, глубина захвата грунтов – ниже почвенного слоя 20-30 см. В обнажении влажные суглинки, супеси, серые глины, видны очень мелкие струи воды. Такие оплывины встречены также по ручью «Больничный» (16, 17) и в других местах. Здесь же встречаются и небольшие оползни, обязанные своим происхождением разгрузке подземных вод. Оползни классические, циркообразные, небольшие по размерам: ширина по фронту до 20 м, чаще всего – 10-12 м, ширина – 5-6 м, амплитуда срыва грунтов – 1-2 м. На месте образования оползней, крупных оплывин поваленные деревья, кустарники. Оплывины и оползни имеют место на территории ПП «СЧ» при наличии нескольких факторов.

1. Очень крутые склоны врезанных логов, углы склонов 25-40°.
2. Градиенты потоков подземных вод, разгружающихся на склонах, достигают десятых долей единицы.
3. Выход подземных вод в виде мочажин выше по склону от русла ручья.
4. Наличие суглинков со значительной примесью тонкозернистого песчаного материала.
5. Характер выхода подземных вод исключительно только рассеянный, нисходящий.

Встречается довольно сложное сочетание оплывин с суффозией, например, в левом борту ручья Б. Логовой близ детской экологической тропы и источника № 13, где, на наш взгляд, неудачно сооружена подпорная стенка. Оплывины и оползни возникают за счет гидродинамического давления потоков подземных вод, поэтому для ликвидации оплывин и оползней надо проектировать не подпорную стенку, а дренаж подземных вод, причем, предпочтительно горизонтальный дренаж в виде галерей. При этом необходимо составить ТЭО, т.к., по нашей предварительной экспертной оценке, площадь, подверженная оплывинам, составляет 0,10 га, а площадь, подверженная оползням – 0,5 га (на состояние августа 2001 г.).

Однако следует подчеркнуть, что с этого времени до лета 2007 г. эти площади возросли в несколько раз. При этом несколько довольно крупных оползней возникло в последние годы (2006 и 2007 гг.). Так, в конце улицы Трудовой, в правом берегу ручья Рыбный, имеют место два оползня детрузивного типа с общей площадью поражения склона около 1 га.

Литература

1. *Архипов С.А., Вотах М.Р., Шелкопяс В.Н.* Стратиграфия, термолюминесцентный возраст и корреляция морей Белогорского Приобья // «Четвертичные оледенения Западной Сибири и других областей северного полушария». Новосибирск: Наука, 1981. – С. 17-29.
2. *Кузин И.Л.* Новейшая тектоника территории Ханты-Мансийского автономного округа. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2002. – 87 с.
3. *Кусковский В.С., Платонов Е.П.* Необходимость организации мониторинга подземных вод на территории «Самаровский Чугас» (г. Ханты-Мансийск) // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Изд-во Наука-Сервис, 2004, том 3, С. 262-269.

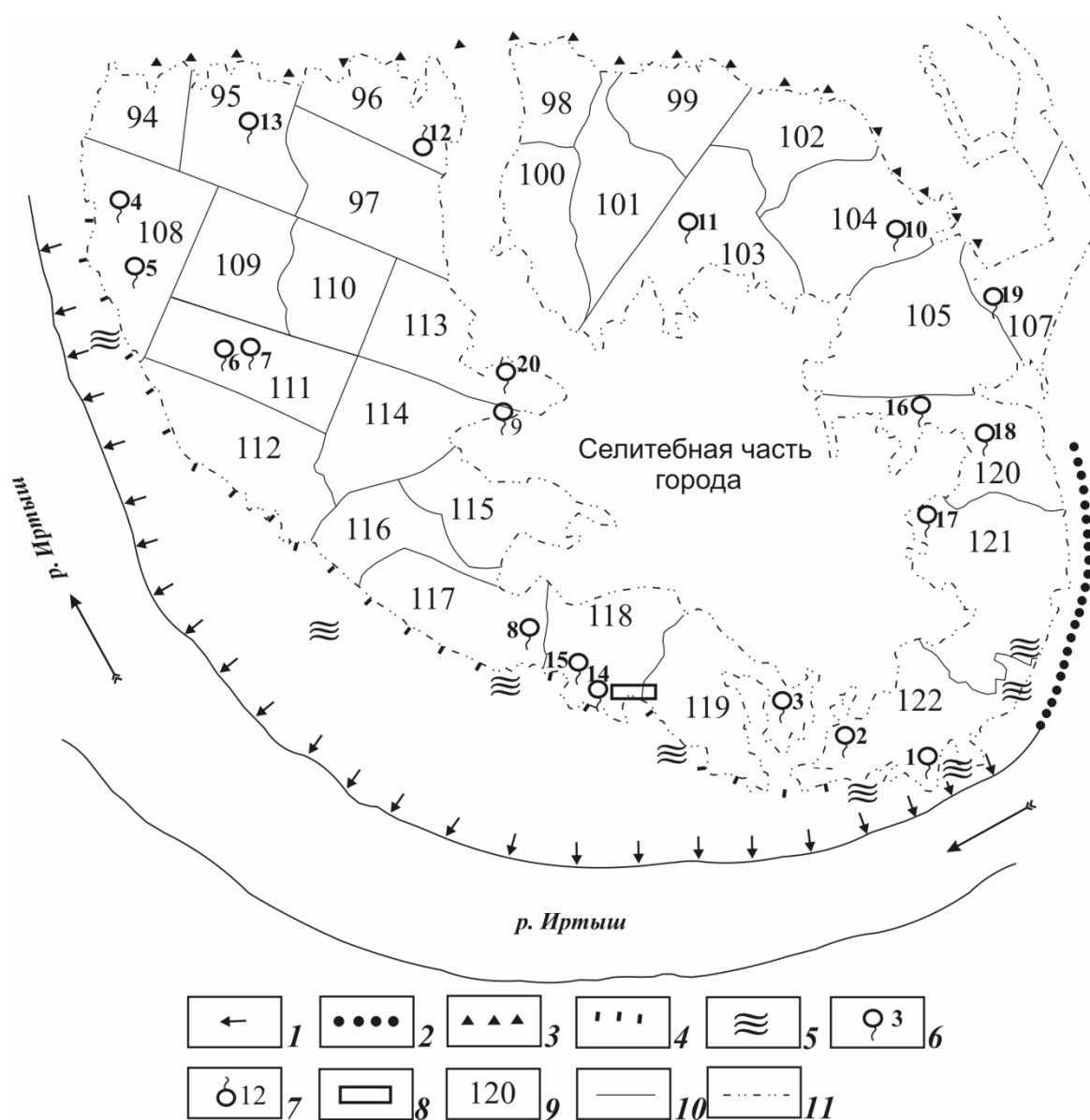


Рисунок 1. Схема разгрузки подземных вод (составил В.С. Кусковский, 2007 г.)

1 – разгрузка аллювиальных водоносных горизонтов в русло р. Иртыш (осенне-зимний период); 2 – разгрузка водоносного горизонта ледниковых и озерно-ледниковых отложений в русло р. Иртыш; 3 – разгрузка водоносного горизонта ледниковых и озерно-ледниковых отложений на зеркало грунтовых вод II-й надпойменной террасы; 4 – разгрузка ледниковых и озерно-ледниковых отложений на зеркало грунтовых вод пойменной террасы р. Иртыш; 5 – мочажины, подтопление и заболачивание за счет разгрузки подземных вод; 6 – нисходящие источники и их номера по каталогу (разгрузка водоносного горизонта ледниковых и озерно-ледниковых отложений на поверхность земли); 7 – восходящий источник; 8 – геологический памятник природы регионального значения «Самаровский останец»; 9 – номера квадратов; 10 – границы квадратов; 11 южные границы парка.

ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ*Магаева Л.А**ИВЭП СО РАН, Барнаул, juliao01@mail.ru***GROUND WATERS OF THE OB RIVER REGION WITHIN NOVOSIBIRSK OBLAST***Magaeva L.A**IWEP SB RAS, Barnaul, juliao01@mail.ru**Распространение грунтовых вод в лессовидных отложениях и их роль в формировании стока малых рек.**Spreading of ground waters in the loess-like deposits and their role in the pormation of small rivers runoff.*

Грунтовые воды Приобской возвышенной равнины приурочены к отложениям красnodубровской свиты ранне-среднечетвертичного возраста. Распространены они, в основном, выше абсолютной отметки 140 м. Генезис этих отложений неоднороден. После длительного обсуждения на последних изданных геологических картах [1] их назвали полигенетичными – рг. В их составе выделяются фации лессов, лессовидных, делювиально-пролювиальных отложений. Мощность отложений красnodубровской свиты максимальная вблизи долины р. Обь и достигает 110 м. [3]. Со снижением гипсометрических отметок рельефа их мощность снижается до полного выклинивания или замещения отложениями федосовской свитой. Для всей толщи красnodубровской свиты характерно наличие от 3-5 до 6-8 (в зависимости от гипсометрических отметок поверхности) пачек пород с чередующимся составом. При проведении гидрогеологических и инженерно-геологических съемок масштаба 1:50 000 они названы ритмопачками [2]. Каждая ритмопачка опесчанена в основании, в кровле состав отложений более глинистый. Завершается разрез ритмопачки погребенной, а последней – современной почвой. Особенности такого литологического строения способствуют формированию обводненного слоя в каждой ритмопачке, приуроченного к нижней, опесчаненной части. Водоупором являются почвы и суглинки нижележащей ритмопачки. В результате вся толща имеет ярусную обводненность. В местах, где водоупоры размыты или их состав облегченный, происходит объединение двух водоносных слоев, что осложняет общую картину.

В целом, для толщи четвертичных отложений характерно последовательное выклинивание ритмопачек по склонам малых рек и ручьев. На древнем склоне к р. Оби ритмопачки облекают друг друга. Отсюда следует, что даже на пологих склонах вскрываются слои разного возраста и генезиса, а с ними разные ярусы грунтовых вод. По глубине уровня грунтовых вод нельзя определить, какие слои вскрыты. Часто в рядом расположенных скважинах вскрываются воды разных ритмопачек, они имеют разный химический состав и минерализацию (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав грунтовых вод на профиле у с. Решеты, мг/дм³

Номер ритмопачки	Номер скважины	Глубина УГВ, м	pH	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃ +CO ₃	NO ₃	Минерализация
Склон северной экспозиции											
kd 4	ш 26	2,4-3,0	7,5	39	85	29	16	39	427	3	0,4
kd 3	131	4,9-7,2	7,9	690	550	300	65	3312	695	Н.о.	5,3
kd 4	334	3,2-4,3	7,8	68	89	1	11	19	402	12	0,4
kd 4	335	3,5-4,5	8,0	1	151	34	39	100	439	60	0,6
Вершина увала											
kd 3	34	6,7-8,0	7,4	301	488	275	38	2450	451	38	3,8
kd 5	338	1,1-1,4	7,7	3672	390	867	7978	723	634	Н.о.	14,1
kd 3	129	7,0-8,2	8,0	1152	62	38	29	2275	475+12	Н.о.	3,8
Склон южной экспозиции											
kd 4	33	5,5	6,9	906	595	289	850	2875	549	5	5,8
kd 3	342	2,9-4,0	8,2	729	173	120	214	1819	304	Н.о.	3,2
kd 3 у ручья	208	0,9-2,4	7,4	160	42	25	29	60	549	2	0,6
Склон северной экспозиции											
kd 2	114	5,2	7,6	433	108	73	208	552	780	6,0	1,8
kd 2	114	12,1	7,6	375	82	31	212	547	341	Н.о.	1,4
kd 2 у ручья	347	3,3-4,0	7,6	54	77	58	15	46	561	Н.о.	0,5
kd 1	113	5,0-9,8	7,4	397	31	50	177	413	488+36	8	1,4

Примечание: Н.О. – не обнаружено

Современный рельеф дренирует верхние ярусы грунтовых вод на разных абсолютных отметках. Часто в ложбине появляется водоток, а ниже по течению он пропадает, затем ниже по ложбине появляется вновь. Происходит поглощение расхода водотока зоной аэрации нижней ритмопачки. Такие случаи наблюдаются на притоках р. Карасук. Речка левая Солоновка в районе с. Быструха в верхней части ложбины имеет расход до 1дм³/с, а ниже – практически нет течения. В районе с. Решеты в верхней части правого ручья – заметное течение, в средней – ложбина сухая, в нижней – течение очень слабое.

Между сс. Быструха и Жуланка река Карасук размывает правый коренной берег. В обрыве видно просачивание воды на высоте примерно 3 м от уреза воды. Летом этот склон южной экспозиции прогревается, и в местах выходов струй воды происходит накопление карбонатов. При осыпании склона карбонатные новообразования в виде полудисков торчат из суглинков, часть их падает на берег реки.

При зимнем обследовании р. Карасук установлено, что от верховий и почти до с. Жуланка река перемерзает до дна. Ниже по течению встречаются незамерзающие полыньи. Видимо, это места разгрузки напорных вод.

Таким образом, установлено, что грунтовые воды в толще красnodубровской свиты очень слабо водообильны и значительного влияния на формирование стока основной реки не оказывают.

Литература

1. Государственная Геологическая карта РФ, М 1:200 000, листы N-44-XIII (Верх-Урюм), N-44-VII (Здвинск), Санкт-Петербург, 2001.
2. Магаева Л.А. Мелиорируемая толща почв и пород Приобья: строение и особенности функционирования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. – 111 с.
3. Стратиграфический словарь. Палеоген, неоген, четвертичная система. – Л.: Недра, 1982.

ДИНАМИКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СТОКА В ОБЛАСТИ ВОСТОЧНО-АЗИТСКОГО МУССОНА

Макагонова М.А., Владивосток, Тихоокеанский институт географии,
mmakagonova@tig.dvo.ru

GENETIC STRUCTURE CHANGES OF RIVER RUNOFF IN EAST ASIAN MONSOON ZONE

Makagonova M.A., Vladivostok, Pacific Institute of Geography,
mmakagonova@tig.dvo.ru

Представлены исследования по временной и пространственной изменчивости некоторых элементов водного баланса малых водосборов в теплый период года, а также составляющих стока, рассчитанных с помощью модели паводочного цикла малого речного бассейна.

The flood cycle model of small river basin was used to determine spatial-temporal variability of some water balance elements for warm period. The changes of river runoff structure are revealed.

Восточно-Азиатский муссон как одна из ветвей общей Азиатско-Австралийской муссонной циркуляции, имеет свои особенности. Основная область его распространения – внетропические широты, которые в настоящее время испытывают наибольшие изменения в климатическом состоянии.

Неравномерные изменения в гидроклиматическом режиме муссонных регионов приводят, в конечном итоге к дифференцированному вкладу в различные источники питания рек.

Для анализа составляющих стока использована модель паводочного цикла малого речного бассейна [1, 2]. Анализ многолетней динамики составляющих стока проведенный нами на основе данных выполненных модельных расчетов выявил общее увеличение стока большинства рек исследуемого района, развивающееся по нескольким разным схемам:

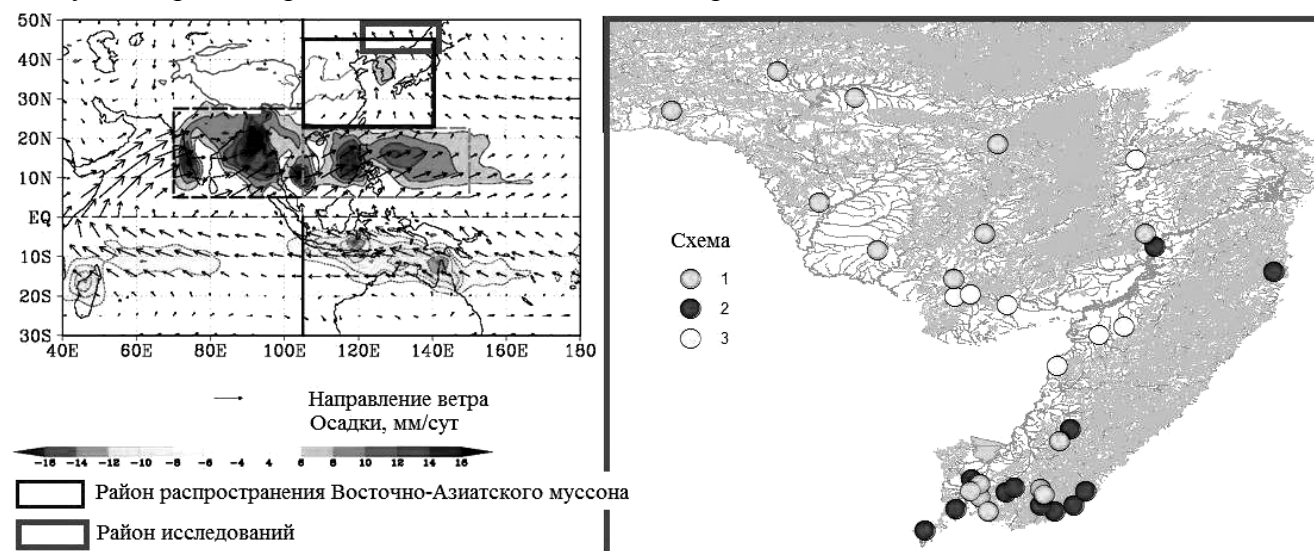


Рисунок 1. Среднее значение количества осадков за июнь-август, направление ветра на поверхности 925 гПа в секторе воздействия Азиатско-Австралийского муссона по данным реанализа за 1951-2000 [4]),

1. Общее возрастание стока за счет увеличения базисного стока на фоне отсутствия тенденции увеличения осадков в теплый период года. Увеличение значений параметра, характеризующего величину водообмена с глубокими подземными горизонтами, наблюдается на реках области формирования водных ресурсов, т.е. преимущественно горных, залесенных бассейнах, а также находящихся под активным влиянием основных влагонесущих потоков от побережья во внутриконтинентальные районы (рис.1).

Для первой схемы увеличение величин подземного водообмена составляет в среднем 10-45 мм. Данная тенденция наиболее четко проявляется для водосборов, с площадями до 1000 км², что может характеризовать изменения в режиме ежегодно возобновляемых запасов подземных вод зоны активного водообмена. Поскольку основной сток данных рек формируется преимущественно осадками данного года, выявленная тенденция может также свидетельствовать об активизации приповерхностного влагооборота и увеличении питания рек в зимний и переходный сезоны, деградации в горных районах вечной мерзлоты. Для анализа условий питания рек в зимний период нами были проанализированы ряды среднесуточной температуры воздуха по нескольким станциям юга Дальнего Востока. Выявлены значимые тренды для температуры холодного периода с декабря по февраль (рис.2), причем значимость этих трендов растет в направлении от побережий к внутриконтинентальным районам. Еще одна тенденция выявлена для апреля, значимость которой также выше для территорий, удаленных от побережья. Также отмечены тенденции в росте числа южных циклонов, приносящих зимние осадки на территорию Дальнего Востока, причем для конца 70-х-начала 80-х годов увеличивается не только общее количество циклонов, но и число глубоких (давление в центре ниже 975 гПа) циклонов.

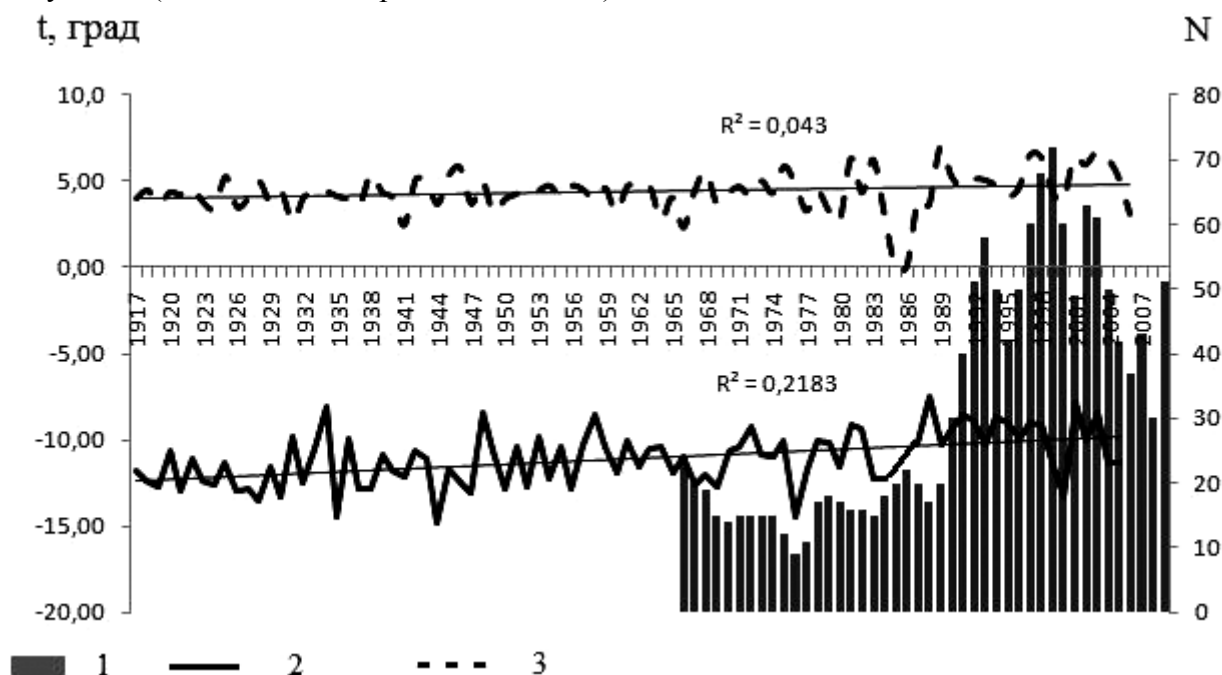


Рисунок 2. Межгодовой ход количества южных циклонов за холодный период года (1) и многолетние изменения среднесуточной температуры воздуха за холодный период (2), апрель (3) по ст. Владивосток

Для водосборов верховий рек Уссури, Раздольная, Зея увеличение базисного стока достигает 100 и более процентов. Для остальных водосборов достигает 30-50%. Тенденция увеличения осадков в летний период для отмеченной схемы практически отсутствует – для горных внутриконтинентальных водосборов суммы осадков для второго периода меньше на 2-8% по сравнению

с первым. На остальных водосборах наблюдается незначительное увеличение сумм осадков на 1-15%.

Общее увеличение стока в летний период на водосборах верховьев Уссури и Раздольной достигает 18-26 мм, некоторых водосборах южного побережья Приморья, в верховьях р.Зея – до 50 мм, что в процентном отношении составляет 10-25%. Поверхностный сток и среднее количество дней с наблюдением поверхностного стока на большинстве бассейнов уменьшается. Особенно отчетливо данная тенденция видна на малых горных водосборах Буреинского хребта, верховьях р.Уссури, где среднее уменьшение величин поверхностного стока составило 5-10 мм или 10-25%, для верховьев р.Бурея более 100%.

2. Общее возрастание стока, выявленное на фоне тенденции увеличения осадков в теплый сезон года, возрастания величины поверхностного стока и числа дней с поверхностным стоком, характерно для рек предгорных и равнинных областей. Как правило, интенсификация поверхностного стока возникает в случае возрастания интенсивности и продолжительности осадков. Бассейны с выявленным возрастанием поверхностного стока расположены непосредственно в зоне влияния муссонов и прибрежных областях. Подобное явление наблюдается преимущественно в июне-июле, что может косвенно свидетельствовать об интенсификации циклогенеза первой половины дальневосточного муссона (рис.1).

Увеличение величин поверхностного стока для водосборов второй схемы составило в среднем от 5 до 95 мм. Наибольшими величинами характеризуются прибрежные водосборы восточного макросклона Сихотэ-Алиня и малые водосборы окраин Восточно-Манчжурского нагорья, где увеличение величин поверхностного стока составило 30-90 мм или 30-40%. Как правило, на подобных водосборах отмечается увеличение сумм осадков в летний период до 50-70 мм.

На остальных водосборах, в основном внутриконтинентальных районов Приморья увеличение поверхностного стока достигало 12-25 мм или 30-60%, а увеличение сумм осадков – 12-27 мм.

Сток в летне-осенний период для второго периода наблюдений увеличился на 30-75 (26-28%) мм на водосборах восточного побережья Приморья и на 100-120 мм (28-30%) для прибрежных водосборов юга Приморья.

Для внутриконтинентальных водосборов его увеличение составило 20-30 мм или 12-14%. Базисный сток на большинстве водосборах имеет нулевой тренд или тенденцию к уменьшению. Исключение составляют водосборы окраин Восточно-Манчжурского нагорья, где увеличение величин подземного стока составило 30-40 мм.

3. Также нами выделена промежуточная группа водосборов, где отмечается увеличение как величин поверхностного, так и подземного стока. В эту группу водосборов входят малые бассейны Средне-Амурской и Амгунь-Амурской низменностей (рис.1), находящихся в районе проникновения влажных воздушных потоков из районов Желтого и Восточно-Китайского морей. Увеличение сумм осадков в летний период для этих бассейнов составляет 50-220 мм. Рост величин стока достигает 90 мм, из которых 15-45 мм приходится на сток поверхностного генезиса. Увеличение подземного стока составляет в среднем 20-40 мм.

Таким образом, для территории юга Дальнего Востока гидроклиматические тенденции развиваются в двух направлениях: наблюдается интенсификация влагооборота для районов, непосредственно находящихся в зоне действия муссонных потоков, а также отмечается рост стока, и в основном его подземной составляющей, вызванный потеплением зим, отмечающимся во многих районах земного шара.

Литература

1. *Б.И.Гарцман*. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока. Методы расчетов, прогнозов, оценок риска/ Владивосток, Дальнаука, 2008 - 221с.
2. *Макагонова М.А.* Пространственно-временная динамика параметров водообмена малых речных бассейнов в области восточно-азиатского муссона// География и природные ресурсы. - 2009. - №2. - С. 11-20.
3. *Тунеголовец В.П., Кочеткова М.В., Чередниченко У.А.* Климатические обобщения южных циклонов, выходящих на дальневосточные моря и северо-западную часть Тихого океана в холодный период года/Труды ДВНИГМИ, вып.151.- Владивосток, Дальнаука, 2009. – С. 109-126.
4. The global monsoon system: research and forecast. Report of the International Committee of the Third International Workshop on Monsoon/ WMO-TD №1266 (TMRP Report №70). – Geneva, Switzerland, 2005 – 525 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ЗИМНЕГО СТОКА ПО ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕЙ И СРЕДНЕЙ ОБИ

Малолетко А.В., г. Барнаул, ЗАО «Центр инженерных технологий», mtko@mail.ru

THE MINIMUM WINTER RUNOFF DISTRIBUTION ON THE TERRITORY OF THE UPPER AND MIDDLE OB'

A.V. Maloletko, closed company «Center for Engineering Technologies», Barnaul, Russia, mtko@mail.ru

Определение расчетных гидрологических характеристик следует производить по однородным рядам наблюдений или однородным районам. В данной работе проводится районирование с использованием метода группового анализа, изложенного в СП 33-101-2003. Анализируемой характеристикой при районировании является минимальный зимний модуль стока 95%-й обеспеченности.

Defining of the estimated hydrological characteristics should be based on homogeneous observational series or on homogeneous regions. The paper provides zoning using the group analysis method stated in the Building Regulations 33-101-2003. The characteristic under study in zoning is the runoff minimum winter module with a 95% probability.

Определение расчетных гидрологических характеристик следует производить по однородным рядам наблюдений или однородным районам. Территории Верхней и Средней Оби очень разнообразна по особенностям геологического строения речных бассейнов, их рельефа, почв, растительности, наличия в бассейне озер и болот и т.д., поэтому существует необходимость ее районирования. Районирование производится на основании метода группового анализа, изложенного в СП 33-101-2003. Анализируемой характеристикой при районировании исследуется минимальный зимний модуль стока 95%-й обеспеченности. Актуальность изучения минимального стока определяется в том, что в условиях Западной Сибири реки отличаются длительным и устойчивым периодом зимней межени. При водохозяйственном использовании рек именно этот период является лимитирующим. Районирование данной территории производилось уже неоднократно разными авторами, но в данной работе рассматривается именно минимальный зимний модуль стока 95%-й обеспеченности по методике, предложенной в своде правил.

В гидрографическом отношении в бассейне р. Обь можно выделить: верховье (от истоков рек Катунь и Бия до их слияния), бассейн Верхней Оби (от слияния рек Катунь и Бия до г. Новосибирск), бассейн Средней Оби (от г. Новосибирск до устья р. Иртыш), бассейн Нижней Оби (от устья р. Иртыш до устья Оби); бассейн собственно р. Иртыш (без р.р. Тобол и Ишим); бассейн р. Тобол и бассейн р. Ишим. Рассматриваемая нами территория включает верховье Оби, бассейны Верхней и Средней Оби.

Орографическая схема территории Обь-Иртышского бассейна в пределах Западно-Сибирской платформы принята, в основном, в соответствии с опубликованными данными, в следующем виде:

Низменности: Барабинская, Вахская, Кондинская, Кулундинская, Нижнеобская, Обь-Тымская, Среднеиртышская, Юганская, Сургутская низина.

Равнины: Васюганская, Восточно-Барабинская, Ишимская, Кетско-Тымская, Предалтайская, Предтургайская, Приаргинская, Северо-Барабинская, Северо-Казахстанская, Тавдинско-Кондинская, Туринская, Чулымская.

Возвышенности и плато: Аганский Увал, Белогорский материк, Зауральское плато, Нулетовская равнина (Увал Нумто), Полуйская возвышенность, Приобское плато, Северо-Сосьвинская возвышенность, Тобольский материк.

Оценка однородности рядов методом совместного анализа. Оценку однородности рядов гидрологических наблюдений осуществляют на основе генетического и статистического анализов исходных данных наблюдений. Генетический анализ условий формирования речного стока заключается в выявлении физических причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений. Для количественной оценки статистической однородности применяют критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении (критерии Смирнова - Граббса и Диксона), критерии однородности выборочных дисперсий (критерий Фишера) и выборочных средних (критерий Стьюдента).

Для проверки однородности эмпирических оценок (в данном случае, мы принимаем за эмпирическую оценку минимальный среднемесячный зимний модуль стока) используют случайные погрешности оценок параметров по специальным таблицам, полученным методом статистических испытаний или по аналитическим формулам. Если рассеяние эмпирических оценок больше теоретического, то принятый район признают неоднородным, и он должен быть уменьшен до тех размеров, пока рассеяние эмпирических оценок и теоретические погрешности будут приблизительно равны.

Уточнение параметров распределений гидрологических характеристик допускается осуществлять методом объединения данных наблюдений по группе станций (постов) в пределах однородных районов. Рассматриваемая гидрологическая характеристика должна быть приведена к единым условиям формирования в однородном гидрологическом районе. Оценка гидрологической характеристики, приведенной к единым условиям формирования, является случайной величиной, распределение которой определяется объемом независимой информации.

Распределение, называемое выборочным, в гидрологических расчетах характеризуется двумя его параметрами: средним значением и среднеквадратическим отклонением (рассеянием).

Рассеяние оценок, вызванное ограниченностью данных наблюдений, обозначают через случайную дисперсию ($\epsilon_{\text{случ}}$), а рассеяние, обусловленное не устраненными приводкой различиями между водосборами, - через географическую дисперсию ($\epsilon_{\text{геогр}}$). Полная дисперсия состоит из двух компонент: случайной и географической дисперсии.

Случайную составляющую рассеяния оценок $\epsilon_{\text{случ}}^2$ вычисляют путем осреднения дисперсий оценок этих параметров по теоретическим формулам или по результатам статистических испытаний.

Географическая составляющая рассеивания ($\epsilon_{\text{геогр}}^2$) представляет собой отклонение математического ожидания параметра для каждого индивидуального бассейна от общего математического ожидания оцениваемого параметра произвольной гидрологической характеристики речного стока для водосборов региона, по которому выполняются исследования. Таким образом, $\epsilon_{\text{геогр}}^2$ является характеристикой, учитывающей различия в истинных значениях параметров распределения. Географическую составляющую рассеяния $\epsilon_{\text{геогр}}^2$ определяют как разность между полной и случайной дисперсиями. Если оценка $\epsilon_{\text{геогр}}^2$ имеет отрицательный знак, то ее принимают равной нулю.

Соотношение между случайной и географическими составляющими определяет целесообразный состав объектов, обрабатываемых методом группового оценивания. При увеличении числа совместно анализируемых водосборов величина случайной составляющей ошибки уменьшается. Географическая составляющая должна увеличиваться за счет вовлечения водосборов, расположенных в пределах более обширной географической области, условия формирования стока которых различаются более существенно. Допустимым следует считать число водосборов, при котором географическая составляющая не превосходит случайную.

Для совместного анализа в исследуемом районе были отобраны гидрологические посты, для которых по возможности выполнялись следующие условия:

- площадь водосборов не превышает 50000 км²;
- ряды наблюдений за минимальным стоком имеют продолжительность более 30 лет;
- данные наблюдений по возможности статистически независимы друг от друга, т.е. отсутствует пространственная корреляция.

В качестве анализируемой характеристики исследуется минимальный зимний модуль стока 95%-й обеспеченности. Для анализа были использованы 168 гидрологических постов с продолжительностью наблюдений от 20 до 74 лет. Минимальные зимние модули стока изменяются на рассматриваемой территории от 0 до 6,2 л/сек.

В соответствии с рассматриваемой методикой, на территории анализируемого района выбирают несколько гидрологических постов с относительно близкими значениями минимального среднемесячного зимнего модуля стока и близким географическим расположением. Определяют среднее значение, полную, случайную и географическую составляющие, а также дисперсию параметров для объединенной совокупности. Если в результате расчета значение географической дисперсии меньше случайной, то объединение можно считать допустимым.

К полученной группе постов поочередно присоединяют посты, близко к ним расположенные, определяют все вышеперечисленные характеристики. Результаты отображают в виде графика зависимости $\varepsilon_{\text{ср}}^2 = f(k)$ (рисунок 2), где $\varepsilon_{\text{ср}}^2$ - дисперсия результата совместного расчета. Если условие географической и случайной дисперсии выполняется, кривая имеет тенденцию к понижению, если условие нарушается, то следует резкое увеличение значений, а, следовательно, такие посты не могут быть присоединены к общей группе.

В итоге были получены следующие однородные районы (рис. 1):

1) Правобережье Оби, ниже бассейна р. Чулым;	8) Северный склон Салаирского кряжа (СС СК);
2) Васюганье;	9) Южный склон Салаирского Кряжа (ЮС СК);
3) Бассейн р. Чулым;	10) Бийско-Чумышская возвышенность (БЧВ);
4) Северный склон Кузнецкого Алатау (СС КА);	11) Северо-западный Алтай (СЗА);
5) Южный склон Кузнецкого Алатау (ЮС КА);	12) Северо-Восточный Алтай (СВА);
6) Кузнецкая Котловина (КК);	13) Обь-Иртышское междуречье.
7) Горная Шория;	

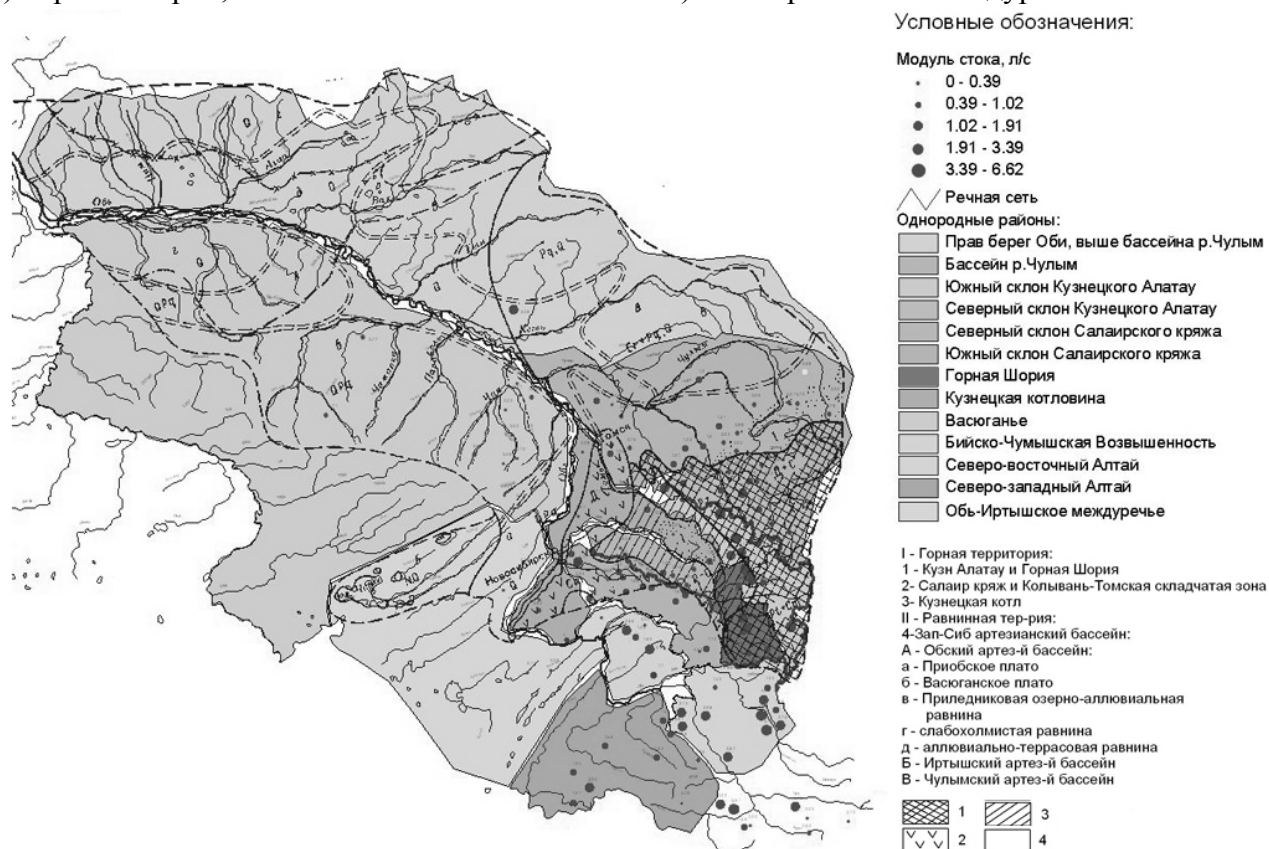


Рисунок 1 - Схема расположения однородных районов

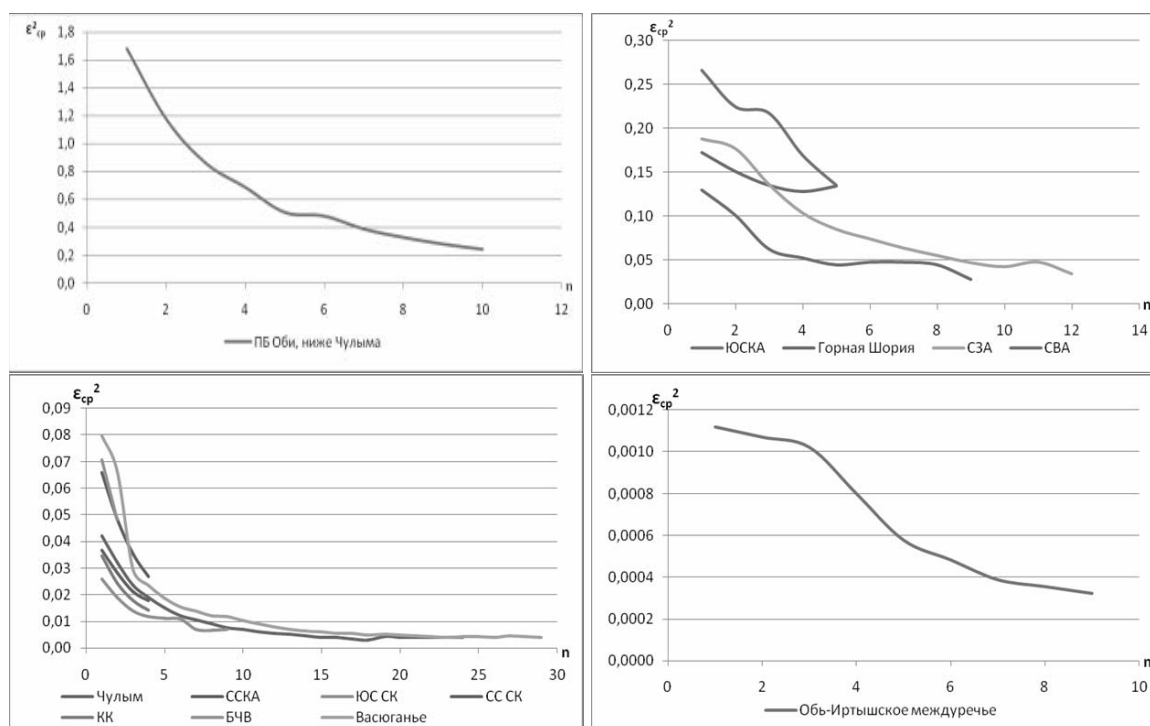


Рисунок 2 - Графики зависимости дисперсии параметров объединенной совокупности от числа совместно анализируемых постов

В таблице 1 представлены итоговые значения полной, случайной и географической составляющих дисперсии по каждому из районов.

Таблица 1

Значения полной, случайной и географической дисперсий

№	Район	Число совокуп- ностей	Число постов	Дисперсия		
				Полная	Случ.	Геогр
1	Правобережье Оби, ниже бассейна р.Чулым	10	13	0,38	3,18	-2,79
2	Васюганье	25	28	0,12	0,13	-0,01
3	Бассейн р.Чулым	24	28	0,10	0,12	-0,012
4	Северный склон Кузнецкого Алатау	4	8	0,17	0,21	0,00
5	Южный склон Кузнецкого Алатау	5	9	1,02	1,21	-0,18
6	Кузнецкая Котловина	4	8	0,10	0,11	-0,01
7	Горная Шория	5	9	0,26	0,15	0,12
8	Северный склон Салаирского Кряжа	4	7	0,14	0,14	-0,01
9	Южный склон Салаирского Кряжа	9	13	0,043	0,092	-0,05
10	Бийско-Чумышская возвышенность	2	6	0,26	0,289	-0,03
11	Северо-западный Алтай	12	18	0,54	0,62	-0,08
12	Северо-восточный Алтай	9	16	0,43	0,45	-0,02
13	Обь-Иртышское междуречье	16	20	0,0075	0,0094	-0,002

Из таблицы 1 видно, что ряды данных по постам внутри каждого района можно принять однородными, т.к. выполняется условие: географическая дисперсия меньше случайной. На рисунке 2 представлены кривые зависимости дисперсии параметров объединенной совокупности от числа совместно анализируемых постов, каждая из которых имеет тенденцию к понижению. Т.е. посты внутри каждого района могут быть отнесены к одной группе. Следовательно, вышеперечисленные районы однородны.

Одними из основных стокообразующих факторов минимального зимнего стока принято считать гидрогеологические условия его формирования и характеристики подстилающей поверхности. Ниже рассмотрено сопоставление однородных районов минимального зимнего стока 95%-й обеспеченности, полученных по методике группового анализа, со схемами гидрогеологического строения бассейна Верхней и Средней Оби [2,3] и физико-географического районирования Западной Сибири. [1] На рисунке 1 представлена схема гидрогеологических районов.

Литература

1. *Винокуров Ю.И., Цимбалей Ю.М.*, Региональная ландшафтная структура Сибири. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2006. 96 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 15, вып. 1: отв. ред. *В.А. Семенов*. – Л: Гидрометеиздат. 1969. – 317 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 15, вып. 2: под ред. *Н.А. Панина*. – Л: Гидрометеиздат. 1972. – 407 с.

СООТНОШЕНИЕ СТОКА СУНГАРИ И АМУРА

Новороцкий П.В., г. Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, ivep@ivep.as.khb.ru

RATIO OF THE SONGHUA RIVER AND THE AMUR RIVER RUNOFF

Novorotskiy P.V., Khabarovsk, IWEP FEB RAS, ivep@ivep.as.khb.ru

Проанализированы гидрологические и экологические особенности р. Сунгари, выявлены периоды повышенной и пониженной водности. Определена доля вклада стока Сунгари в сток Амура в месте их слияния и близ Хабаровска.

Hydrological and ecological features are analyzed Sunghua river; are revealed the periods raised and lowered runoff. The share of the contribution of a drain of Sunghua river in a drain of Amur in a place of their merge and near Khabarovsk is determined.

Сунгари (Сунхуацзян) - река на северо-востоке Китая, крупнейший правый приток Амура. Многолетние колебания водности р. Сунгари существенно воздействуют на состояние экосистем его бассейна, а также на экологическое состояние природных и антропогенных экосистем среднего и нижнего Амура. Многие негативные экологические последствия, отмечающиеся в последние десятилетия в бассейне Амура и, особенно в его нижнем течении, непосредственно связаны с чрезмерной хозяйственной деятельностью в бассейне р. Сунгари.

Протяженность р. Сунгари 1865 км, площадь водосбора 532000 км². Бассейн реки, берущей начало на плоскогорье Чанбайшань, расположен между 41° 40'–51° 50' с.ш. и 119° 25'–132° 30' в.д. Один из ее истоков начинается близ оз. Тяньчи, у кратера вулкана Байтоушань. Средний расход Сунгари у г. Цзямусы составляет 1870 м³/с [3].

В бассейне Сунгари в последние десятилетия быстрыми темпами развиваются и растут расположенные здесь крупные городские агломерации (Харбин, Гирин, Цзямусы), появляются новые промышленные центры, образуются новые и расширяются старые населенные пункты. В данное время в бассейне реки проживает около 70 млн человек, в ближайшие годы руководство КНР планирует довести численность населения до 100 млн [1, 2].

С ростом численности населения происходит дальнейшее интенсивное сельскохозяйственное освоение территории. Сельхозугодиями занято более 60% площади бассейна Сунгари. Здесь интенсивно развиваются нефтехимическая и лесохимическая отрасли промышленности, машиностроение. Бурное экономическое развитие и рост городов способствует поступлению значительного количества сельскохозяйственных, промышленных и бытовых стоков в реку и формированию из нее большой сточной канавы северо-восточного Китая. Накапливаясь, в донных отложениях и различных водных организмах химические соединения становятся опасными и токсичными загрязнителями воды и отравления рыбы в реке. Сунгари уже давно потеряла свое рыбохозяйственное значение. Китайские экологи уже сейчас называют Сунгари мертвой рекой [2].

Воздействие китайской стороны на водную систему Амура многократно больше, чем российской. Так при оценке влияния реки Сунгари на качество воды среднего и нижнего Амура в зимний период установлено, что после впадения Сунгари в амурских водах ниже по течению содержание растворенного кислорода сразу же снижалось в два раза, а общая минерализация возрастала в 2-4 раза. Кроме того, наличие нитритов увеличивается в 15-50 раз, нитратов - 2-4 раза, аммонийного азота – в 5-12 раз, фосфатов в 3-6 раз, хлоридов и сульфатов – в 6 раз, нефтепродуктов в 10 раз. [1, 2].

От соотношения стока рек Сунгари и Амура в месте их слияния во многом зависит экологическое и гидрологическое состояние нижнего течения реки Амур. В предлагаемой работе планируется на основании имеющихся рядов наблюдений проанализировать многолетние изменения стока Сунгари, а также оценить изменения вклада сунгарийского стока в общем стоке Амура в сезонном и многолетнем режиме.

Исследования многолетних гидрологических колебаний в бассейнах Амура и Сунгари проводились на основе данных по стокам р. Амур в створе с. Помпеевка (1898–1962 гг.), г. Хабаровска (1896–2009 гг.), р. Сунгари в створах городов Харбин (1898–2000 гг.) и Цзямусы (1953–2000 гг.). Харбин, расположен на расстоянии 707 км от устья реки; площадь бассейна Сунгари здесь 390500 км²; г. Цзямусы, расположен ниже г. Харбина на расстоянии 270 км от устья р. Сунгари; площадь бассейна - 528300 км².

За весь период наблюдений на интегральной кривой годового стока р. Сунгари у г. Харбина (рис.), можно выделить один законченный столетний цикл со средним стоком, равным среднему многолетнему – с 1898 по 1998 г. На фоне этого продолжительного цикла на кривой колебаний годового стока можно также видеть более короткие маловодные и многоводные периоды. Пониженная водность Сунгари наблюдалась в 1898–1927, 1974–1980 гг., повышенная – в 1928–1940, 1952–1967 и 1980–1998 гг. В отдельные периоды (1941–1951, 1968–1973 гг.) годовой сток имел короткие (1–3 года) периоды пониженной и повышенной водности.

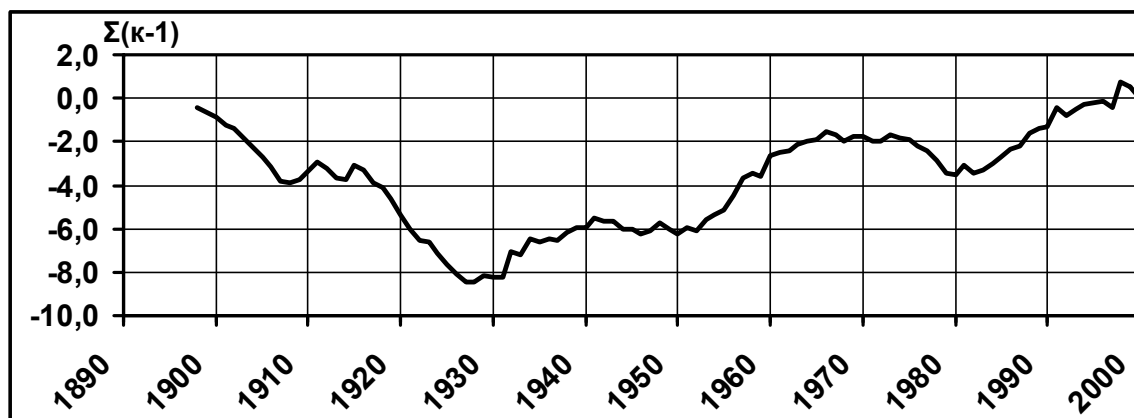


Рисунок. Разностная интегральная кривая модульных коэффициентов $\Sigma(\kappa-1)$ стока р. Сунгари у г. Харбин за 1898–2000 гг.

В последнее время участились аварии и связанные с ними неконтролируемые сбросы вредных и ядовитых химических веществ на предприятиях Китая, расположенных в бассейне р. Сунгари. Это обострило и без того довольно сложную экологическую обстановку как здесь, так и на участке Амура, расположенном ниже места впадения р. Сунгари. В связи с этим представляет интерес оценить приток сунгарийской водной массы в р. Амур, чтобы в первом приближении определить потенциальную разбавляющую способность амурских вод по отношению к стоку р. Сунгари.

Ближайший гидрологический створ на р. Амур перед впадением в него р. Сунгари расположен у с. Помпеевка, примерно в 200 км выше по Амуру от места его слияния с р. Сунгари. Наблюдения проводились здесь с 1898 по 1962 г., а затем были прекращены [4].

За период наблюдений (1953–1962 гг.) среднегодовой сток р. Сунгари–Цзямусы составляет около половины (47%) от стока р. Амур–Помпеевка, изменяясь от 74% (многоводные годы на р. Сунгари) до 28% (маловодные годы). В многоводные годы на р. Сунгари происходит разбавление ее водной массы примерно в 2–2,5 раза в месте впадения в р. Амур. В маловодные годы

разбавление сунгарийских вод при их встрече с амурской водой может происходить в четырехкратном соотношении.

Ниже по течению Амура, у Хабаровска, после впадения другого крупного амурского правобережного притока р. Усури среднегоголетний сток Сунгари составляет в среднем 25%, изменяясь в разные годы от 16 до 41%. Здесь при хорошем перемешивании среднегодовые показатели разбавления вод р. Сунгари примерно в два раза выше, чем в ее устьевой зоне.

Вышеприведенные среднегодовые соотношения стока р. Сунгари в р. Амур могут также существенно изменяться из-за неравномерного внутригодового распределения их водности.

Среднегодовой показатель доли сунгарийской воды в ее устьевой зоне при встрече с амурской можно оценить по среднемесячным величинам соотношения стока Сунгари–Цзямусы ($Q_{цз}$) и Амур–Помпеевка ($Q_{пом}$), а на нижнем Амуре – по соотношению стока Сунгари–Цзямусы ($Q_{цз}$) со стоком р. Амур у Хабаровска ($Q_{хб}$) (табл.).

Таблица

Месячные величины соотношения стока р. Сунгари у г.Цзямусы ($Q_{цз}$) к стоку р. Амур у с. Помпеевка ($Q_{пом}$) и р. Амур у г.Хабаровска ($Q_{хб}$) за разные периоды, %

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
$Q_{цз}/Q_{пом}$ (1953-1962 гг.)													
Среднее	157	256	344	209	26	26	37	53	48	54	145	102	47
Максимум	252	391	518	439	41	37	65	104	93	83	253	147	74
Минимум	70	108	150	69	15	16	14	16	19	33	68	70	28
$Q_{цз}/Q_{хб}$ (1953-2000 гг.)													
Среднее	45	53	62	43	17	17	23	27	25	25	37	49	25
Максимум	81	91	102	72	26	26	38	55	45	44	72	98	41
Минимум	19	16	24	25	10	11	11	11	12	15	21	25	18

Для средних величин водного режима в ноябре и с января по апрель сток р. Сунгари в 1,5–3,4 раза превышает сток Амура возле с. Помпеевка. Максимальные величины этого превышения наблюдаются в феврале–марте (обычно это период зимней межени на Амуре). В этот период многие малые и средние водотоки северной части бассейна Амура нередко перемерзает до дна, сток бывает минимальным. Весеннее половодье (май–июнь) на р. Сунгари ввиду незначительного снежного покрова и нередких весенних засух очень слабо выражено. Поэтому в этот период отмечается наиболее сильное почти четырехкратное разбавление сунгарийских вод амурскими. С июля по октябрь сток р. Сунгари (в долях от амурского) близок к его среднегодовым значениям – 37–54%, происходит двух и трехкратное разбавление сунгарийской воды. В декабре сток р. Сунгари и сток р. Амур у с. Помпеевка примерно одинаковы. Для устьевой части р. Сунгари данные выводы, особенно для зимнего периода, требуют уточнений, так как они сделаны на основании наблюдений в 1953–1962 гг.

В нижнем течении Амура, в створе Хабаровска после впадения р. Усури, происходит дальнейшее разбавление воды р. Сунгари. Здесь доля ее воды в стоке Амура с ноября по апрель в среднем составляет 37–62%, с июля по октябрь – 23–27, в мае–июне – 17%. В конкретные годы максимальные и минимальные величины $Q_{цз}/Q_{пом}$ и $Q_{цз}/Q_{хб}$ отличаются от приведенных средних соотношений в 2–3 раза (табл.).

Выводы.

1. В водном режиме р. Сунгари отмечаются отдельные периоды пониженного (1898–1927, 1974–1980) и повышенного (1928–1940, 1952–1967, 1980–1998 гг.) стока. В 1941–1951 и 1968–1973 гг. годовой сток чередуется короткими, 1–3-летними, периодами пониженной и повышенной

водности.

2. В приустьевой зоне р. Сунгари доля ее среднегодового стока от стока Амура составляет 47%, в многоводные годы увеличиваясь до 74%, а в маловодные понижаясь до 28%. На нижнем Амуре у Хабаровска среднегодовая доля сунгарийской воды снижается до 25% по сравнению с амурской, изменяясь в зависимости от водности года в пределах 16–41%.

3. В ноябре и с января по апрель сток р. Сунгари в 1,5–3 раза превышает сток Амура в месте их слияния; весной доля вод р. Сунгари понижается до 26% по сравнению с амурскими; с июля по октябрь она близка к среднегодовым значениям водности Амура – 37–54%. На нижнем Амуре у Хабаровска доля вод р. Сунгари в стоке Амура в холодный период года с декабря по апрель составляет 37–62%, с июля по октябрь – 23–28%, в мае–июне – 16–17%.

Литература

1. Воронов Б.А. Экокризис в бассейне Амура // Сибирь и Восток России. 2005. №1-2(14-15). С.60-70.
2. Махинов А.Н. Россия и Китай на Амуре – проблема экологии // Сибирь и Восток России. 2002. №1-2(9). С.68-73.
3. Протасьев М.С. Река Сунгари. М.: Гидрометеиздат, 1942. 140 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Л.: Гидрометеиздат, 1966–1972. Вып.1. Верхний и Средний Амур. 1966. 782 с. Вып. 2. Нижний Амур. 1970. 592 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАСЕЙНОВОГО ИСПАРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Попова Н.Ю.

Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Владивосток, camelopardalis@mail.ru

DETERMINATION OF RIVER BASIN EVAPORATION ON THE BASIS OF RUNOFF DYNAMIC MODELLING IN THE SOUTH OF THE RUSSIAN FAR EAST

Popova N.Y.

Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute, Vladivostok, camelopardalis@mail.ru

Осуществлен расчет суммарного испарения с использованием динамической модели стокоформирования (модели паводочного цикла). Проведено сравнение моделированных величин с расчетными значениями и с данными режимных наблюдений за испарением на Приморской воднобалансовой станции.

The evaporation was estimated using by the runoff generation dynamic model (FC-model). The comparison of modeling values of evaporation with calculated and observation data was performed on the territory of the Primorskaya water balance station.

При исследованиях испарения как элемента водного баланса речных водосборов основное внимание уделяется оценке суммарного количества испарившейся влаги с рассматриваемого речного бассейна за расчетный интервал времени. Однако речной бассейн включает разнородные участки, характер поверхности которых изменяется по территории и во времени. Поэтому испарение с речного бассейна складывается из испарения с поверхности почвы, воды, болот, снега (зимой), осадков, задержанных растительностью, и транспирации. Роль и значение отдельных видов испарения зависят от характеристик водосбора: озерности, заболоченности, почвенного и растительного покрова и времени года. Испарение с речных водосборов на протяжении более или менее продолжительного периода, включающее в качестве составных частей почти все из перечисленных видов испарения, называют суммарным испарением, в котором сочетаются доли влаги, испарившейся разными путями. В связи с этим, применительно к речному водосбору, оценка испарения с его поверхности является достаточно сложной задачей. Трудности его оценивания связаны не только с большим количеством различных составляющих испарения, но и с тем, что они сложно взаимодействуют друг с другом в пространственном и внутригодовом аспекте.

В настоящей работе для оценки бассейнового испарения использована нелинейная воднобалансовая модель паводочного цикла малого речного бассейна, которая имитирует динамику водного баланса и составляющих влагозапаса бассейна с преобладанием дождевого питания в теплый период [2]. Широкие испытания модели показали, что она обладает следующими свойствами: адекватность условиям стокоформирования рек с преобладанием дождевых паводков в режиме в теплый период; простота структуры и минимальная требовательность к исходным данным – возможна работа только с ежедневными данными по осадкам и стоку; малое количество параметров и возможность независимой оценки наиболее значимых из них путем обработки архивных рядов

наблюдений; устойчивость калибровочной процедуры и сохранение при этом физического смысла и разумных значений параметров. Все это позволяет определять путем калибровки модели не только значения параметров, но и входных переменных, в первую очередь величины испарения с бассейна. Таким образом, применение модели паводочного цикла позволяет получить существенно новый массив информации об испарении на основе стандартных гидрологических данных.

С помощью данной модели было рассчитано испарение для шести речных бассейнов Приморского края. Выбор бассейнов и расчетного периода определялись возможностью сравнения полученных модельных данных с фактическими наблюдениями. Для исследования были отобраны бассейны рек Комаровка и Раковка Приморской воднобалансовой станции (ПВБС), проводящей наблюдения над испарением с поверхности почвы и воды. Период исследований был определен с 1973 по 1987 годы, что обусловлено периодом действия наиболее точного из испарительных установок воднобалансовой станции – гидравлического испарителя малой модели ГР 17. Из почвенных весовых испарителей модели ГГИ-500-50 с рядом наблюдений с 1973 по 1987 гг. были отобраны всего 2 испарителя в бассейне р. Раковка и один – в бассейне р. Комаровка.

Проведенное исследование показало, что модель при расчете испарения с бассейна р. Раковка за период июнь-сентябрь дает занижение величины всего на 3,7% по сравнению с данными, полученными на гидравлическом испарителе (таблица 1). Показания гидравлических испарителей в научной литературе принято считать эталонными [3]. При уменьшении периода до двух месяцев занижение составляет 6-9%. В крайние месяцы сезона модель наоборот завышает испарение на 22-26% по сравнению с наблюдаемыми данными на ГР-17. Показательным является период августа, когда модельное испарение практически равно фактическому (отличие 0,2%). По сравнению с показаниями весовых испарителей модельное испарение дает в большинстве завышенные значения, но для сезона завышение составляет всего 2,4%. Изменчивость во времени, выраженная через коэффициент вариации сезонной суммы моделированного испарения, составляет 0,18-0,24.

Фактические суммы испарения по почвенным весовым испарителям отличаются от показаний гидравлического испарителя в сторону занижения (в среднем на 9%), что подтверждается многократными исследованиями (Будыко М.И., Будаговский А.И., Виноградов В.В., Зубенок Л.И, Константинов А.Р., Кузьмин П.П., Федоров С.Ф., Мезенцев В.С. и др.) [1].

Таблица 1

Соотношение между наблюдаемыми значениями испарения по гидравлическому испарителю (E_{Γ}), почвенным (E_{Π}), водному ($E_{\text{в}}$) в бассейне р. Раковка, расчетными значениями испаряемости ($E_{\text{р}}$) и моделированными значениями испарения ($E_{\text{м}}$) за период 1973-1987 гг.

Период	E_{Γ} , мм	E_{Π} , мм	$E_{\text{м}}$, мм	$E_{\text{в}}$, мм	$E_{\text{р}}$, мм	Отклонение ΔE , %	
						$\frac{(E_{\Gamma} - E_{\text{м}})}{E_{\Gamma}}$	$\frac{(E_{\Pi} - E_{\text{м}})}{E_{\Pi}}$
июнь	90.1	81.0	113.8	80.5	78.1	-26.3	-40.5
июль	104.4	97.3	94.6	97.5	87.9	9.4	2.8
август	105.1	87.4	105.3	88.0	80.0	-0.2	-20.6
сентябрь	73.1	70.0	89.5	64.7	61.5	-22.4	-27.8
июнь-июль	194.5	173.7	177.6	178.1	166.0	8.7	-2.2
август-сентябрь	174.1	157.4	163.5	152.7	141.5	6.1	-3.9
июнь-сентябрь	351.5	330.6	338.5	330.8	307.5	3.7	-2.4

В результате анализа испарения, измеренного водными испарителями ГГИ-3000, было установлено, что его значения практически не отличаются от показаний почвенных испарителей.

В результате анализа испарения, измеренного водными испарителями ГГИ-3000, было установлено, что его значения практически не отличаются от показаний почвенных испарителей. Изменчивость фактического сезонного испарения с водной поверхности весьма незначительна: коэффициент вариации изменяется от 0.13 до 0.16. Расчет испаряемости был произведен по формуле, предложенной Горчаковым А.М. [3] для поста Тимирязевский бассейна р. Раковка. Расчетное значение испаряемости в среднем на 8% ниже, чем испарение, наблюдаемое на водном испарителе.

В связи с тем, что в бассейне р. Комаровка не производились наблюдения на гидравлическом испарителе, то сравнение модельных значений проводилось с показаниями почвенных испарителей. Так же как и для бассейна р. Раковка здесь в течение всех периодов, кроме июля, происходит завышение модельного испарения. В среднем за период июнь-сентябрь моделированное испаре-

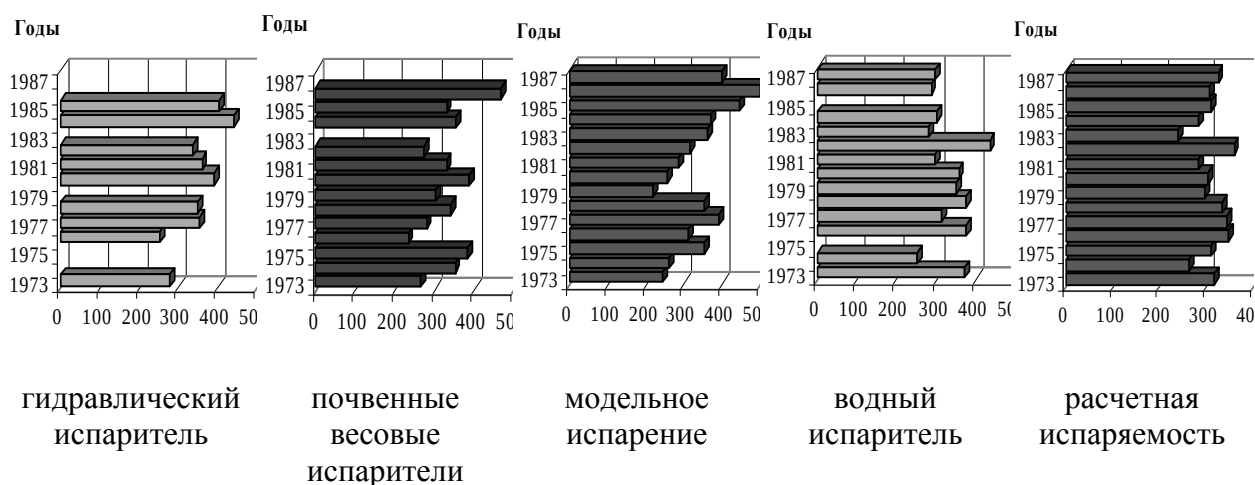


Рисунок 1 Осредненные величины испарения за период июнь-сентябрь, полученные с помощью различных методов

Помимо метода испарителей и лизиметров, с которым производилось сравнение моделированных результатов, для оценки испарения с речного бассейна в настоящее время используются методы водного баланса, теплового баланса, турбулентной диффузии, комплексный метод и расчеты по эмпирическим формулам. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, анализ которых приводится во многих литературных источниках, посвященных исследованию испарения.

Для дальнейшей апробации метода оценки бассейнового испарения на основе динамического моделирования стока планируется провести расчеты испарения для исследуемой территории комплексным методом М.И. Будыко, рекомендованным к использованию Росгидрометом, методом Пенмана-Монтейса и произвести более детальный анализ полученных материалов.

Литература

1. Вершинин А.П., Виноградов А.П., Новикова М.И. Систематические погрешности основных методов определения суммарного испарения // Труды ГГИ. 1980. Вып.268. С. 106-115.
2. Гарцман Б.И.. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 241 с.
3. Горчаков А.М. Исследование элементов водного баланса и его структуры в Приморье. - Л.: Гидрометиздат, 1983. 182 с.

МЕТОД КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ В ИЗУЧЕНИИ ЛАНДШАФТОВ ДОЛИНЫ НИЖНЕЙ ТУНГУСКИ

Л.Н. Пурдик, Д.В. Золотов, С.Н. Балыкин
ИВЭП СО РАН, Барнаул, pln@iwer.asu.ru

THE KEY SITES METHOD FOR STUDYING LANDSCAPES IN THE NIZHNYAY TUNGUS VALLEY

Purdik L.N., Zolotov S.N., Balykin S.N.
IWER SB RAS, Barnaul

В связи с намечаемым строительством крупнейшей ГЭС в долине Ниж. Тунгуски ландшафты зоны затопления и прилегающие к ним, а также их прогнозируемые изменения, изучались методом ключевых участков на четырех полигонах-трансектах. Выявлены закономерности ландшафтной структуры и предполагаемые тренды трансформаций геосистем.

In connection of large hydropower station construction in the Nizhnyay Tungus valley, the studying of landscapes and adjacent territories situated in the flooded area including their predictable transformation was made by the use of the key sites method at 4 transects- testing areas. Landscape structure peculiarities and trends in expected geosystems transformation were revealed.

Методологический подход использования ключевых участков широко используется в комплексных ландшафтных исследованиях для изучения ландшафтной структуры какой-либо территории на уровне наиболее дробных подразделений геосистем. Особенно оптимально его использование для изучения разновременных природных режимов (функционирования и динамики) природных комплексов, прогнозирования их изменений в спонтанных условиях и под влиянием антропогенных воздействий. Значение данного подхода усиливается при распространении (экстраполяции) выявленных на ключевых участках закономерностей на региональный уровень ландшафтной структуры.

Нами метод ключевых участков был применен в бассейне Нижней Тунгуски для изучения особенностей и закономерностей структуры геосистем, выявления тенденций их предполагаемых изменений и трансформации в результате намечаемого создания здесь крупного водохранилища.

По долине Н. Тунгуски были выбраны 4 ключевых участка, относительно равномерно размещенных друг от друга и отстоящие от устья реки на следующих расстояниях: участок Б. Порог – 120 км, Дэттыктэ – 400, Учами – 590 и Нидым – 840 км. Каждый из них в форме полигона-трансекта (длина 12-17 км, ширина 3 км) пересекает долину реки вкрест простираения, от ближайшего водораздела левобережья до такового правобережья. На данные полигоны были составлены крупномасштабные (1: 50 000) ландшафтные карты с отображением на них типов урочищ и ландшафтные профили.

При изучении ландшафтного строения и составлении карт на полигоны-трансекты использовались топокарты м-ба 1: 200 000 и 1: 50 000, ландшафтная карта, составленная на территорию долины Н. Тунгуски (м-б 1: 500 000, составитель В.И. Булатов), геологическая карта м-ба 1: 200 000, крупномасштабные геологические разрезы, литературные источники и данные полевых и камеральных исследований почвоведов-геохимиков.

На каждый полигон-трансект составлена текстовая легенда – перечень типов урочищ, и сводная расширенная матричная легенда, в которой дается развернутая характеристика всем ландшафтными подразделениям, детализируются характеристики основных природных компонентов.

Ландшафтные исследования долины Н. Тунгуски и придолинной территории позволили выявить некоторые общие закономерности ландшафтно-структурного устройства приречной («котловинной») части бассейна по ключевым участкам:

1. Геоморфологическая однотипность строения мезорельефа на всем изученном протяжении долины реки, которая проявляется в следующем:

- метрически близкие высотные диапазоны от уреза воды реки до ближних водоразделов;
- наличие останцовых структурно-денудационных образований верхних уровней в виде «мягких» форм – выпуклых округлых и гребневидных поверхностей;
- крутые и покатые склоны высокого и среднего уровня;
- покатые и пологие, до уплощенных, поверхности низких уровней (низкие террасы);
- общий, однотипный характер строения геоморфологических профилей.

2. Геологическая однотипность слагающих территорию пород – господство изверженных траппов – в основном базальтов различного состава на верхних гипсометрических уровнях и озерно-ледниковых отложений – на средних и нижних уровнях.

3. Наличие проявления высотной поясности почвенно-растительного покрова. На наиболее высоких вершинах распространены гольцы и горные тундры; ниже они замещаются узким ерниковым поясом, который ниже по склону переходит в разреженные преимущественно лиственные леса. Средние и нижние гипсометрические уровни – крутые, покатые и пологие склоны – покрыты настоящей таежной растительностью из лиственницы, березы, ели, реже кедра.

4. На наиболее низких уровнях – склоновых эрозионных формах и пойме основной реки в растительности увеличивается доля закустаренного мелколесья.

5. Понижения в микрорельефе с образованием болот и озер встречаются не только на низких уровнях мезорельефа, но и на самых высоких – на уплощенных вершинных поверхностях.

В связи с созданием водохранилища прогнозируемые изменения природных комплексов рассмотрены пространственно по двум территориальным зонам:

- трансформации в затопляемой водохранилищем части долины – преобразование наземных ландшафтов в подводные;
- изменения в наземных ландшафтах, которые целесообразно рассматривать территориально по двум зонам: ближней к водохранилищу («прибрежной») и отдаленной. Первую, ближнюю, зону (территорию) можно рассматривать в пределах от уреза воды водохранилища до ближайших водоразделов, соответственно, на левобережье и правобережье данной низкогорно-среднегорной территории бассейна Н.Тунгуски. Ширина этих зон по обеим сторонам зеркала водохранилища колеблется в различных местах долины от 2-3 до 7-10 км.

Граница прибрежной и отдаленной территорий весьма условна, размыта, так как влияние водохранилища, проявляющееся через свободный воздухообмен приземных воздушных масс между зеркалом водохранилища и окружающими ближними и дальними ландшафтами, постепенно затухает. Границу этих зон условно считаем по первому от водохранилища водоразделу. Прирусловая часть долины реки геоморфологически является своеобразной котловинной формой макромезорельефа, открытой с двух сторон – истока и устья. Эффект «котловинности» проявляется в относительном застаивании воздушных масс в долине реки в некоторые периоды годового режима. Особенно это характерно при температурных инверсиях атмосферы в холодный период года.

Застаивание воздушных масс, в свою очередь, обуславливает насыщение их влагой от зеркала воды. Таким образом, показатели влагонасыщения воздушных масс здесь многократно будут превышать таковые параметры приземного воздуха на отдаленных территориях бассейна. В теплое

время года процесс будет сопровождаться некоторым увеличением годового количества атмосферных осадков, а в холодное – образованием туманов.

Увеличение влажности воздушных масс в ближней зоне и осадков приведет к увеличению влагосодержания почв, сноса материала (геохимического стока) в водохранилище. Здесь, в прибрежной зоне, можно ожидать некоторое сглаживание температурных контрастов в разрезе их суточных, сезонных и годовых проявлений. Возможно некоторое общее повышение среднегодовых температур, т.е. некоторый обогревающий эффект, который при воздействии на ландшафты с течением времени проявится в увеличении глубины сезонного оттаивания многолетнемерзлых пород, увеличении процессов солифлюкции, сноса материала в ложе водохранилища, что в свою очередь приведет к определенному постепенному изменению химического состава и минерализации воды водохранилища...

Согласно теории учения о геосистемах, в эволюционном режиме развития серийные геосистемы характеризуются тенденцией перехода в устойчивое состояние, т.е. их эволюционно-динамические тренды направлены в сторону коренных состояний. В данном случае, вмешательство человека в режим природных ландшафтов приведет к обратному эффекту их эволюции – топогеосистемы ближней зоны (преимущественно ближайšie к водоему – урочища надпойменных террас и нижних придолинных пологих и покатых склонов) получают тенденцию перехода от устойчивых состояний (коренного, полукоренного) – к неустойчивому (серийному). В этом отношении можно отметить, что проявление данной структурно-динамической тенденции – процесс очень длительный во времени – многие десятки и более лет. На ближайшее же время, характеризующее первыми десятилетиями, при наполнении водохранилища наиболее существенные трансформации топогеосистем будут происходить в зоне взаимодействия водной массы с затопленными (бывшими наземными) ландшафтами.

В более отдаленной зоне бассейна, за пределами первой водораздельной линии, процессы влияния водохранилища будут проявляться несущественно, без значительных изменений геосистем.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ РОССИИ

Семёнов В.А., ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», Обнинск, semven@meteo.ru

REGIONAL FEATURES OF CLIMATE-RELATED CHANGES IN FREQUENCY OF EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS ON RIVERS OF RUSSIA

Semyonov V. A., RIHMI-WDC, Obninsk, semven@meteo.ru

Установлено, что за первые годы XXI столетия по сравнению с последним десятилетием XX века наибольшее увеличение повторяемости и продолжительности опасных наводнений в половодье и при паводках произошло в результате увеличения повторяемости и количества осадков при снегопадах и ливнях, а рост экстремальных маловодий обусловлен изменениями внутригодового распределения стока рек.

It has been found that in the first years of the 21st century compared with the last decade of the 20th century the frequency and duration of hazardous floods during high water periods increased most significantly due to the increased frequency and amount of precipitation resulted from hazardous snowfalls and rainfalls and the increase in extreme low water periods is caused by changes in hydrological regime of rivers.

Современные изменения климата на территории России существенно влияют на гидрологический режим рек, в том числе, в некоторых районах способствуют увеличению повторяемости и продолжительности высоких и катастрофических наводнений, паводков, а также экстремальных маловодий, обуславливающих рост экономического ущерба, социальных и экологических проблем [3]. Имеющаяся в ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» база данных многолетних наблюдений за максимальными и минимальными расходами воды рек, а также ежегодные сведения об опасных метеорологических явлениях, наводнениях, паводках, селях и маловодных периодах на реках России с зафиксированным ущербом от них с 1991 по 2009 год, послужили информационной основой для подготовки данного доклада.

Из анализа изменений максимальных расходов воды следует, что с начала прошлого столетия до середины 70-х – начала 80-х годов экстремальные максимумы стока рек на большей части территории России характеризовались уменьшением их величин или отсутствием значимых изменений, а в последние 20-30 лет на большинстве рек России направленность изменений максимального стока стала положительной [3]. Это согласуется с тем, что по исследованиям климатологов в последние десятилетия произошло увеличение количества атмосферных осадков за холодный период и, как следствие, запасов воды в снежном покрове в высоких и средних широтах территории России [1,4]. Но для некоторых районов ЕТР и Сибири прослеживается несоответствие между изменениями экстремальных гидрологических явлений и изменениями характеристик снежного покрова. Так, по данным [1,4] на большей части ЕТР в последние 20-30 лет (до 2006 года) происходило увеличение высоты снежного покрова к началу весеннего снеготаяния, а на юго-западной части территории Западной Сибири её уменьшение. Вместе с тем для рек ЕТР, кроме Предуралья, в этот период не характерно увеличение максимальных расходов воды и увеличение

повторяемости высоких наводнений, а для рек юго-западной части территории Западной Сибири, наоборот, характерно существенное увеличение повторяемости высоких наводнений и паводков [3]. Поэтому с точки зрения формирования экстремальных расходов воды, опасных наводнений, а также маловодий представляет интерес выяснение роли не только наибольшей высоты снега к началу весеннего снеготаяния, но и изменения температуры воздуха в зимний и весенний периоды, повторяемости оттепелей, обильных снегопадов и ливней, как факторов, предшествующих опасным наводнениям и паводкам.

По исследованиям [1], на всей территории России, кроме крайнего Северо-Востока, в период 1977-2006 гг. происходило повышение температуры воздуха за зимний период, а в весенний период отмечен её рост повсеместно, кроме средней и северной части Западной Сибири. Это обусловило более раннее начало снеготаяния, увеличение его продолжительности и, как следствие, более продолжительное половодье и уменьшение вероятности высоких максимумов и наводнений на реках ЕТР.

В горных районах Кавказа, Урала, юга Сибири (Алтай, Саяны), Дальнего Востока, где высота снежного покрова большая, а более интенсивное весеннее снеготаяние происходит одновременно в нескольких высотных зонах, происходило увеличение дружности половодья, его высоты с сокращением продолжительности. Увеличившееся в этот период выпадение ливневых осадков весной тоже способствует интенсивности подъёма уровня воды и в результате совокупности перечисленных факторов происходит увеличение повторяемости высоких опасных наводнений в горах и предгорьях. Особенно это характерно для рек, формирующих сток в нескольких высотных зонах.

Запаздывание весеннего потепления в средних и высоких широтах задерживает таяние и разрушение льда, а более ранний подъём уровня воды половодья на реках, текущих с гор юга Сибири на север, обуславливает повышение вероятности опасных наводнений от заторов льда на больших сибирских реках, что тоже характерно последним годам.

Ещё одним из факторов, способствующих формированию высоких уровней воды и опасности наводнений в половодье, является интенсивность выпадения обильных зимних осадков, которые часто сопровождаются оттепелями и увеличением скорости ветра, метелями, не редко наносят экономический ущерб, поэтому сведения о таких опасных явлениях учитываются. В условиях редкой сети измерения характеристик снежного покрова, особенно в горах, сведения о них могут служить важной дополнительной информацией об изменениях условий формирования опасных наводнений. Исследованиями В.Н. Голубева и др. [2] установлено, что обильные снегопады с метелями и оттепелями в последние годы с большим территориальным охватом были наиболее часто на юге Западной Сибири, а также на Среднем Урале, Дальневосточном Приморье, Камчатке. При повышенном ветровом воздействии увеличивается плотность снега, образуются ветровые корки, которые подразделяют снежную толщу на горизонты разной плотности. Всё это приводит к уменьшению средней высоты снежного покрова без уменьшения запасов воды в нём, способствует ускорению водоотдачи при снеготаянии.

Сравнение суммарного количества осадков в виде обильных снегопадов в течение 2000-2008 гг. по отношению к 1991-1999 гг. и испытания на наличие линейного тренда их изменения показали, что наибольшее увеличение опасных снегопадов произошло на территории Сибирского ФО, где в бассейне Оби суммарное количество осадков за годы XXI в. увеличилось в несколько раз. На территории Дальневосточного ФО суммарное количество осадков за периоды опасных снегопадов во вторую половину рассматриваемого периода увеличилось по сравнению с первой половиной в 1,8 раз, а в Северо-Кавказском ФО – в 1,5 раза. На территории этих трёх округов изменения годовых сумм осадков за периоды опасных снегопадов характеризуются положительными трендами. На ЕТР положительные тренды изменений суммарного количества осадков

за периоды опасных снегопадов с начала к концу рассматриваемого периода характерны для Северо-Западного и Приволжского ФО, а для Центрального и Уральского ФО характерны слабые положительные тенденции.

Сравнение повторяемости и количества осадков за периоды опасных снегопадов с повторяемостью наводнений во время половодья и их продолжительностью на реках свидетельствует, в основном, об их совпадении, особенно в последнем десятилетии рассматриваемого периода. Наиболее выражено это на реках Западной Сибири, Урала, Камчатки, в меньшей степени на реках ЕТР, где оно наблюдается в некоторых, преимущественно северных районах (рр. Северная Двина, Сухона, бассейна Камы). В отдельные годы опасные снегопады были причиной наводнений в период половодья на реках Северного Кавказа, где наибольший рост повторяемости опасных наводнений происходит при дождевых паводках и при селях, увеличение повторяемости которых обычно приходится тоже на годы с обильными снегопадами.

На реках Дальнего Востока с муссонным климатом, «океаническим» типом водного режима рек, характеризующимся дождевым половодьем в летнее время и паводками в весенние и летне-осенние периоды, увеличение количества осадков при опасных снегопадах, на фоне наблюдающегося уменьшения летних осадков, способствует увеличению снеговой составляющей в формировании максимального паводочного стока в весенние месяцы. В бассейне Амура (особенно в Приморье), Сахалина увеличилась повторяемость опасных дождевых паводков в летнее время. Увеличение повторяемости опасных дождевых паводков характерно также для многих других районов территории России. Наибольшее увеличение их повторяемости и суммарной продолжительности с учённым ущербом в последнее десятилетие произошло на малых и средних реках бассейнов Камы, Верхней Оби, Тобола, Лены, Колымы. Увеличился ущерб от дождевых паводков при ливнях на территории средних широт ЕТР. В то же время на реках Забайкалья, Камчатки в последние годы наблюдалось уменьшение повторяемости и продолжительности опасных дождевых паводков.

К наиболее отрицательным гидрологическим последствиям современных изменений климата относятся также увеличения повторяемости маловодий с зафиксированным ущербом на реках некоторых, преимущественно предгорных, районов территории России: Верхняя Обь, Забайкалье, Предуралье (бассейн Камы), бассейны Амура, Колымы. Суммарно увеличение с начала текущего столетия по сравнению с последним десятилетием прошлого века повторяемости маловодий на рассматриваемых реках России произошло более чем в 2 раза, а по росту продолжительности экстремально низкой межени в последние годы лидируют субъекты федерации на территории верхней части бассейна Оби [3]. Это обусловлено уменьшением количества осадков в горах за зимнее время, сокращением продолжительности его таяния и, как следствие, уменьшением продолжительности половодья, увеличением продолжительности летней межени, вероятности экстремально низкого стока.

Выводы. При современных изменениях климата, в условиях преобладания зимнего и весеннего потепления с увеличением осадков, сильных снегопадов, ливней, существенно изменились гидрометеорологические условия формирования экстремального стока рек, особенно в горных и предгорных районах России, где происходило увеличение повторяемости опасных наводнений, паводков и селей, а в летнюю межень участились экстремальные маловодия. Это обуславливает актуальность фундаментальных и региональных гидрологических исследований, уточнения методик расчётов и прогнозов их возникновения с учётом изменений доли составляющих экстремального стока, возможных климатических изменений в будущем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-05-13607-офи-ц), РФФИ и Правительства Республики Алтай (проект № 09-05-98009).

Литература

1. Булыгина О.Н., Коришанова Н.Н., Разуваев В.Н. Изменения характеристик снежного покрова на территории России в последние десятилетия. – Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», вып.173. – Обнинск, 2007. – С.54-62.
2. Голубев В.Н., Петрушина М.Н., Фролов Д.М. Закономерности формирования стратиграфии снежного покрова // Снег и лёд. 2010. Вып. 1(109). – С.58- 72.
3. Семенов В.А. Климатически обусловленные изменения опасных наводнений, паводков и маловодий в крупных речных бассейнах России // Сборник научных трудов Всероссийской конференции «Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения». – Барнаул: Агентство рекламных технологий, 2009. – С. 194-203.
4. Шмакин А.Б. Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия // Снег и лёд. 2010. Вып. 1(109). – С.43-57.

ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА Р. ЧАЯ)

Харанжевская Ю.А.

Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа РАСХН, Томск, kharan@yandex.ru

WATER REGIME AND GEOECOLOGICAL CONDITION OF BOGGY TERRITORIES IN A SOUTH-TAIGA SUBZONE OF WESTERN SIBERIA (FOR AN EXAMPLE OF RIVER CHAYA BASIN)

Kharanzhevskaya J.A.

Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RASXN, Tomsk, kharan@yandex.ru

В работе проведен анализ условий формирования стока р. Чая, выполнена оценка геоэкологического состояния заболоченной территории. Отмечено, что водный режим и геоэкологическое состояние бассейна определяются не только общей заболоченностью водосбора, но также распределением комплексных грядово-мочажинно-озерковых и топяных биогеоценозов.

In work the analysis of formation flow conditions of river Chaya is lead, the estimation of a geoecological condition of boggy territory is executed. It is noted, that the water regime and a geoecological condition of basin are defined not only the general area of bogs in basin, but also distribution complex ridge-hollow and swamp biogeocenoses.

Таяжная зона Западной Сибири характеризуется широким распространением болотных ландшафтов, что во многом определяет условия формирования подземного стока и специфику геоэкологической обстановки в регионе. Одной из проблем региона является то, что распространение болот существенно ограничивает хозяйственную деятельность и ухудшает условия жизни населения. При этом болота, аккумулируя большие объемы атмосферной влаги, существенно влияют на геоэкологическое состояние, гидрогеологический, гидрологический и водный режим исследуемой территории. В настоящее время водный и гидрохимический сток заболоченных территорий и условия его формирования изучены не достаточно полно для принятия эффективных управленческих решений в части использования и охраны водных ресурсов, не разработана теория и методология оценки и прогноза состояния болотных экосистем в условиях климатических изменений, наблюдаемых в Северной Евразии и в Западной Сибири, в частности, что определяет актуальность исследований в данном направлении. В рассматриваемой работе данная проблема исследуется на примере бассейна р. Чая – левобережного притока р. Оби, который представляет собой характерный участок южно-таежной подзоны Западной Сибири. Указанная территория крайне мало населена и слабо освоена в хозяйственном отношении, отличается высокой заболоченностью и широким распространением верховых болот.

Методика исследований включала пространственно-временную оценку водного, ионного суммарного и подземного стока, определение структуры и площади болотных ландшафтов, а также оценку геоэкологического состояния бассейна р. Чая.

По результатам исследований отмечено, что главной закономерностью пространственного изменения суммарного и подземного стока рек является его увеличение с юго-востока на северо-запад (рис. 1, 2).

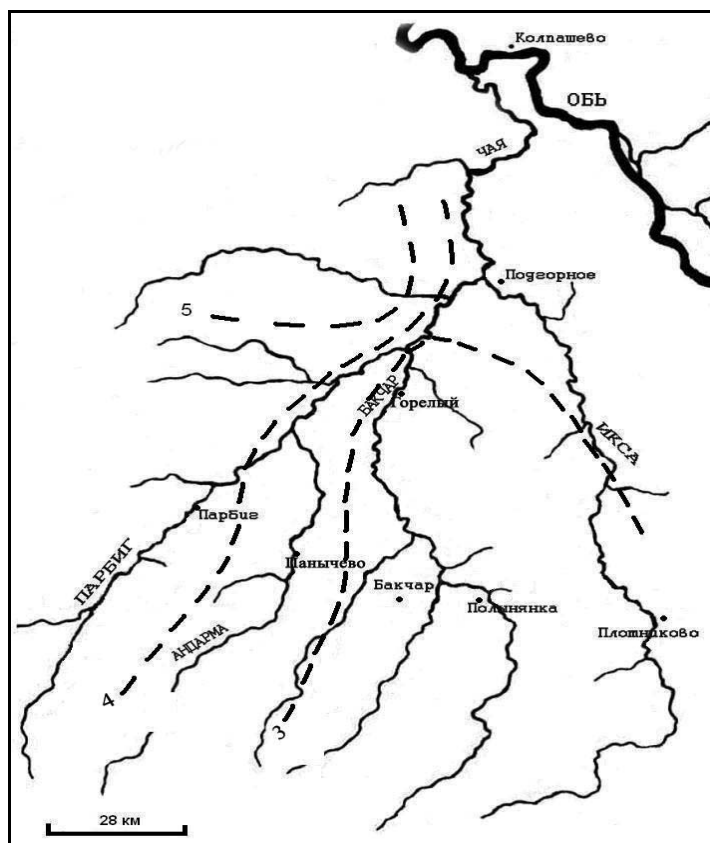


Рисунок 1 – Схемы изолиний модулей среднегоголетнего суммарного водного стока в бассейне р. Чая, л/с км².

Минимальные значения поверхностного и подземного стока характерны для р. Бакчар и Икса. В западной части бассейна следует отметить увеличение интенсивности водообмена и модуля поверхностного и подземного стока до 4,70 л/с км² и 1,52 л/с км². В условиях более высоких модулей подземного стока рек и интенсивности водообмена на западе бассейна отмечается также некоторое увеличение модуля поверхностного стока ионов до 1,42 г/с км². В целом по территории

наблюдается увеличение поверхностного стока ионов с юго-востока на север и северо-запад (табл. 1). Максимальный поверхностный сток ионов отмечается в створе р. Икса у с. Копаное озеро.

В пространственном распределении модулей подземного стока ионов отмечается закономерность его снижения с севера на юг с 0,300 до 0,100 г/с км².

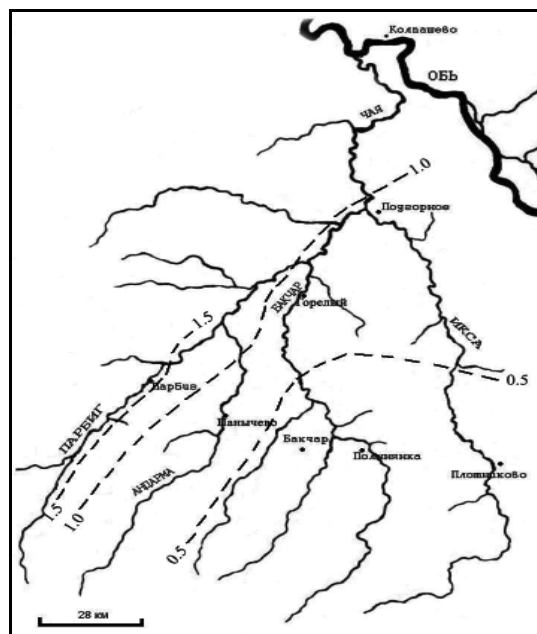


Рисунок 2 – Схемы изолиний модулей среднегоголетнего подземного водного стока в бассейне р. Чая, л/с км².

Максимальные значения подземного ионного стока отмечаются на западе и северо-востоке территории исследований (более 0,400 г/с км²) в бассейнах р. Парбиг, у с. Парбиг, и Икса у с. Копаное озеро 0,459 и 0,426 г/с км² соответственно. Закономерность достаточно четкая и говорит об увеличении интенсивности поступления минеральных веществ при подземном питании рек. В стоке органических веществ наблюдается снижение поверхностной составляющей с юга на север и увеличение подземной, соответственно. В пространственном распределении подземного стока Fe_{общ} наблюдается увеличение стока с юго-востока на запад и северо-запад территории. Максимальные значения подземного стока наблюдаются в бассейне р. Парбиг (0,733 мг/с км²), в противоположность самые низкие значения отмечены в бассейнах рек Бакчар и Икса.

Таблица 1

Среднемноголетние значения ионного стока и стока биогенных и органических веществ

Река-пункт	Сток	Сток веществ, т/год				
		Σ _и	Fe _{общ.}	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	C _{орг}
Чая – с. Подгорное	суммарный	968631	1273	2816	5142	39390
	подземный	517043	679	1502	2743	21013
Бакчар – с. Горелый	суммарный	218227	167	937	949	12000
	подземный	48882	38	208	210	2645
Бакчар – с. Полынянка	суммарный	38434	135	243	84,9	2937
	подземный	2665	8,33	13,6	5,94	210
Икса – с. Коп. озеро	суммарный	282494	126	не опр.	524	7569
	подземный	69987	31,2	не опр.	130	1875
Икса – с. Плотниково	суммарный	54282	125	426	104	9077
	подземный	4045	9,28	31,6	7,72	675
Парбиг – с. Веселый	суммарный	336705	282	не опр.	282	14101
	подземный	109729	9,19	не опр.	9,19	460
Парбиг – с. Парбиг	суммарный	122331	194	не опр.	12,7	6732
	подземный	39586	63,2	не опр.	4,15	2177
Андарма – с. Панычево	суммарный	82530	56,2	не опр.	68,5	4413
	подземный	17167	11,4	не опр.	14,1	909

В целом на территории бассейна существует ряд общих закономерностей изменения показателей водного и гидрохимического стока, которые определяются характером подстилающей поверхности водосбора, интенсивностью водообмена и величиной подземного питания рек. Территория имеет четкую дифференциацию условий формирования стока.

Оценка площади, которую занимают болота по бассейнам рек, в целом позволила выявить их соответствие для р. Парбиг, Бакчар, Икса. Однако преобладание верховых болот небольших по площади болотных массивов, с широким распространением сосново-сфагново-кустарничковых биогеоценозов (табл. 2) в западной части бассейна предопределили более высокую дренированность, а, следовательно, и модули поверхностного и подземного стока (бассейн реки Парбиг).

**Процентное соотношение площадей верховых биогеоценозов
от общей площади верховых болот, %**

Тип	Вид биогеоценоза	Река-пункт							
		Чая – с. Подгорное	Парбиг – с. Парбиг	Парбиг – с. Веселое	Андарма – с. Паньчево	Бакчар – с. Поляннка	Бакчар – с. Горелый	Икса – с. Плотниково	Икса – с. Коп. озеро
Верховые	Сосново-сфагново-кустарничковый	47	36	46	53	32	30	54	45
	Сфагново-осоковый и сфагново-осоково-пушицевый	15	11	18	26	25	42	8	10
	Сфагново-сосново-кустарничковый	20	47	29	13	13	9	17	22
	Грядово-мочажинно-озерковый	18	5	7	8	30	18	20	23
Процент верховых биогеоценоз от общей площади болот		50	56	48	61	54	66	44	52
Заболоченность водосбора, %		52	57	47	49	65	63	64	61

По результатам определения и оценки господствующих видов болотных биогеоценозов в пределах бассейна р. Чая получено, что преобладающую площадь занимают верховые болота, которые в основном представлены сосново-сфагново-кустарничковыми и сфагново-сосново-кустарничковыми биогеоценозами. Средняя заболоченность бассейнов составляет 55%. Переходные и редко низинные болота занимают окраинные участки крупных водораздельных болотных массивов. В процентном соотношении доля переходных болот составляет от 27 до 43% от общей площади болот в водосборах рек территории. Низинные болота занимают преимущественно подчиненное положение в процентном соотношении до 17% от общей площади болот. В пространном распределении биогеоценозов верхового типа отмечается следующая закономерность. В западной части бассейна отмечается широкое распространение сфагново-сосново-кустарничковых биогеоценозов (до 47%). В восточной части бассейна отмечается увеличение доли топяных участков и широкое распространение комплексных грядово-мочажинно-озерковых биогеоценозов, особенно в бассейнах рек Бакчар и Икса (18-30% от общей площади верховых болот), тогда как в западной части бассейна р. Чая наблюдается всего 5-9%. С учетом проведенного выше анализа можно сделать два вывода. Во-первых, преобладание сосново-сфагново-кустарничковых биогеоценозов предопределяет более высокие концентрации минеральных и органических веществ, что

отмечено нами ранее [1] а также по результатам определения гидрохимического стока рек, тогда как широкое распространение топяных и грядово-мочажинно-озерковых биогеоценозов предопределяет более низкие концентрации веществ. Во-вторых, широкое развитие сосново-сфагново-кустарничковых биоценозов болот предопределяет более высокую интенсивность водообмена (амплитуда колебания уровней до 60 см), тогда как для топяных и центральных участков болот с комплексными грядово-мочажинно-озерковыми биоценозами характерен незначительный диапазон колебания уровней (амплитуда колебания уровней 20 см), что заметно снизит интенсивность водообмена, но увеличивает устойчивость экосистем к антропогенной нагрузке [2, 3]. Как показал анализ, водный режим и особенности геоэкологического состояния бассейна р. Чая, кроме основных физико-географических факторов, определяются не только общей заболоченностью водосбора, но также распространением комплексных грядово-мочажинно-озерковых и топяных биогеоценозов.

Литература

1. Харанжевская Ю.А., Воистинова Е.С. Мониторинг содержания химических элементов в болотных водах Васюганского болота в пределах Томской области // Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Материалы российской конференции / под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Аграф-Пресс, 2009. – С. 271-273.
2. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
3. Харанжевская Ю.А. Многолетняя динамика водного режима верхового болота как показатель устойчивости болотных экосистем Западной Сибири // Динамика геосистем и оптимизация природопользования. Материалы международной конференции. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2010. – С. 227-230.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНЕЙ ОБИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА

Харламова Н.Ф., г. Барнаул, Алтайский государственный университет
harlamovageo@rambler.ru

VARIABILITY OF THE HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF TOP OBI UNDER THE ACTION OF CHANGES IN THE REGIONAL CLIMATE

Kharlamova N.F., Barnaul, Altai state university

Рассмотрены изменения максимальных уровней в июне и среднегодовых расходов воды р. Обь в створе Барнаула за период 1932-2004 гг. Показана достоверная значимая корреляция с климатическими параметрами. Предполагается дальнейшее уменьшение уровней при возрастании среднегодовых расходов (таяние ледников).

Are examined changes in the maximum levels in June and the average annual expenditures of water r. Ob' in range of Barnaul during the period of 1932-2004 yr. The reliable significant correlation with the climatic parameters is shown. Further decrease of levels with the growth of average annual expenditures is assumed (melting of the glaciers).

В свете глобальных изменений климата, его проявлений для России и возможных экологических и социально-экономических последствий особенно актуальными представляются изменения гидрологического режима в бассейнах рек Сибири. Уязвимость водных ресурсов обусловлена высокой чувствительностью и незамедлительной реакцией гидрологического режима на климатические изменения [1].

Согласно прогнозу изменения климата России на первую половину XXI века наиболее значительное повышение средней годовой температуры воздуха к середине 21 века возможно в Западной Сибири – на 3-4°C [2]. Безусловно, собственно климатические прогнозы нельзя автоматически перетолковывать в прогнозы социально-экономических параметров, и наиболее затруднительным является экологический прогноз и его ресурсно-экономическая интерпретация. Тем не менее, задача анализа региональных особенностей глобального изменения климата и прогноза возможных гидрологических последствий относится к первоочередным.

Интенсивность потепления для территории России за 100 лет (1901-2000 гг.) составила в среднем 0,90°C/100 лет [3]. Повышение температуры более заметно зимой и весной, с максимумом интенсивности к востоку от Урала. В последние 50 лет отмечается тенденция к уменьшению годовых и сезонных сумм осадков в целом для России и для ее восточных регионов [1].

В южных районах Западной Сибири и Алтайской горной области (Алтайский регион) наблюдается повсеместное повышение приземной температуры воздуха разной интенсивности. В распределении годовых температур воздуха ГМС Барнаул выявлен статистически достоверный положительный тренд, более интенсивный, чем в среднем для России: повышение годовой температуры воздуха за 1838-2004 гг. составило 2,85°C или 1,8°C/100 лет. Средняя температура холодного периода (XI-III) увеличилась на 3,6°C/167 лет или 2,3°C/100 лет, теплого периода (IV-X) – на 2,4°C или 1,4°C, соответственно [4-7].

Корреляционный анализ показал значимое соответствие изменений годовой температуры Барнаула и метеостанций в горной части бассейна Верхней Оби за период 1949-2008 гг., соответственно, долговременные тенденции, определенные по Барнаулу, можно принять за

фоновые для исследуемой территории: Змеиногорск – 0,96; Усть-Кокса – 0,80; Кош-Агач – 0,56; Аккем – 0,76; Кара-Тюрек – 0,72. Линейные тренды всех метеостанций являются положительными. Величина прироста Тв за 50 лет (1951-2000 гг.): Барнаул – 1,8 (скорость потепления в конце XX в. возросла); Змеиногорск – 1,7; Усть-Кокса – 2,1; Аккем – 1,5; Кара-Тюрек – 1,2; Кош-Агач – 2,7°C.

При десятилетнем осреднении определено наиболее теплое десятилетие 1990-1999 гг. и уменьшение скорости потепления за последнее десятилетие (2000-2009 гг.). Однако современный «холодный» период, как показывают данные Барнаула, по-прежнему наблюдается на восходящей ветви более долговременного цикла, и резкого изменения тенденции в ближайшее десятилетие ожидать не следует.

Сравнение 10-летних температур сезонов года и отклонений средних за период 1998-2007 гг. по отношению к начальному периоду 1838-1847 гг. подтверждает выявленную тенденцию потепления, особенно зимнего и весеннего сезонов, а также осени (табл.1).

Таблица 1

Среднегодовое значения (за 10-летний период) температуры воздуха весны (III-V), лета (VI-VIII), осени (IX-XI) и зимы (XII-II), °C, Барнаул

Период	Весна	Лето	Осень	Зима	Год
1838-1847	-0,06	17,5	0,1	-17,4	0,05
1848-1857	-0,35	17,5	0,4	-16,4	0,1
1858-1867	0,5	17,8	1,6	-17,4	0,7
1868-1877	0,8	17,7	1,4	-18,2	0,4
1878-1887	0,7	17,3	1,1	-16,3	0,7
1888-1897	0,5	18,2	1,5	-17,7	0,6
1898-1907	0,6	18,1	1,8	-15,5	1,3
1908-1917	1,1	17,9	1,2	-15,1	1,5
1918-1927	1,3	18,5	2,6	-16,4	1,5
1928-1937	0,7	18,2	2,3	-17,1	1,0
1938-1947	2,8	17,9	2,0	-17,1	1,4
1948-1957	1,7	18,4	1,4	-16,0	1,4
1958-1967	2,2	18,1	1,6	-14,5	1,9
1968-1977	2,2	17,9	1,7	-16,6	1,3
1978-1987	1,7	18,0	2,6	-14,3	2,1
1988-1997	3,5	18,3	2,6	-13,2	2,8
1998-2007	3,8	18,7	3,2	-13,5	3,0
Отклонение 1998-2007 гг. по отношению к 1838-1847 гг.	+3,9	+1,2	+3,1	+3,9	+2,9

Представленные в табличной форме результаты, как и результаты аппроксимации данных различными функциями, демонстрируют тенденцию повышения температуры весны и осени в последнее десятилетие 2000-2009 гг., которая может сохраниться и в ближайшие годы.

Для установления взаимосвязи параметров гидрологического режима в бассейне Верхней Оби с климатическими показателями рассмотрены ряды ежегодных данных по максимальным уровням воды в июне и среднегодовым расходам в створе Барнаула за период 1932-2004 гг.

Среди возможных климатических предикторов для максимальных уровней в июне наиболее тесная корреляция определена с годовой суммой осадков (0,50) и осадками теплого периода, (вклад которых в годовую сумму наибольший – коэффициент корреляции $O_{год} \sim O_{тепл} = 0,91$). Низкая температуры весны также способствует формированию максимальных уровней в июне ($r = -0,45$). Корреляция с годовой температурой менее выражена ($-0,34$), однако именно данный показатель наиболее детально изучен и используется во всех аналитических обзорах. Рассчитаны регрессионные зависимости, обладающие наибольшей достоверностью и значимостью (табл. 2).

Таблица 2

Регрессионные зависимости максимального уровня воды р. Обь в июне

Показатели статистики и анализа		Регрессионные уравнения
Коэффициент множественной корреляции	0,65	$MAX = 517,9 - 16,3 \cdot T_{г} - 4,49 \cdot T_{VI} - 12,2 \cdot T_{весны} + 6,04 \cdot T_{осени} + 5,16 \cdot T_{зимы} + 0,11 \cdot O_{год} + 0,29 \cdot O_{хол} + 0,33 \cdot O_{тепл}$
Индекс детерминации R^2	0,42	
Нормированный R^2	0,35	
F-критерий	5,80; $p=0,0000$	
Коэффициент множественной корреляции	0,64	$MAX = 390,6 - 17,45 \cdot T_{весны} + 2,83 \cdot T_{зимы} + 0,37 \cdot O_{хол} + 0,48 \cdot O_{тепл}$
Индекс детерминации R^2	0,40	
Нормированный R^2	0,37	
F-критерий	11,5; $p=0,0000$	

Аппроксимация гидрометеоданных линейными трендами показывает наличие отрицательных трендов максимальных уровней воды и годового количества осадков при положительном тренде температуры весны (рис. 1). За период 1932-2004 гг. наблюдалось понижение уровня в среднем на 5,60 см/10 лет.

Наиболее значимыми климатическими факторами изменчивости среднегодовых расходов воды р. Обь также являются суммы осадков теплого периода (0,50), за год (0,49), и холодный период (0,46) и температура июня ($-0,36$). Годовая температура воздуха включена в регрессионные зависимости среднегодовых расходов в створе Барнаула также в связи с наибольшей изученностью. Для последнего гидрологического показателя вклад группы климатических факторов в дисперсию расходов более высок, как и коэффициент множественной корреляции (табл. 3) по сравнению с максимальными уровнями.

За период 1932-2004 гг. при слабо отрицательном линейном тренде годовых осадков и значительном положительном тренде годовой температуры воздуха среднегодовые расходы воды в створе р. Обь у Барнаула повышались на 12 м³/с (рис. 2).

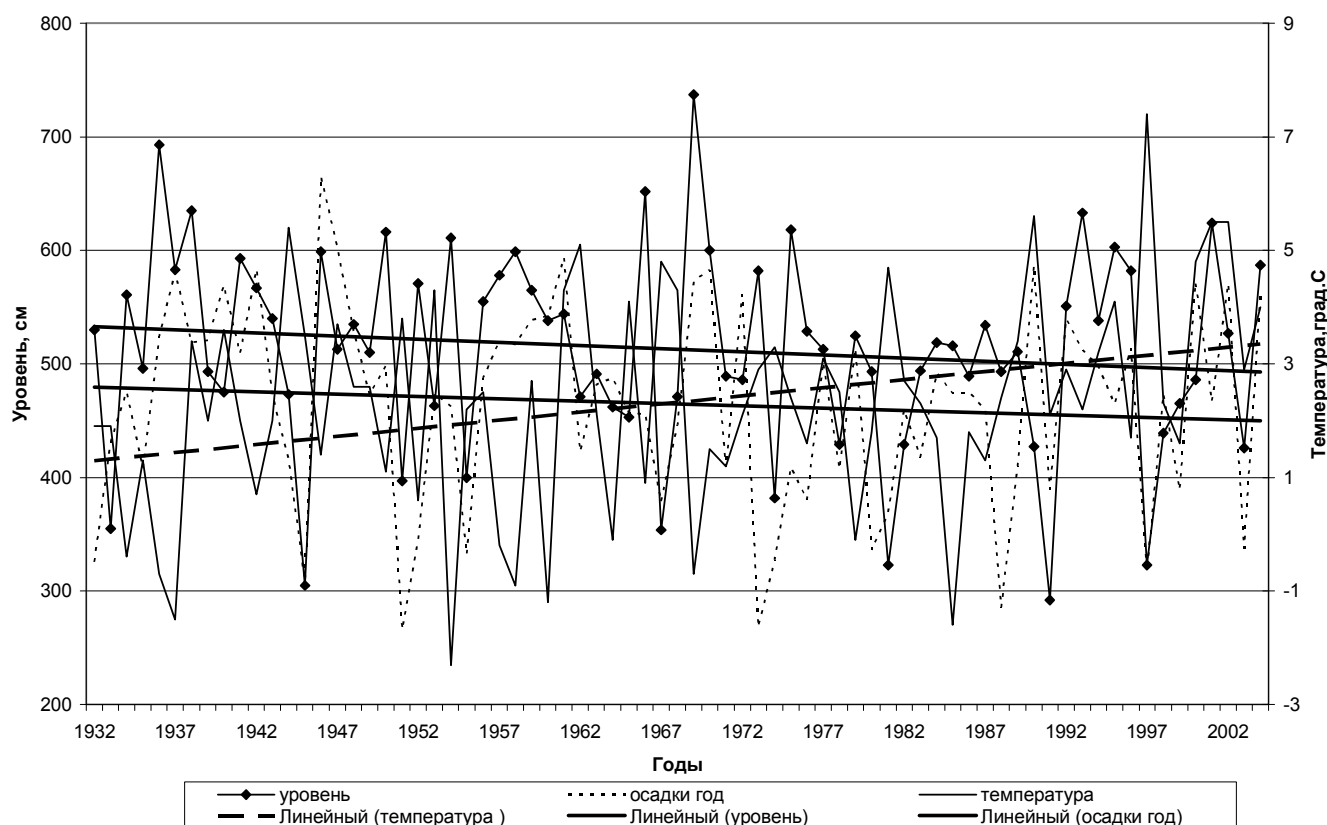


Рисунок 1. Соотношение максимальных уровней воды р. Обь в июне, температуры весны и годовой суммы осадков, Барнаул, 1932-2004 гг.: ежегодные инструментальные данные и линейные тренды

Таблица 3

Регрессионные зависимости расходов воды р. Обь

Показатели статистики и анализа		Регрессионные уравнения
Коэффициент множественной корреляции	0,70	$\text{расход} = 1747,2 - 91,02 \cdot T_{\Gamma} - 29,58 \cdot T_{VI} + 6,75 \cdot T_{\text{весны}} + 40,5 \cdot T_{\text{осени}} + 26,2 \cdot T_{\text{зимы}} - 0,60 \cdot O_{\text{год}} + 2,83 \cdot O_{\text{хол}} + 1,92 \cdot O_{\text{тепл}}$
Индекс детерминации R^2	0,49	
Нормированный R^2	0,43	
F-критерий	7,61; $p=0,0000$	
Коэффициент множественной корреляции	0,64	$\text{расход} = 1722,4 - 77,9 \cdot T_{\text{год}} - 29,84 \cdot T_{VI} + 36,56 \cdot T_{\text{осени}} + 24,33 \cdot T_{\text{зимы}} - 0,59 \cdot O_{\text{год}} + 2,84 \cdot O_{\text{хол}} + 1,90 \cdot O_{\text{тепл}}$
Индекс детерминации R^2	0,40	
Нормированный R^2	0,37	
F-критерий	11,5; $p=0,0000$	

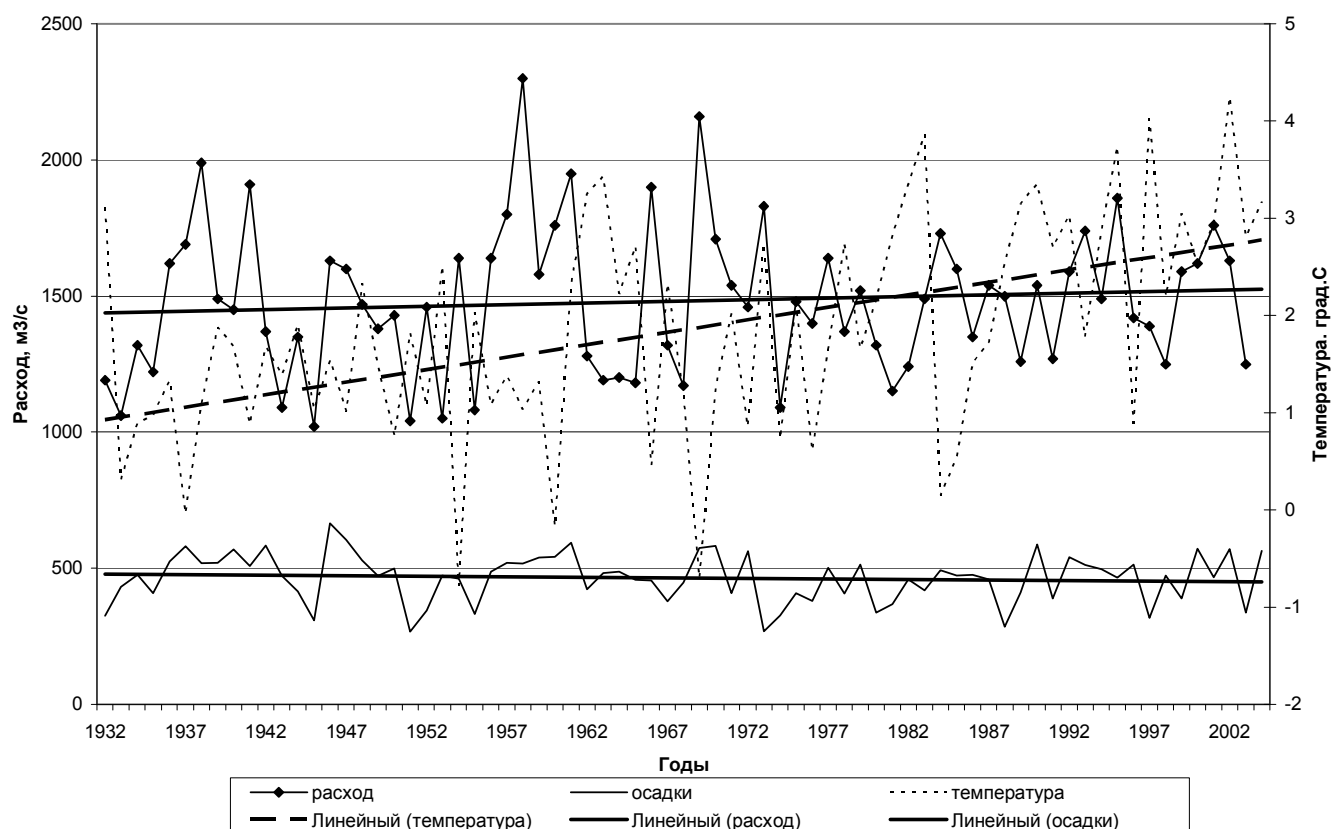


Рисунок 2. Среднегодовые расходы воды р. Обь, годовая температура воздуха и годовая сумма осадков, Барнаул, 1932-2004 гг.: инструментальные наблюдения и линейные тренды

По результатам исследования показана климатическая обусловленность значительной доли дисперсии многолетней изменчивости максимальных уровней (в июне) и, особенно, среднегодовых расходов р. Обь. В соответствии с возможным повышением температуры воздуха и уменьшением/небольшим приростом количества осадков ожидается дальнейшее возрастание расходов (за счет ледниковой составляющей) и уменьшение максимальных уровней. При увеличении межгодовой погодно-климатической изменчивости, возрастает вероятность аномальных (низких-высоких) уровней.

Необходимо рассмотрение изменений доли ледникового питания, определение тенденций по другим створам и др. Показана актуальность изучения вопроса климатозависимости гидрологического режима Верхней Оби.

Литература

1. Третье Национальное сообщение Российской Федерации / Росгидромет/МВК, 2002. Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/natcom/nctable.html#al>
2. Национальный Доклад по проблемам изменения климата / Минэкономразвития РФ, 2003. Режим доступа: <http://www.economy.gov.ru/merit/79>
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология, 2004. № 4. С. 50-66.
4. Ревякин В.С. Харламова Н.Ф. Региональные изменения климата и природной среды Центральной Азии / Мировой океан, водоемы суши и климат// Труды XII съезда Русского географического общества. Т. 5. СПб., 2005. С. 369-377.
5. Kharlamova N.F., Revyakin V.S. Regional climate and environmental change in Central Asia //

Environmental Security and Sustainable Land Use. / Edited Hartmut Vogtmann, Nikolai Dobretsov / Springer. The NATO Programme for Security through Science. The Netherlands, 2006. – P.19-26.

6. *Харламова Н.Ф.* Некоторые особенности климатических изменений для внутриконтинентальных районов России // Тезисы стендовых докладов международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности (прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям). – М., 2006. – С. 68.

7. *Харламова Н.Ф., Михайлова Л.А., Михайлов Н.Н.* Региональные особенности изменений климата Алтая / Погребальные комплексы с мерзлотой в горах Алтая: материалы Международной конференции ЮНЕСКО. Горно-Алтайск, Республика Алтай, Российская Федерация, 28-31 марта 2006 г. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2007. С. 150-153.

ПРОБЛЕМА МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Химченко О.В., Томск, Томский государственный университет, seducer_@mail2000.ru

PROBLEM OF LONG-TERM VARIATION AND FORECASTING SEASONAL RUNOFF OF THE OB-IRTYSH INTERFLUVE AREA RIVERS

Himchenko O.V., Tomsk, Tomsk state university, seducer_@mail2000.ru

В работе рассмотрена проблема изменчивости и прогнозирования сезонного стока рек Обь-Иртышского междуречья. Целью было выявление многолетней изменчивости сезонного стока рек и закономерностей формирования стока зимней межени. Для этого использовались статистические методы анализа однородности временных рядов и регрессионный анализ связей.

The article considers the problem of variability and forecasting seasonal runoff of the rivers of Ob-Irtysh interfluve. The aim was to identify long-term variability of seasonal river flow patterns and runoff formation winter low water. For this purpose we used statistical analysis of time series homogeneity and regression analysis of the relationships.

Введение. Проблема изучения закономерностей формирования и пространственно-временной изменчивости водных ресурсов является одной из основных проблем гидрологии суши.

Последние тенденции изменения климата, наблюдающиеся также на территории Западной Сибири, способствуют росту неопределенности расчетов запасов водных ресурсов и их основных гидрологических характеристик.

Основной целью и задачей является выявление изменения распределения и определение факторов формирования зимнего сезонного стока рек Обь-Иртышского междуречья.

Изменение сезонного стока рек Обь-Иртышского междуречья. Вопрос сезонного распределения стока рек не нов и достаточно сложен. Основной проблемой является определение границ гидрологических сезонов. Отсюда следует и проблема определения факторов формирования и многолетней изменчивости сезонного стока.

Под сезонным стоком мы понимаем сток за естественные гидрологические сезоны, в течение которых наблюдается более или менее однотипный ход гидрологических процессов и явлений. Анализ гидрографов стока позволил выделить на реках Обь-Иртышского междуречья три гидрологических сезона: зимнюю межень, весеннее половодье и летне-осенний период. Первые два сезона выражены достаточно отчетливо.

Зимние меженные расходы формируются при доминирующей роли глубокого подземного питания.

Весеннее половодье, как правило, имеет снеговое происхождение. В процессе его формирования могут принимать участие и грунтовые воды, иногда дождевые, но и в этом случае природа половодья определяется талыми водами сезонных снегов.

Сложное изменение уровней и расходов в летне-осенний период затрудняет выделение фазы летней межени и осенних паводков. Поэтому в настоящей работе летне-осенний период рассматривается как сложная фаза водного режима, включающая летнюю межень и осенние

паводки. Питаются реки в этот период года остаточными водами весеннего половодья, грунтовыми водами и водами летних и осенних дождей [4].

Установление границ гидрологических сезонов производилось в зависимости от водности года. Таким образом, нами установлены плавающие границы гидрологических сезонов, но в среднем весеннее половодье приходится на апрель-июнь, зимняя межень – декабрь-март, летне-осенний период – июль-ноябрь.

Для первоначального выявления изменчивости сезонного стока рек были исследованы хронологические графики средних сезонных расходов воды. Продолжительность рядов наблюдений составила 20-70 лет. Всего анализировались материалы наблюдений в 30 пунктах на 18 средних реках.

Полученные результаты подтверждают гипотезу об увеличении зимних меженных расходов воды [2]. Наиболее заметное увеличение средних наблюдается в бассейнах рек Васюгана, Парабели, Чаи и Шегарки.

Изменение средних расходов половодья наблюдается в меньшем количестве: отмечено уменьшение стока рек Б. Юган, Чая, Омь (Калачинск), Тартас, Уй (Баженово), Каргат, Шиш (Васис) и увеличение стока рек Чека, Уй (Сидельниково), Демьянка, Тара (Муромцево), Омь (Вознесенское, Чумаково), Икса, Бакчар (Полынянка), Парбиг, Парабель.

В летне-осенний период на большинстве постов также отмечается увеличение средних расходов (например, на реках Тара (Малокрасноярское), Тургас, Чая).

На реках Андарма (Панычево) и Б.Юган (Угут) нарушений сезонного стока за рассматриваемый период не наблюдается.

В основном на реках, где обнаруживается возрастание зимних меженных расходов, происходит снижение средних расходов половодья. Это свидетельствует о выравнивании стока многих рек бассейна Оби внутри года. Это может быть связано с ростом зимних температур и сокращением холодного периода, что способствует улучшению условий подземного питания рек за счет поверхностной составляющей.

На реках Бакчар (Полынянка), Икса (Копанное озеро), Шегарка, Омь (Чумаково, Вознесенское) и Чека наблюдается увеличение как зимних меженных расходов, так и средних расходов половодья. На реках Шегарка и Икса такое увеличение, скорее всего, связано с проводившимися в их бассейнах в 1970 – 1980-е годы мелиоративными работами, когда только на площади 75 км² междуречья Шегарки и Иксы прорыто 200 км осушительных каналов [1].

Для количественного анализа изменчивости сезонного стока использовались статистические методы. Ряды были подвергнуты статистическому анализу однородности по среднему и дисперсии. Данный вид анализа показывает ту же тенденцию увеличения средних сезонных расходов воды, особенно зимних меженных расходов. Увеличение дисперсии в большинстве случаев наблюдается в периоды зимней и летне-осенней межени. В период половодья увеличение дисперсии наблюдается в меньших случаях, хотя ее изменение также существенно (Таблица 1).

На основе полученных результатов была подсчитана величина тренда зимних меженных расходов воды (Рисунок 1).

Возможности долгосрочных прогнозов зимнего стока. Методы прогнозов зимнего стока основываются на использовании закономерностей его формирования и многолетней изменчивости. Основным методом прогноза зимнего стока является установление непосредственных связей между зимним стоком и стоком (или русловыми запасами) в предшествующий период [3], в результате чего наблюдается более тесная связь не с метеорологическими факторами, а со стоком предшествующего периода, т.е. фактором гидрологическим.

В настоящем исследовании в качестве предикторов использован комплекс гидрометеорологических факторов: факторы предшествующего периода (средний предмеженный

расход (А) и сумма осадков за летне-осенний период (Б)), отражающие условия летне-осеннего увлажнения, и факторы зимнего сезона (максимальный зимний расход (В) и сумма отрицательных температур (Г)). Теснота парных связей с каждым из перечисленных факторов оценена коэффициентами парной корреляции. Для учета совместного влияния на зимний сток факторов предшествующего периода и факторов зимнего периода рассчитана корреляция трех переменных (Таблица 2). Расчеты коэффициентов уравнения регрессии и ошибки расчета выполнены по 14 постам с продолжительностью наблюдений не менее 20 лет.

Таблица 1

**Обобщенные результаты статистического анализа однородности рядов
за период 1950–2000 гг. (разбивка по гидрологическим годам)**

	Зимняя межень	Половодье	Лето-осень
Неоднородность при $\alpha < 5\%$, в том числе:			
по средним всего	30/100	30/100	30/100
среднее увеличивается	26/87	19/63	20/87
среднее уменьшается	4/13	11/27	10/13
по дисперсиям всего	30/100	30/100	30/100
дисперсия увеличивается	20/87	14/47	20/87
дисперсия уменьшается	10/13	16/53	10/13
Неоднородность по дисперсиям и средним, в том числе:			
среднее и дисперсия растут	18/60	12/40	17/57
среднее растет, дисперсия падает	8/27	7/23	3/10
среднее падает, дисперсия растет	1/3	2/7	3/10
среднее и дисперсия падают	3/10	9/30	7/23
Общее число пунктов	30 (100%)		

Примечание: в числителе указано число случаев нарушения однородности, в знаменателе – число случаев в процентах от общего количества пунктов наблюдений.

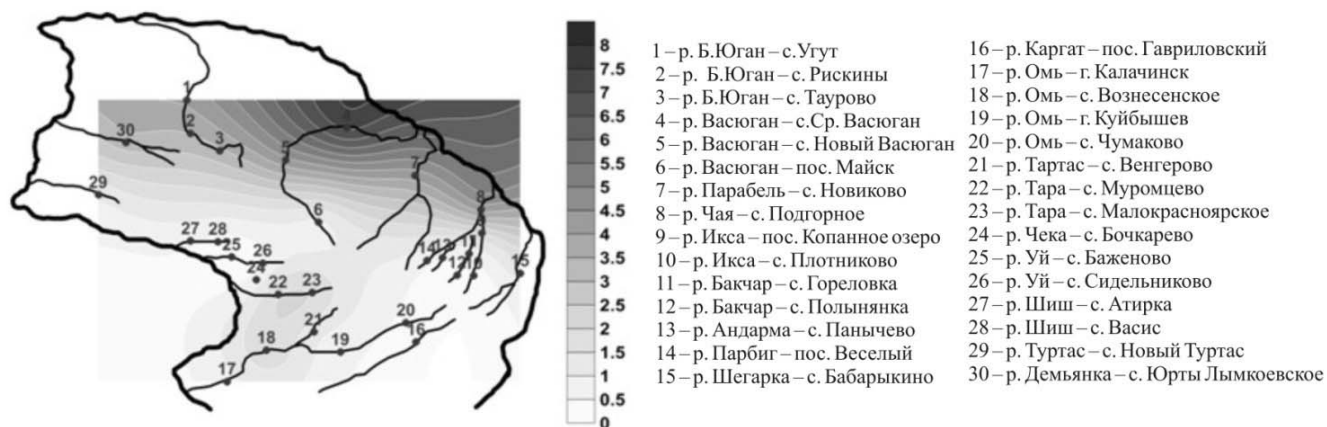


Рисунок 1. Карта-схема изменения среднего модуля стока зимней межени (л/с*км²) рек Обь-Иртышского междуречья

Учет только метеорологических факторов (А и Г) дает достаточно высокий коэффициент множественной корреляции (0,7). Средняя ошибка расчета среднего стока зимней межени – 23%. Совместный учет среднего предмеженного расхода и суммы отрицательных температур дает

более низкий результат (средний коэффициент множественной корреляции составляет 0,5-0,59, средняя ошибка расчета среднего стока зимней межени – 45%).

Заметное улучшение тесноты связи наблюдается при учете сразу трех факторов (Б/В/Г) (Таблица 2). Коэффициент множественной корреляции резко возрастает до 0,96, а средняя ошибка расчета падает до 14%. Можно считать, что сток зимней межени достаточно хорошо определяется тремя факторами: сумма осадков за летне-осенний период, максимальный зимний расход и сумма отрицательных температур согласно, например, уравнению для створа р. Парбиг – пос. Веселый:

$$\bar{Q}_{зим} = 0.6Q_{макс} + 0.006X_{л-о} - 0.004 \sum |t_{зим}^0| + 2.463$$

Таблица 2

Число пунктов с различными коэффициентами множественной корреляции среднего стока зимней межени и его факторов

Факторы	Коэффициент корреляции										Всего
	0.3-0.39	0.4-0.49	0.5-0.59	0.6-0.69	0.7-0.75	0.76-0.8	0.81-0.86	0.87-0.9	0.91-0.95	0.96-0.99	
А/Г	-	-	2	2	5	-	3	1	1	-	14
Б/Г	4	2	5	2	1	-	-	-	-	-	14
Б/В/Г	-	-	-	1	1	-	-	3	3	6	14

Литература

1. Болота Западной Сибири, их роль в биосфере / Под ред. А.А. Земцова. – Томск: ТГУ, СибНИИТ, 2000.
2. Земцов В.А. О многолетней изменчивости речного стока в Западной Сибири // Вест. Том. гос. ун-та. Прил. № 3 (IV). – Томск, 2003. – С. 137-139.
3. Комлев А.М. Исследования и расчеты зимнего стока рек (на примере Западной Сибири) // Труды ЗСРНИГИ. Вып. 9. – М: Гидрометеиздат, 1973.
4. Стежеская И.Н. Сезонный сток рек Западно-Сибирской равнины. – Л: Гидрометеиздат, 1971.

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОД В ОБСКОМ БАССЕЙНЕ

Цимбале́й Ю.М., Ротанова И.Н.
ИВЭП СО РАН, Барнаул, rotanova@iwep.asu.ru

LANDSCAPE-ECOLOGICAL FACTORS FOR WATER FORMATION IN THE OB BASIN

Tsimbaley Yu.M., Rotanova I.N.
IWER SB RAS, Barnaul, rotanova@iwep.asu.ru

Рассмотрены основные группы ландшафтно-экологических факторов, оказывающих влияние на формирование количества и качества поверхностных и подземных вод в бассейне Оби: климатические, геохимические, геоморфологические, гидрологические, биотические. Показано определенное соответствие между структурами бассейна (гидрографической сети, орографии, водного баланса) и ландшафтной структурой географических систем как комплексного показателя природных условий.

Main groups of landscape-ecological factors effecting the quantity and quality of surface and underground water in the Ob basin are considered. Among them are climatic, geochemical, geomorphological, hydrological, and biotic factors. A distinct relationship between the basin structures (hydrographic network, orography, water balance) and landscape structure of geographical systems as a complex environmental index is shown.

Процесс формирования внутриконтинентальных поверхностных и подземных вод должен рассматриваться в контексте глобального круговорота воды в природе как один из этапов этого явления. Ландшафтно-экологические факторы, оказывающие влияние на формирование количества и качества пресных вод, применительно к крупному речному бассейну можно объединить в несколько основных групп: климатические, геолого-геоморфологические, гидрологические и гидрогеологические, геохимические, биотические. В естественных условиях при отсутствии антропогенных воздействий ландшафтно-экологический фон обеспечивается природными процессами развития и саморегуляции географической оболочки.

Ландшафтная и бассейновая структуры тесно связаны между собой, однако соотношения бассейнов и ландшафтов регионального и топологического уровней имеют существенные различия. Материальную основу или ядро региональных ландшафтов составляют геолого-геоморфологические тела, созданные эндогенными процессами и различающиеся энергией рельефа в зависимости от их гипсометрического уровня. Поверхностный сток – продукт климата, энергетически обусловлен силой тяжести и находится в прямой зависимости от энергии рельефа. Атмосферная влага, выпадающая на сушу, лежащую гипсометрически выше уровня мирового океана, неизбежно возвращается к исходной, более устойчивой, энергетической позиции, израсходовав приобретенный при атмосферном переносе запас энергии на эрозионную деятельность. В процессе этого стока за счет регрессивной эрозии и возникает саморазвивающаяся бассейновая система, играющая роль структурного организатора стока и выводящая из природно-территориальных комплексов привнесенную через атмосферу влагу. Это позволяет считать речной бассейн функциональной системой, действующей на определенном этапе большого круговорота воды в природе. По своей сути – это некая подсистема, выделенная из общегеографической системы по выполняемой при-

родной функции и объединенная направленными вещественно-энергетическим и информационным потоками.

Обской (Обь-Иртышский) бассейн относится к природным системам субглобального уровня как по площади, так и по сложности и неоднородности своей структуры. Истоки основных (главных – Оби и Иртыша) рек и большинства их притоков (крупных рек) располагаются в горах Алтае-Саянской складчатой области, Урала, Казахского мелкосопочника, а территории средней и нижней частей бассейна полностью вписываются в Западно-Сибирскую равнину, в связи с чем бассейн отличается широким диапазоном биоклиматических условий с высотной поясностью (низко-, средне- и высокогорья) и широтной зональностью (степь, лесостепь, тайга, лесотундра и тундра). Несмотря на ограниченный диапазон абсолютных отметок, редко превышающий 200-400 м, геоморфологическая структура Западно-Сибирской равнины достаточно разнообразна и представлена предгорными наклонными равнинами, возвышенностями и плато, низменностями и обширными древними и современными речными долинами. В силу особенностей генезиса, в их сложении участвуют осадки различного литологического состава. Специфичность биоклиматических условий и строения подстилающей поверхности отражена в ландшафтной структуре территории Обского бассейна [2], подчеркивая неоднородность условий формирования стока на региональном (районирование) и топологическом (территориальное позиционирование) уровнях ландшафтной дифференциации.

Общая структура речной сети в бассейнах полностью соответствует гипсометрическому положению региональных ландшафтов (сток с поднятий, транзит по равнинам), а текстура определяется пликативной и дизъюнктивной тектоникой (освоение зон разломов и выраженных на поверхности складчатых структур) и литологическим составом горных пород (опережающее разрушение и размыв неустойчивых пород).

В обобщенном представлении основными составляющими при формировании стока в речном бассейне являются приход в виде атмосферных осадков и расход через эвапотранспирацию, поверхностный и подземный сток, которые встраиваются в общую систему круговорота воды в природе. Отсюда, приходная часть водного баланса напрямую связана с климатическими особенностями территории, дифференцированными в соответствии с широтной зональностью и высотной поясностью. Главными параметрами при этом являются годовое количество осадков, их распределение по периодам и месяцам, высота снежного покрова.

В расходной части баланса с климатом связана интенсивность процессов эвапотранспирации, которая зависит от температуры воздуха (средней, максимальной и минимальной самого теплого и самого холодного месяцев, соответственно), относительной влажности воздуха, скорости ветра, в целом теплоэнергетических ресурсов климата. Среднегодовая температура воздуха определяет характер, условия существования и динамики слоя вечной мерзлоты.

Характеристики тепла и влаги в зонально обобщенном виде участвуют в формировании системы физико-географического районирования. В связи с этим их можно считать экологическими показателями-компонентами ландшафтов регионального уровня – зональных (и горных) областей, а с учетом деления областей на провинции – и свойств последних, отражающих общие особенности их гипсометрического и соляного положения как факторов, влияющие на водно-тепловой режим ландшафтов.

Отметим, что на приходную часть водного стока оказывает определенное влияние и характер растительного покрова, не пропускающего некоторую долю осадков на поверхность земли и стимулирующего физическое испарение их со своей поверхности. Это свойство ландшафтов контролируется, в основном, показателем их лесистости (при возможности может использоваться видовой состав и сомкнутость древостоев, а для незалесенной части – проективное покрытие травостоев), подлежащим учету как на региональном, так и топологическом (начиная с местно-

стей) уровнях ландшафтной дифференциации.

Остальные компоненты ландшафтов, в первую очередь рельеф как форма проявления его геологической основы, почвенный и растительный покровы, элементы гидросферы определяют условия перераспределения поступившей атмосферной влаги между основными расходными статьями водного баланса объекта (территории, бассейна и т.д.) – эвапотранспирацией и стоком.

Рельеф является важнейшим стокоформирующим фактором. Формы его макроморфоструктуры служат основой для обособления физико-географических провинций и представлены возвышенностями и плато, наклонными равнинами, замкнутыми низменностями, крупными развитыми речными долинами [2]. Как правило, весь их набор полностью или частично представлен в бассейне любой реки крупной и средней категорий, и основные общие положения реализации стоковой функции ландшафта состоят в следующем:

- в первую очередь от выпавших осадков освобождаются провинции, приуроченные к возвышенностям, плато и наклонным равнинам;

- структура сети водотоков возвышенностей и плато имеет центробежный характер, наклонных равнин – однонаправленный линейно-субпараллельный, собственно речных долин – канализованный, т.е. концентрирующий весь бассейновый сток в русле-канале;

- скорость стекания находится в прямой зависимости от наклона дневной поверхности, т.е. перепада высот между наивысшей точкой провинции и ее приграничными частями по направлению линий стекания (максимальных уклонов);

- чем больше уклоны дневной поверхности, тем сильнее она расчленена долинами постоянных и временных водотоков, и тем быстрее осуществляется освобождение территории от выпавших осадков;

- рельеф ландшафтов предопределяет наличие и форму водоемов, участвующих в перераспределении стока и влияющих на испарительные функции ландшафта – озер, болот, бессточных областей.

Развитие бассейна поверхностного стока ведет к расчленению рельефа и образованию совокупности морфоскульптурных форм, производящих внутрибассейновое перераспределение тепла и влаги и служащих основой ландшафтных комплексов топологического уровня, т.е. формирующих морфологическую структуру региональных ландшафтов. Это мезо-, микро- и более мелкие формы рельефа экзогенного происхождения, которым соответствуют местности, урочища, фации. Эти же элементы рельефа (в совокупности с гранулометрическим составом горных пород, определяющим коллекторные или водоупорные свойства) контролируют размещение, формы поверхностных водных объектов, направленность био-, гидрохимических и других процессов, формирующих качественный состав как поверхностных, так и подземных вод.

В целом, основными показателями рельефа ландшафтов регионального уровня (провинций), определяющими условия стока, являются абсолютные высоты поверхности (минимальные, максимальные, средние), густота речной сети как мерило макрорасчлененности рельефа, уклон основного водотока, овражность, озерность, заболоченность.

К ландшафтам топологического уровня применимы рассмотренные выше принципы с той лишь разницей, что процессы формирования стока детализируются на уровне местностей, и для их характеристики необходим анализ густоты и глубины расчленения рельефа, относительных превышений, уклонов дневной поверхности.

Для рассматриваемого уровня формирования стока первостепенное значение имеет геологическое строение зоны аэрации и горизонта грунтовых вод. С этим связаны условия инфильтрации, т.е. перераспределения осадков между поверхностным и подземным стоком. Чем легче породы зоны аэрации, тем больше осадков инфильтруется в грунтовые воды, вплоть до полного исчезновения поверхностного стока, как это характерно для песчаных отложений.

Территориальные различия климатических и других физико-географических факторов стока обусловили значительную дифференциацию гидрологического режима Обского бассейна. Вместе с тем водный режим рек этой обширной территории обладает рядом общих особенностей:

- устойчивым развитием продолжительного (до нескольких месяцев) весеннего половодья, формируемого талыми снеговыми водами;
- наличием продолжительной (несколько месяцев) фазы летне-осенней межени; в большинстве случаев эта фаза прерывиста, она часто нарушается летне-осенними дождевыми паводками;
- длительной фазой зимней межени.

Особенности гидрологического режима находят отражение в связанных с ним процессах: заболачивании, подтоплении, меандрировании и пр.

Влияние растительного покрова проявляется как на приходную часть водного баланса, так и еще в большей степени на расходование влаги, достигшей дневной поверхности и инфильтрующейся в почву и материнские породы, т.к. используется ее для доставки элементов питания в надземную часть. «Отработавшая» влага испаряется через листовую систему (транспирируется), обеспечивая постоянный приток новых порций. Наряду с площадью транспирирующей поверхности, на объем транспирации влияет продуктивность фитоценозов, оцениваемая объемом продуцируемой биомассы.

Изменчивость геохимической ситуации определяется условиями миграции элементов в ландшафте, связана с химическим составом материнской породы и условиями трансформации в почве под воздействием биологического метаболизма, водного режима и биохимических реакций, и подчинена, в первую очередь, широтной зональности. В зоне избыточного увлажнения (тайга, лесотундра) происходит усиленный вынос подвижных элементов. Наиболее благоприятный геохимический баланс характерен для лесостепных и степных ландшафтов, что обусловлено относительно богатым минеральным составом материнских (преимущественно лессовидных) пород, замедленным выносом элементов из ландшафтов, интенсивным биологическим круговоротом. Проведенный анализ минерализации вод поверхностного стока Обского бассейна подтвердил не только общеизвестное наличие зональности, но и провинциальную дифференциацию этого показателя. Так, воды, стекающие с водосборов Алтайской горной области, по классификации О.А. Алекина в подавляющем большинстве относятся к 1 типу – с очень малой минерализацией, не превышающей 100 мг/л. С выходом в предгорные провинции лесостепной и степной зональных областей они постепенно меняют тип на 2-й – с малой минерализацией (100-200 мг/л) и редко 3-й – со средней минерализацией (200-500 мг/л). Воды же Салаиро-Кузнецко-Алатаусской горной области часто, наряду с 1-2 типом, имеют 3-й тип минерализации, например, в бассейне р. Чумыш (водохозяйственный участок 13-01-02-004) – до 394 мг/л, в бассейне р. Обь от г. Барнаула до Новосибирского г/у (без р. Чумыш) (ВХУ 13-01-02-005) – до 329-362 мг/л, в бассейне р. Томь от истока до г. Новокузнецка (ВХУ 13-01-03-002) – до 505 мг/л и т.д. В пределах таежной зональной области воды р. Васюган в Тобольской провинции относятся ко 2-му типу (до 160 мг/л), а в Обь-Тымской – к 3-му (до 233 мг/л).

Характер почвенного покрова оказывает влияние на количественные и качественные характеристики стока. Объемные показатели в большей степени коррелируют с литологическим составом пород зоны аэрации, участвующих в почвообразовании (почвообразующие породы), но есть примеры и прямого влияния почв на инфильтрацию осадков. Так, солоды, солонцы и солончаки обладают пониженной водопроницаемостью и препятствуют инфильтрации, а наличие уплотненного иллювиального или подпахотного горизонта может привести к формированию подпочвенного стока. Основное влияние характер почвенного покрова оказывает на качество стока.

Примером, характеризующим влияние неоднородности ландшафтной структуры бассейна на условия формирования стока с водосборной поверхности, может служить бассейн оз. Чаны.

Этот же пример служит подтверждением необходимости использования ландшафтной структуры крупного бассейна при оценке приходной части водного баланса территории в противовес подходам прямого бассейнового обобщения данных (среднее арифметическое) по метеостанциям и постам, расположенным на территории бассейна. Это связано, прежде всего, с неоднородностью биоклиматических условий водосбора, которая зафиксирована в ландшафтной дифференциации бассейна на региональном уровне, начиная с зональной области. Еще большая контрастность приобретает на уровне провинций (таблица), т.к. в обособлении последних, наряду с биоклиматическими факторами, принимают участие и элементы морфоструктуры (возвышенности, низменности), вносящие высотный фактор в распределение осадков даже для равнинных территорий с ограниченным размахом абсолютных отметок. В пересчете на объем стока разница в среднеарифметическом и средневзвешенном показателях для площадь водосбора озера Чаны достигает 0,9 км³. Для малых водосборов учет таких особенностей не актуален [1].

Таблица

Влияние региональной ландшафтной неоднородности на оценку приходной части формирования стока водосборного бассейна оз. Чаны

Зональная область	Провинция	Площадь, км ²	Покрытие, %	Осадки, мм/год
Таежная	Верхнеомская	3324,1	8,5	560
	Вьюновская	1668,3	4,2	593
Лесостепная	Верхнеобская	3169,8	8,1	517
	Восточнобарабинская	8634,6	22,0	485
	Западнобарабинская	115,9	0,3	421
	Барабинская	15959,1	40,6	436
Степная	Южнобарабинская	6396,2	16,3	371
	Итого	39268,0	100	
	Среднеарифметический показатель			483
	Средневзвешенный показатель			460

Более существенные различия будут в странах горных, горно-складчатых областях внутри областей платформенных и, особенно, в случае охвата бассейном приграничных провинций равнинных и горных физико-географических стран.

Таким образом, к основным характерным ландшафтно-экологическим стокоформирующим чертам территории Обского бассейна можно отнести следующие:

- несмотря на относительную сглаженность рельефа, достаточно разнообразную геоморфологическую структуру Западно-Сибирской равнины, представленную наклонными равнинами, возвышенностями и плато, низменностями и древними и современными речными долинами, сложенными осадками различного литологического состава;
- четкую закономерную последовательность смены географических зон и соответствующих им климатических показателей тундровых, таежных, лесостепных и степных экосистем;
- высокую увлажненность большей части территории.

Анализ пространственной приуроченности развития процессов, влияющих на формирование стока в бассейне, говорит о достаточно высокой дифференцированности ее в зависимости от региональной ландшафтной структуры территории, представленной зональными (горными) обла-

стями и провинциями. Наилучшие условия образования стока наблюдаются там, где минимальны потери осадков на испарение и на инфильтрацию (бассейн Томи). Наименее благоприятные условия формирования речного стока характерны для территорий, где значения коэффициентов испарения и инфильтрации наибольшие (бессточная область, Иртыш, Омь, Ишим).

В статье использованы материалы авторов, вошедшие в Отчеты по государственному Контракту № 08/20 «Исследование современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах рек Оби и Иртыша» (ЦС 0816900 ВР012), а также исследования, поддержанные грантом РФФИ № 09-05-00920.

Литература

1. Антипов А.Н., Федоров В.Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2000. – 254 с.
2. Винокуров Ю.И., Цимбaley Ю.М. Региональная ландшафтная структура Сибири: монография. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2006. – 96 с.
3. Ротанова И.Н., Вагнер А.А., Ведухина В.Г., Цимбaley Ю.М. Гидроморфно-экологический анализ бассейново-ландшафтной системы, // Проблемы региональной экологии. 2008. - № 6. – С. 27-33.

**АНАЭРОБНЫЕ УСЛОВИЯ В ГИДРОСФЕРЕ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ***Шапоренко С.И.**Институт географии РАН, Москва, ser-shaporenko@yandex.ru***ANAEROBIC CONDITIONS IN THE HYDROSPHERE AND THEIR
METEOROLOGICAL FACTORS***Shaporenko S.I.**Institute of Geography RAS, Moscow, ser-shaporenko@yandex.ru*

Развитие анаэробных зон в водоемах обусловлено многообразными природными и антропогенными факторами. Среди них большое значение имеет изменчивость атмосферных процессов разных временных масштабов, которые часто определяют цикличность развития и распространенность зон аноксии.

Development of anaerobic zones in water basins depends on numerous natural and anthropogenic factors. Among theirs the variability of atmospheric processes has great importance. It often determine of recurring development and anoxic zones spreading.

Предложенная автором в 2000 г. концепция двухслойности гидросферы в доказательство объективности сосуществования аэробного и анаэробного слоев в качестве одного из главных аргументов утверждает взаимодействие анаэробного слоя (как части гидросферы) со многими геологическими эндогенными и экзогенными процессами. Если связь существования анаэробных бассейнов с эндогенными процессами более очевидна (гидротермальная и вулканическая деятельность, изолированность водоемов и их частей за счет орогенных процессов с образованием глубинных застойных зон), то связь с метеорологическими условиями чаще всего более опосредована, и даже возможность такой связи может быть выявлена только после специальных исследований. В данной работе сделана попытка обозначить проблему и наметить подход к систематизации имеющихся представлений о влиянии атмосферных процессов на периодичность возникновения анаэробных условий при стагнациях глубинных вод, на положение границы между двумя слоями, а также продолжительность существования анаэробных зон.

Влияние атмосферных процессов на возникновение застойных глубинных анаэробных вод считалось наиболее очевидным в димиктических водоемах. Оно основывалось на известной монографии по лимнологии Д. Хатчинсона, в которой объяснялось исчерпание кислорода в гипolimнионе подавлением газообмена устанавливающейся летом термической стратификацией, а зимой образованием ледового покрова. Из очевидности предпосылок в гидрологии утвердилось не совсем корректное убеждение в том, что на развитие аноксийных условий максимальное влияние оказывает жаркая безветренная погода в течение продолжительного времени, которая обеспечивает существование резкого термоклина и устойчивую плотностную стратификацию. Сочетанием таких же погодных условий объяснялось развитие придонных сероводородных условий в отдельных акваториях (не стратифицированных по солености) Азовского моря, служивших предпосылкой к развитию заморных явлений. Часто это так, но не всегда.

Проводившиеся во второй половине 20 века исследования Азовского моря, в которых обнаруживались поля гипоксии, подтверждали приоритетное значение жаркой безветренной погоды. Но при этом оказалось, что сероводородные условия в придонном слое могут образовываться (хотя

и редко) даже при отсутствии плотностной расслоенности. Дополнительным стимулом для развития аноксии, как правило, на всех водоемах выступает цветение водорослей, а также антропогенное загрязнение органическим веществом.

Продолжительные периоды жаркой летней погоды в сочетании с безветрием и органическим загрязнением (природным и антропогенным) в еще более явной степени служат предпосылками развития сероводородных условий в бассейнах, стратифицированных по солености. Это показали исследования в акватории северо-западного шельфа Черного моря (работы Д.Я. Фащука, Н.А. Берлинского, П.Ю. Селина и др.), на окружающих его Березанском, Днепро-Бугском, Хаджибейском и Тилигульском лиманах, в Каркинитском заливе. Развивающиеся затем сгонные направления ветров приводят к пространственным смещениям сероводородных зон в сторону берега, подъему их к поверхности. Развитие круговоротов на прибрежной (внутренней) стороне струи основного черноморского течения в результате его гидродинамической неустойчивости вызывает локальные подъемы и выход на мелководье вдоль кромки шельфа обедненных кислородом вод с подъемом границы сероводородной зоны по периферии западной черноморской хелисты со 180-200 до 120-140 м. При этом, надо заметить, именно штормовые условия после продолжительных штилей являются непосредственными причинами заморов рыбы (а не сами аноксийные зоны, которые рыбы могут избегать), как было подмечено В.Г. Дацко еще в 1951 г. на Азовском море.

На примере типичного димиктического оз. Глубокого (Рузский район Московской обл.) автором доклада выявлено, что в таких водоемах на развитие летом анаэробной зоны в гипolimнии не продолжительность теплой безветренной погоды существенного влияния не имеет. Также не имеют значения и сроки замерзания озера для развития зимней аноксии. Развитие аноксии зависит от степени аэрации озера, которая осуществляется сразу после вскрытия озера и перед его замерзанием. Степень аэрации гипolimниона весной (по содержанию растворенного кислорода) и показатели развития анаэробного слоя летом (сроки формирования, продолжительность существования и высота границы) наиболее тесно связаны с температурой воздуха (средней, максимальной, минимальной и разностью между ними) за недельный период после вскрытия озера ото льда. Небольшое влияние на аэрацию озера оказывает количество осадков, выпадающих за период 48-54-е сутки после вскрытия. Повышенные скорости ветра на перемешивании положительно сказываются только на второй день после вскрытия, а также за восьмидневный период – время, необходимое для перехода средней температуры воды озера через 4°C. Для зимней стагнации существенное влияние на содержание кислорода в предледоставный период и длину периода, предшествующего развитию анаэробных условий, оказывает количество осадков, выпадающих за 5-6 дней до замерзания. Степень аэрации также определяется средней минимальной температурой воздуха за 5 дней и средней скоростью ветра за 2-4 дня перед ледоставом. Высота подъема верхней границы анаэробного слоя наиболее тесно связана со средней за 64 дня максимальной температурой и разностью средних за 37 дней максимальной и минимальной температур воздуха перед ледоставом.

В период 1960-1980-х годов много внимания было уделено исследованию процессов аэрации и развития анаэробных условий во впадинах Балтийского моря, о которых дают представление работы В.М. Альтшулера, Ю.В. Сустава, серия коллективных монографий по международному проекту «Балтика» и др. публикации. Установлена важнейшая роль режима затоков каттегатских вод, объемы которых определяются барической ситуацией над прибалтийским регионом, включая восточную часть Атлантики. Синоптическая изменчивость ветровой деятельности выступает основным фактором формирования мощных вторжений каттегатских вод, осуществляющих кратковременную аэрацию придонных вод впадин Балтийского моря – Арконской, Борнхольмской, Готландской, Гданьской. Внедрившиеся воды за счет плотностной стратификации затем создают

дефицит кислорода и его исчерпание. При этом крупные затоки могут за счет особенностей водообмена приводить к адвекции анаэробных вод из упомянутых впадин в Северо-Балтийскую впадину и в Финский залив. Помимо водообмена через Датские проливы на развитие анаэробных зон оказывает влияние процесс эвтрофикации моря, усиливающийся за счет повышенного речного стока в периоды повышенного количества осадков (например, в начале и конце 20 века).

Анализ годового хода средних месячных значений водообмена и его составляющих показал, что наибольший приток североморских вод в море чаще всего происходит осенью и зимой и обусловлен наибольшей активностью атмосферных процессов в это время над регионом. Климатическая изменчивость индексов атмосферной циркуляции (частота проявления западного, восточного или меридионального атмосферных переносов) обуславливает многолетнюю изменчивость объема речного притока и режима водообмена со сменой аэробной и анаэробной обстановок во впадинах Балтийского моря.

В меромиктических водоемах анаэробная зона, как правило, существует постоянно. Метеорологические факторы могут обуславливать вертикальное колебание ее границы. Наиболее заметно это проявляется в самом крупном застойном бассейне – Черном море, в котором граница сероводородной зоны, имеющая волнообразную поверхность, четко привязана к интервалу изопикн в 16.15-16.23 (в среднем 16.18). Экспериментальные исследования, проведенные Д.Я. Фащуком с соавторами в 1986 г. в районе Ялты, показали синхронность колебания поверхности анаэробных вод с прохождением циклонов (изменением давления) с фазовым смещением на 12 часов. При прохождении наиболее мощных циклонов амплитуда колебаний достигала 20-25 м. Установлена возможность прогноза положения границы сероводородной зоны в море по полю давления в Ялте с заблаговременностью 0.5-2 суток. Осредненное за месяц положение уровня границы хорошо коррелирует с величиной среднемесячного давления с заблаговременностью в 2 месяца, а величина среднегодового давления определяет среднее положение границы на следующий год. Закономерности поведения границы сероводородной зоны в этом районе подтверждены сотрудниками севастопольского МГИ в 1997 г. Сходная картина реакции поверхности анаэробной зоны на поле давления наблюдалась и при исследованиях 1999-2001 гг. в СВ части Черного моря (работы В.К. Часовникова с соавторами).

Хорошо известна связь мощности холодного промежуточного слоя (ХПС) в центральной и восточной частях Черного моря с температурными условиями зимой на северо-западе Причерноморья. Чем холоднее зима, тем сильнее охлаждаются воды на СЗ моря и более мощный промежуточный слой они формируют. Верхняя граница сероводородной зоны привязана к нижней границы ХПС. Поэтому, чем холоднее зима, тем глубже она погружается, и чем теплее зимы, тем выше граница располагается. Самое низкое положение уровня границы на разрезе Ялта – Батуми (180 м) в 1954-57 гг. связаны с аномально суровой зимой 1953/54 гг. (работы В.А. Брянцева, А.А. Безбородова, В.Н. Еремеева и др.). Таким образом, высота границы испытывает межгодовые колебания в зависимости от изменчивости температуры воздуха зимой. Позднее В.Б. Титовым выявлено наложение на термический фактор эффекта динамического «раскручивания» циклонической циркуляции северными ветрами.

С положительным трендом зимних температур в последние десятилетия 20 века связывают намечающийся подъем границы сероводородной зоны Черного моря в поле плотности (В.К. Часовников и др.)

Более опосредованная связь высоты границы анаэробной зоны с температурой воздуха зимой прослеживается в лагунах Белого моря, исследованных автором с коллегами. Плотностная стратификация в небольших по глубине озерах (максимум 5-6 м), отшнуровывающихся от акватории Кандалакшского залива, но не утративших с ней связь, устанавливается за счет повышенной солености придонных вод. Она же в свою очередь определяется выведением летом солей из поро-

вых рассолов донных осадков, которые накапливаются в них в период образования и роста льда. Таким образом, прослеживается цепочка связанных процессов: чем суровее и малоснежнее зима, тем больше мощность образующегося ледового покрова, тем больше осолонение водоема и тем больше соленость придонных вод в летний период, которая создает устойчивую стратификацию и препятствует взаимодействию кислородного и сероводородного слоев.

Влияние изменений климата на различные параметры анаэробных зон даже для крупных морских водоемов проследить довольно сложно в связи с отсутствием достаточно длительных рядов наблюдений. Вместе с этим вполне очевидно существование такой связи с климатическими изменениями температуры и увлажненности водосборных бассейнов, поскольку они влияют на плотностную стратификацию, водообмен и поступление органических и биогенных веществ, стимулирующих евтрофирование водоемов. По-видимому, выделяемые Ю.М. Гаргопой циклы изменчивости характера климатических колебаний над югом ЕТР в связи с гидрологической структурой южных водоемов, имеют последствия и в режиме анаэробных бассейнов. Увеличение речного притока на СЗ шельфе Черного моря приводит к распреснению верхнего слоя, обострению плотностной стратификации, обеспечивает повышенный вынос органических веществ и в итоге стимулирует развитие анаэробных зон. В лиманах повышенный речной приток должен способствовать улучшению их промывного режима и ослаблению напряженности кислородного режима. В Азовском море реакцию режима зон аноксии на изменения климата проследить гораздо сложнее, хотя она также должна иметь место.

Связь анаэробных зон (продолжительность существования, положение границы в водоемах) с разнообразными метеорологическими факторами однозначно свидетельствует о единстве процессов взаимодействия атмосферы с гидросферой и с анаэробным слоем как составной ее частью.

ВОДА И ГЛОБАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Шварцев С.Л.

*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
Томск, tomsk@igng.tsc.ru*

WATER AND GLOBAL EVOLUTION

Shvartsev S.L.

*Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS,
Tomsk, tomsk@igng.tsc.ru*

В работе рассматриваются основные механизмы геологически длительной эволюции системы «вода-порода». Показано, что глобальная эволюция началась с взаимодействия воды с эндогенными горными породами, и что живые системы унаследовали механизмы эволюции, начатой в системе «вода-порода».

This work describes the basic mechanisms of the long geological evolution of the «water-rock» system. It is shown that the global evolution began with the interaction of water with endogenous rocks, and the living systems inherited mechanisms of evolution, that started in the «water-rock» system.

О роли воды в формировании окружающего нас мира и происхождении жизни написано очень много. Непревзойденной в этом плане является книга В.И. Вернадского «История природных вод» [2]. Как только не называли воду: сок жизни (Леонардо да Винчи), одухотворенная вода (Р. Дюбуа), основное тело мироздания (В.И. Вернадский), сама жизнь (А. Сент-Экзюпери), самое необычное вещество (И.В. Петрянов-Соколов), наиболее ценное полезное ископаемое (А.П. Карпинский) и т.д.

В основном вода изучается как важнейший природный ресурс. И в этом плане достигнуты огромные успехи. Но слабо вода изучается как главная стихия или первоначально нашей планеты, ее взаимодействие с другими основными компонентами Земли. В этой связи нельзя не вспомнить В.И. Вернадского, который вслед за Ж.Б. Ламарком глубоко развил тезис о том, что среди основных стихий вода занимает совершенно особое положение, что «Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов» [2, с. 20]. Эта мысль им развивается применительно к разным оболочкам Земли не только земная поверхность, но и глубокие части планеты зависят в самых существенных проявлениях наличием и свойствами воды: вода создает основные механизмы земной коры, вплоть до магматической оболочки, по крайней мере; ею вызывается и отчасти создается электрическое поле планеты и ее атмосферы; свойства воды создают климат и определяют термодинамику атмосферы; вода определяет всю химию земной коры и среду жизни; природная вода охватывает и создает всю жизнь человека, так как едва ли есть какое-нибудь другое природное тело, которое бы до такой степени определяло его общественный уклад, быт, существование; вода определяет и создает всю биосферу.

За каждым из приведенных высказываний глубочайшее научное обобщение многочисленных эмпирических фактов, величайшая, сконцентрированная в емкой фразе мысль, определяющая парадигму всего нашего знания о роли воды в развитии нашей планеты и ее особого положения среди всех других стихий. Особое положение воды, по В.И. Вернадскому, определяется ее необычными

физико-химическими и термодинамическими свойствами, строением, многообразием видов и форм ее проявления на планете, единством всех ее типов, «всюдностью», геологически вечной подвижностью и т.д. Все эти и многие другие особенности, о которых написаны книги, делают воду совершенно уникальным соединением, непохожим ни на одно другое вещество Земли, которое обеспечило жизнь на нашей планете.

Вода сама по себе уникальный объект для фундаментальных исследований, но еще важнее механизмы ее взаимодействия с другими основными компонентами планеты. В этом плане опять же мы должны обратиться к В.И. Вернадскому, который показал, что взаимодействие воды с горными породами, газами и органическим веществом является главным механизмом формирования земной коры и всего окружающего мира. И что главным компонентом в этой системе опять же выступает вода. Как следует из законов термодинамики, химические элементы активны только в растворенном состоянии, поскольку активность твердых тел и самой воды равна 1, а растворенных соединений меняется в широких пределах. Поэтому состав воды выступает тем алгоритмом, который контролирует растворение и осаждение (образование) всех вторичных минеральных и органических образований [7].

Одной из наиболее интересных оказалась система «вода-порода», которая привлекает ученых всего мира. Например, на последнем 12-ом международном симпозиуме по этой проблеме, который проходил в августе 2007 г. в Кунь-Мине (Китай) было заслушано 360 докладов ученых из 37 стран мира.

Обобщение огромного фактического материала по характеру равновесия самых разнообразных по составу и солености подземных вод позволило нам показать, что на любом участке земной коры, начиная с зоны гипергенеза и кончая зоной низкотемпературного метаморфизма ($T < 400^\circ\text{C}$), все природные воды всегда неравновесны с одними минералами (эндогенными), которые они непрерывно растворяют, но в то же время всегда равновесны с какими-то вторичными минералами, которые постоянно формируют. Все это позволило нам еще в 1975 г. сформулировать новое положение о том, что в условиях земной коры система «вода-порода» является всюду *равновесно-неравновесной, способной к непрерывному взаимодействию и развитию в течение геологически длительного времени*. Позже этот принцип подтвержден на базе более широких данных [1, 6].

Равновесно-неравновесный характер системы «вода-порода» определяет ее способность к непрерывной внутренней эволюции независимо ни от каких внешних факторов. Впервые в неживых геологических объектах установлена стационарная система, способная к независимой внутренней эволюции с образованием принципиально новых разнообразных жидких и твердых продуктов. Одним из результатов такой эволюции является формирование на нашей планете самоорганизующихся абиогенных диссипативных структур [5].

Как оказалось система «вода-порода» обладает рядом фундаментальных свойств, среди которых можно назвать: 1) равновесно-неравновесный характер; 2) нелинейность развития; 3) однонаправленность эволюции; 4) необратимость взаимодействия; 5) способность к захвату пространства; 6) наличие механизмов конкурирующего минералообразования; 7) наличие механизмов влияния дочерних систем на материнские; 8) наличие механизмов внутренней физико-химической эволюции; 9) способность аккумулировать энергию и многие другие [6].

В системе «вода-порода» реализуется принцип Пригожина, согласно которому в открытых системах, получающих энергию из внешней среды, могут возникать стационарные неравновесные состояния с высокой степенью упорядоченности [3, 4]. Эволюцию системы «вода-порода» по Пригожину можно изобразить схематически (рис. 1). Строго направленная эволюция состава воды приводит в точках бифуркации к возникновению новых дочерних систем, каждая из которых сложнее предыдущей.

Управляющим параметром здесь служит состав воды, а термодинамической переменной – константа реакций растворения. Другими словами, в рассматриваемой системе имеют место два типа эволюции: один в водном растворе – *плавный и неразрывный* и другой в составе твёрдых фаз – *дискретный или скачкообразный*. Непрерывность изменения состава – такая же характерная черта воды, как её течение в реке. При этом в природе нет сил, способных остановить это изменение, кроме изоляции воды от горной породы и земных газов.

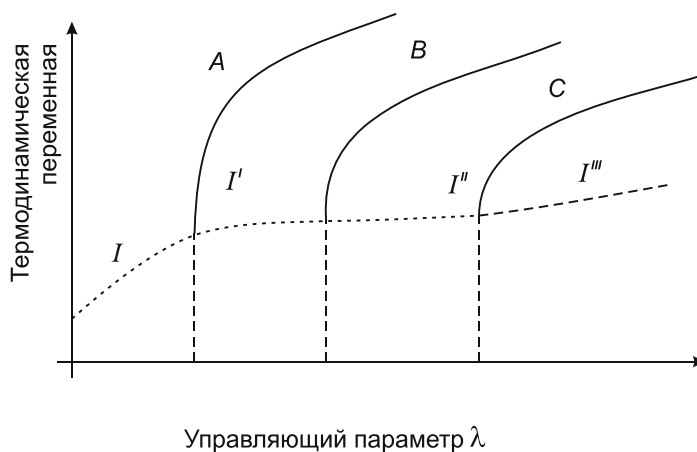


Рисунок 1. Эволюция системы вода-порода с позиций синергетики:

начальная эволюция системы (I) в критических точках λ_a , λ_b , и λ_c становится неустойчивой (I' , I'' , I''') и меняет направление по линиям A , B , C , которые более устойчивы в данной среде.

Есть еще одна важная особенность эволюции рассматриваемой системы. Это ее способность менять характер взаимодействия с одной и той же горной породой. Это связано с тем, что растущий вторичный комплекс формирует барьер на пути движения воды к исходной (эндогенной) породе. Новые порции воды вынуждены взаимодействовать в начале с вторичными продуктами и только позже – с эндогенными породами. Взаимодействие воды с последней начинается не сразу, а только через некоторое время, необходимое для фильтрации раствора через продукты гидролиза. Поэтому в контакт с эндогенными породами вступает не чистая вода, а содержащая некоторое количество солей. Это меняет первоначальный характер взаимодействия воды. Иначе говоря, взаимодействие воды с эндогенными породами начинается не в точке A (рис. 2), как это происходит с чистой водой, а в какой-то следующей точке, где формируются не прежние, вторичные продукты, а новые. Например, вместо гиббсита образуется каолинит, вместо каолинита – монтмориллонит и т.д. Но если это так, то мы имеем принципиально новое явление, когда горная порода того же состава, что и раньше, под влиянием дочернего продукта, отдавшего только часть элементов в просачивающийся раствор, меняет характер взаимодействия с водой и формирует принципиально новый вторичный минерал. Следовательно, эволюция в системе «вода-порода» носит ещё более сложный характер, чем до сих пор думали.

Перечень фундаментальных механизмов, имеющих место в системе вода-порода, можно продолжать. Важно, что в неживой природе открыты механизмы эволюции, обусловленные необычными свойствами воды. Но самое, пожалуй, удивительное состоит в том, что все перечисленные свойства характерны и для живой материи. Отсюда мы сделали вывод, что биологические системы ландшафтной сферы унаследовали многие механизмы эволюции, которые имеют место в системе «вода-порода».

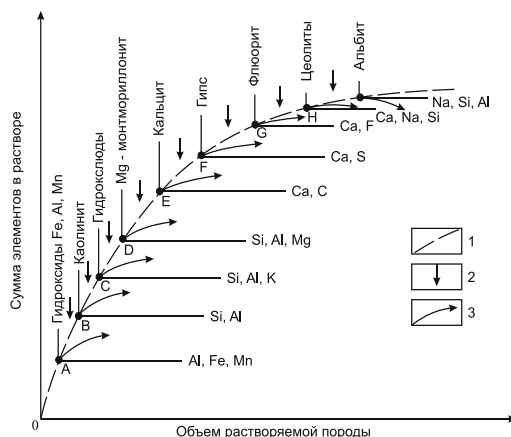


Рисунок 2. Последовательность образования вторичных минералов в ходе эволюции системы вода-порода в условиях зоны гипергенеза:

А-І – точки начала выпадения новой вторичной фазы, соотношение твердых и растворенных минералов; 2 – зоны возможного поступления воды к контакту с горной породой; 3 – зоны возможного прекращения взаимодействия воды с горной породой.

Тем самым впервые между водно-геологическими и биологическими системами найдена некоторая общность. При этом, ясно, что ее создает вода.

Таким образом, с момента появления воды на Земле возникла необычная открытая стационарная система, обладающая рядом фундаментальных механизмов взаимодействия, которые определяют ее как уникальную среди абиогенных систем на нашей планете. Абиогенная система «вода-порода» обладает разнообразными фундаментальными механизмами взаимодействия и эволюции, большинство из которых, а возможно, и все удивительным образом повторяются в живых системах. Поэтому мы предполагаем, что не только глобальная эволюция, но и происхождение жизни связано с системой «вода-порода» [8].

Литература

1. Алексеев В.А., Рыженко Б.Н., Шварцев С.Л., Зверев В.П., Букаты М.Б., Мироненко М.В., Чарыкова М.В., Чудаев О.В. Геологическая эволюция и самоорганизация системы «вода-порода». Т.1. Система «вода-порода» в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование. - Новосибирск: Изд. СО РАН, 2005. - 244с.
2. Вернадский В.И. История природных вод. - М.: Наука, 2003. - 751с.
3. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. - М.: Мир, 1990. - 342с.
4. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. - М.: Прогресс, 1986. - 431с.
5. Шварцев С.Л. Прогрессивно самоорганизующиеся абиогенные диссипативные структуры в геологической истории Земли // Литосфера, 2007, №1., С. 65-89.
6. Шварцев С. Л., Рыженко Б. Н., Алексеев В. А., Дутова Е. М., Кондратьева И.А., Копылова Ю.Г., Лепкурова О.Е. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода - порода. т.2. Система вода - порода в условиях зоны гипергенеза. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2007, 389с.
7. Шварцев С.Л. Фундаментальные механизмы взаимодействия в системе вода – горная порода и ее внутренняя геологическая эволюция // Литосфера - 2008. - №6. - С.3-24.
8. Шварцев С. Л. С чего началась глобальная эволюция? // Вестник РАН. - 2010. - Т.80. №3. - С. 235-244.

О ВЛИЯНИИ МУЛЬЧИРОВАНИЯ ПОЧВЫ НА ИСПАРЕНИЕ С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

Шумова Н.А.

Институт водных проблем РАН, Москва, shumova@aqua.laser.ru

ON THE SOIL MULCHING AFFECT ON EVAPOTRANSPIRATION FROM AGRICULTURAL FIELDS

Shumova N.A.

Water Problems Institute RAS, Moscow, shumova@aqua.laser.ru

Приводятся результаты оценки суммарного испарения полей яровой пшеницы на юге Русской равнины при использовании традиционной агротехники и при мульчировании почвы. Показано, что в отдельных регионах исследуемой территории мульчирование почвы может привести к уменьшению суммарного испарения с сельскохозяйственных полей и возможному появлению очагов переувлажнения.

The calculation results are given for spring wheat field evapotranspiration in the South of the Russian Plane when the traditional agrotechnique and soil mulching are used. It is demonstrated that the soil mulching can lead to a decrease in agricultural field evapotranspiration and to possible occurrence of overmoistening centers.

В последнее время в сельскохозяйственном производстве растет интерес к природоохранной агротехнике, связанной с минимальным воздействием человека на окружающую среду. Естественные экосистемы имеют на поверхности почвы слой войлока и подстилку из отмершей растительной массы, что позволяет им оптимально использовать ресурсы биосферы. Используя технологию прямого посева и минимальной обработки почвы, одним из звеньев которой является мульчирование почвы, можно привести агроэкосистему к более естественному для биосферы виду.

Применение мульчирования почвы способствует значительному снижению испарения воды почвой и увеличению транспирации, в результате чего повышается водообеспеченность посевов. Если в условиях естественного увлажнения в лесостепной и степной зонах доля транспирации в суммарном испарении полей яровой пшеницы составляет 30-40%, то при мульчировании почвы соломой ее (транспирации) доля может составить более 60% [2].

Задачей настоящей работы является оценка влияния мульчирования почвы на суммарное испарение полей яровой пшеницы в лесостепной и степной зонах. А именно, изменяется ли сама величина суммарного испарения при мульчировании почвы или происходит только изменение структуры суммарного испарения за счет снижения ее непродуктивной составляющей. Этот вопрос в настоящее время является весьма актуальным, так как снижение суммарного испарения при мульчировании почвы может привести к изменению структуры гидрологического цикла – к накоплению запасов воды в почве, что весьма нежелательно в условиях современного гидроморфизма [1].

Методика оценки суммарного испарения в условиях применения традиционной агротехники и при мульчировании почвы подробно описана в [2]. Остановимся на полученных результатах и их анализе.

На рис. 1а представлен график связи между средним многолетним суммарным испарением полей

яровой пшеницы за безморозный период в условиях применения традиционной агротехники E_C и при мульчировании почвы $E_{\text{мулч}}$. Точки на графике лежат или на прямой, проведенной из начала координат под углом 45° , или ниже нее. Это свидетельствует о том, что суммарное испарение за безморозный период при мульчировании почвы или сохраняет свое первоначальное значение, или же уменьшается по сравнению с суммарным испарением в условиях применения традиционной агротехники. То есть для средних многолетних условий можно записать $E_{\text{мулч}} / E_C \leq 1$. На рис. 2 показано пространственное распределение средних многолетних значений отношений $E_{\text{мулч}} / E_C$, полученных по материалам расчетов для 28 станций исследуемого региона.

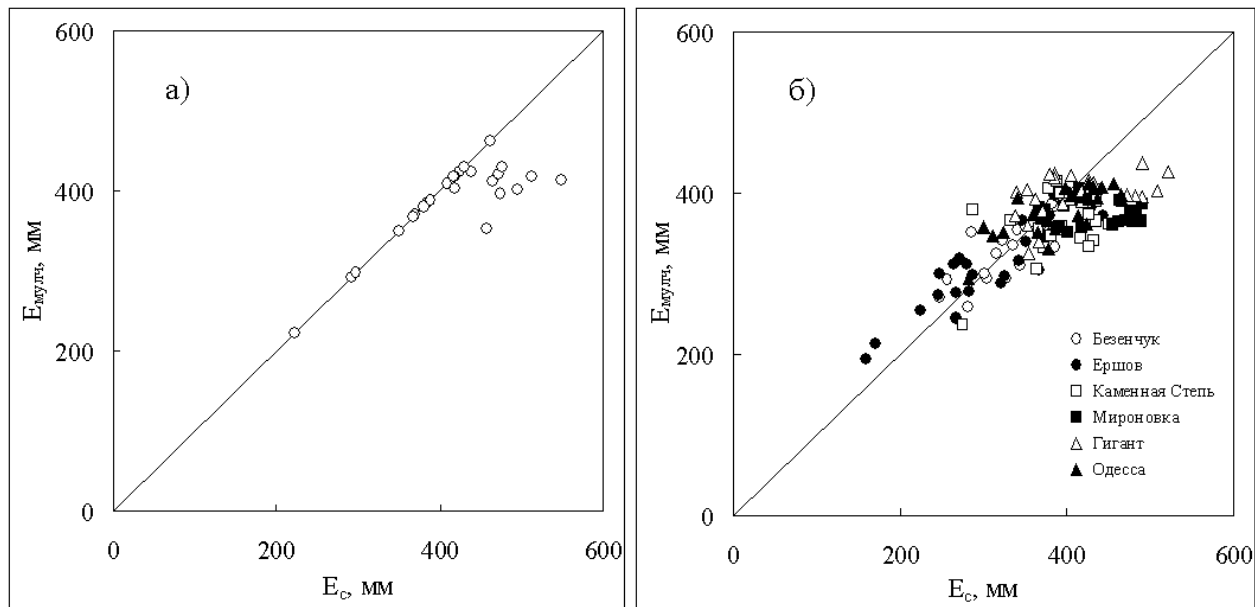


Рис. 1. График связи между (а) средними многолетними и (б) по отдельным годам значениями суммарного испарения полей яровой пшеницы в условиях применения традиционной агротехники E_C и при мульчировании почвы $E_{\text{мулч}}$.

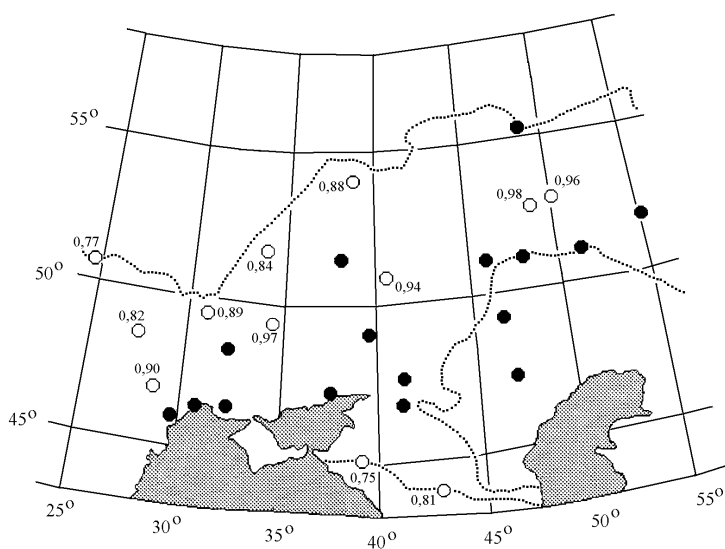


Рис. 2. Средние многолетние значения отношений $E_{\text{мулч}} / E_C$. Темными кружками показаны случаи, когда $E_{\text{мулч}} = E_C$.

Для засушливой части территории характерно равенство $E_{\text{мулч}} / E_C = 1$, а для более влажных регионов - $E_{\text{мулч}} / E_C < 1$. В среднем же при мульчировании почвы величина отношения $E_{\text{мулч}} / E_C$ в лесостепной и степной зонах может составить 0,94, то есть суммарное испарение при мульчировании почвы может уменьшиться на 6%. Если рассматривать конкретные станции, то в среднем многолетнем разрезе уменьшение суммарного испарения за безморозный период может достигать до 23-25% (Владимир-Волынский и Краснодар), что в абсолютных величинах составляет 105 и 135 мм соответственно.

Представление о том, как за отдельные годы соотносится суммарное испарение в условиях применения традиционной агротехники и при мульчировании почвы дают хронологические графики, показанные на рис. 3.

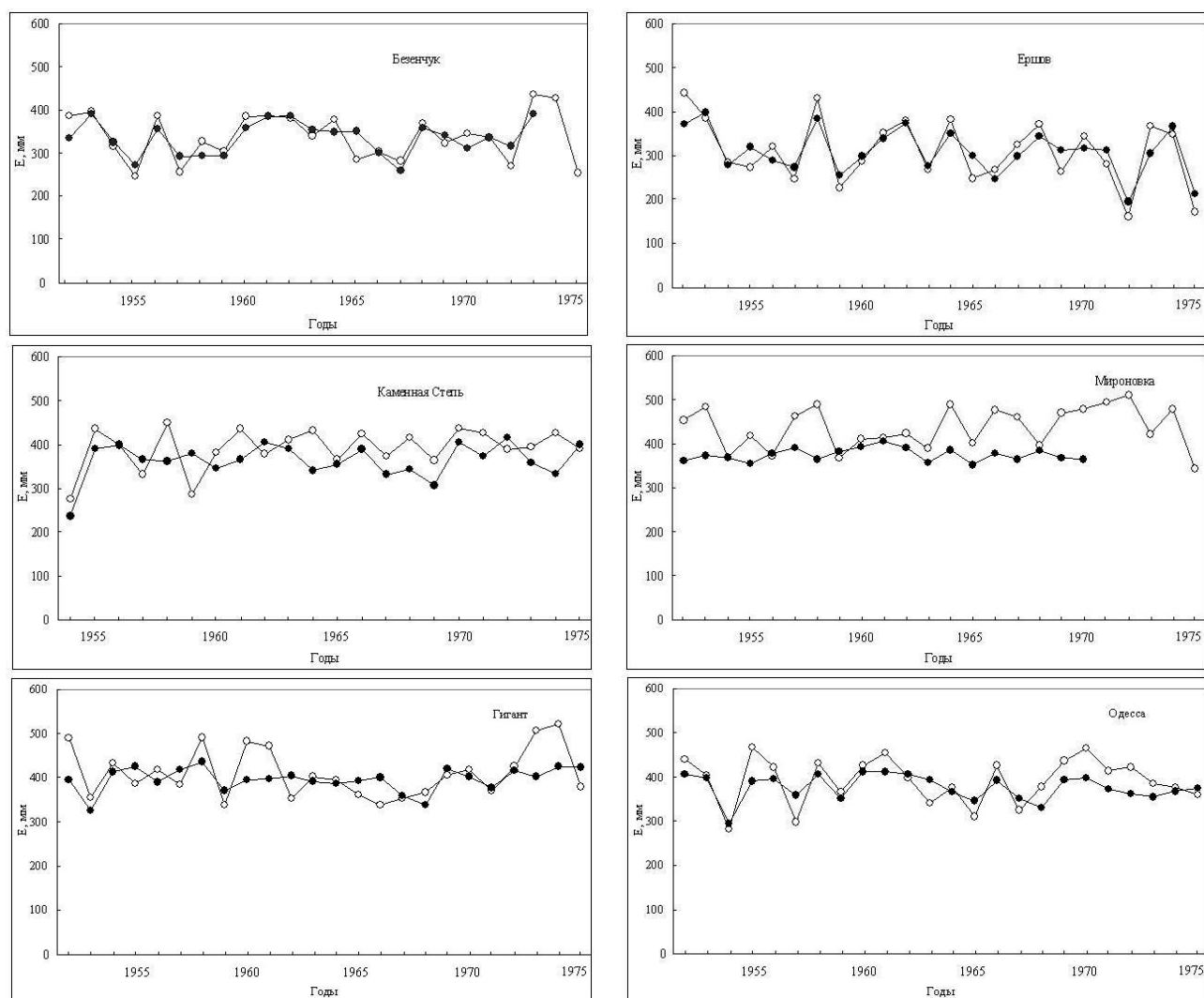


Рис. 3. Межгодовая динамика суммарного испарения полей яровой пшеницы за безморозный период в условиях применения традиционной агротехники E_C (светлые кружки) и при мульчировании почвы $E_{\text{мулч}}$ (темные значки).

На графиках (рис. 3) можно проследить, что в отдельные годы мульчирование приводит к снижению суммарного испарения, а в последующие накопленная в почве вода может привести к его увеличению (за счет увеличения транспирации). Это характерно, в основном, для засушливых станций Безенчук и Ершов. В Каменной Степи и Мироновке в большей части случаев испарение при наличии мульчи заметно ниже. Иллюстрацией этого может служить график, построенный по

результатам расчетов суммарного испарения за отдельные годы для характерных станций (рис. 1-б). За исследуемый ряд лет максимальная величина уменьшения суммарного испарения при мульчировании составила от 53 мм (Безенчук) до 124 мм (Мироновка).

Таблица

Средние величины суммарного испарения посевов яровой пшеницы и их статистические характеристики при традиционной агротехнике

Станция	Традиционная агротехника			Мульчирование почвы		
	$\bar{E}_C$, мм	σ_{E_C} , мм	$C_{V E_C}$	$E_{\text{мулч}}$, мм	$\sigma_{E_{\text{мулч}}}$, мм	$C_{V E_{\text{мулч}}}$
Безенчук	340	56	0,16	334	37	0,11
Ершов	305	78	0,26	308	51	0,17
Каменная Степь	388	58	0,15	363	39	0,11
Мироновка	456	58	0,13	374	14	0,04
Гигант	404	62	0,15	396	26	0,07
Одесса	387	58	0,15	376	29	0,08

Примечание. $\bar{E}_C$ - средняя величина, σ_{E_C} - среднее квадратичное отклонение, $C_{V E_C}$ - коэффициент вариации) и мульчировании почвы ($E_{\text{мулч}}$ - средняя величина, $\sigma_{E_{\text{мулч}}}$ - среднее квадратичное отклонение, $C_{V E_{\text{мулч}}}$ - коэффициент вариации

Анализ полученных результатов показал (табл. 1), что для станций Безенчук и Ершов средние величины суммарного испарения при использовании традиционной агротехники E_C и при мульчировании почвы $E_{\text{мулч}}$ практически одни и те же. Величина расхождений между ними находится в пределах точности метода расчета испарения. В среднем на 3-4% (8-11 мм) уменьшается величина суммарного испарения при мульчировании почвы на станциях Гигант и Одесса. Наибольшего снижения суммарного испарения при мульчировании почвы можно ожидать в Каменной Степи (на 7% или 25 мм) и в Мироновке (на 14% или 82 мм).

Заметно уменьшаются средние квадратичные отклонения величин суммарного испарения при мульчировании почвы и находятся в пределах от 14 мм (Мироновка) до 51 мм (Ершов). В условиях применения традиционной агротехники диапазон изменения величин среднего квадратичного отклонения 56-78 мм. Что касается коэффициента вариации суммарного испарения при мульчировании почвы, то он также значительно ниже чем в условиях применения традиционной агротехники и составляет от 0,04 в Мироновке до 0,17 в Ершове.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что если в засушливых регионах величина суммарного испарения при мульчировании почвы не изменяется $E_{\text{мулч}} = E_C$, а изменяется лишь соотношение между транспирацией и испарением воды почвой, то в более увлажненных регионах наряду с изменением этого соотношения имеет место уменьшение суммарного испарения при мульчировании почвы $E_{\text{мулч}} < E_C$, что может привести к определенному нарушению естественной структуры гидрологического цикла.

Литература

1. Новикова Н.М., Назаренко О.Г. Современный гидроморфизм: процессы, формы, проявления, признаки // Аридные экосистемы. 2007. Т.13. № 33-34. – С. 70-82.
2. Шумова Н.А. Влияние мульчирования на суммарное испарение полей яровой пшеницы на юге Русской равнины // Метеорология и гидрология. 2010. № 2. –С. 82-91.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РИСКОВ

Абасов Н.В., Осипчук Е.Н.

*Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН, г. Иркутск,
nva@isem.sei.irk.ru, eugene.os@mail.ru*

APPLICATION OF RESERVOIR MODELING SUBSYSTEM FOR WATER-MANAGEMENT RISKS ESTIMATION

Abasov N.V., Osipchuk E.N.

Energy Systems Institute of the SB RAS, Irkutsk

Рассматривается подсистема моделирования водохранилища и её применение для оценки водохозяйственных рисков, связанных с маловодными периодами и повышенной водностью на проектируемых водохранилищах, являющейся базовой для разрабатываемой в ИСЭМ СО РАН системы предварительного проектирования и анализа гидроэнергетических схем развития.

The paper gives description of reservoir modeling subsystem and its application for water-management risks estimation. The risks are related to water-short and higher water periods on designed reservoir. The subsystem is fundamental part of the system, which are developed at the Energy Systems Institute of the SB RAS for preliminary designing and analysis of hydroelectric plans progress.

Экономическая реализация запасов гидроэнергоресурсов Сибирского и Дальневосточного округов может позволить увеличить выработку гидроэнергии страны в несколько раз. Несмотря на дороговизну проектов по созданию новых гидроэнергетических сооружений, продолжаются исследования по разработке планов гидроэлектрификации страны современного уровня (например, долговременный проект Б.В. Ерахтина [1]).

Опыт гидроэнергетического строительства показал, что многие возникающие впоследствии водохозяйственные и экологические проблемы рассматривались недостаточно глубоко на стадиях проектирования, а перепроектирование представляет еще более сложную задачу. В связи с этим целесообразным является проведение тщательных исследований по оценке различных рисков на предварительных стадиях проектирования ГЭС.

Современные информационно-вычислительные средства (ГИС, АСУ, системы имитационного моделирования и др.) позволяют на новом уровне исследовать безопасность и оперативно проводить оценки по различным потенциальным рискам проектируемых ГЭС. Существуют также специализированные системы управления водными ресурсами (например, программный комплекс МИКЕ11[2]), однако данные системы, как правило, являются коммерческими закрытыми разработками, которые сложно адаптировать к новым методам исследования.

В предлагаемом подходе [3] главный упор делается на создание мобильной кроссплатформенной технологии, основанной на компонентном подходе, с возможностью взаимодействия с различными свободно-распространяемыми программными продуктами.

Разрабатываемая в ИСЭМ СО РАН система Анализа, Проектирования и Имитационного Моделирования ГидроЭнергетических Схем развития энергетики (АПИМГЭС) опирается на

прогностические показатели различных вариантов притока, формируемые системой ГИПСАР [4]. Подсистема моделирования водохранилища, состоящая из компонентов АПИМГЭС, позволяет исследовать режимы работы одной или нескольких ГЭС и их взаимодействие, оценивать влияние ГЭС на окружающую среду, проводить оценки затопляемой территории во время повышенных паводков.

1. Структура и функции подсистемы для моделирования водохранилища. По данным спутникового зондирования рельефа местности высокого разрешения от NASA (с точностью $3'' \times 3''$ сеточного разрешения), крупномасштабных карт множества ГИС-проектов (ArcGIS, Mapinfo, SAGA и др.), распределённых точечных данных информационно-прогностической системы ГИПСАР [4] подсистема позволяет оперативно исследовать различные зоны затопления и характеристики водохранилищ проектируемых ГЭС различного класса: отображать границу затопления в пределах от уровня мертвого объема (УМО) до нормального (НПУ) и форсированного (ФПУ) подпорных уровней; рассчитывать площадь зеркала и объём водохранилища, устанавливать их зависимости от уровня воды; рассчитывать время наполнения водохранилища при различных прогностических показателях притока.

Подсистема включает следующие базовые компоненты: растрового и векторного моделирования рельефа и водохранилища; формирования модели плотины ГЭС; определения контура водохранилища с расчетом его характеристик.

Компонент растрового моделирования (рис.1а) по задаваемому соответствию цветовой палитры и диапазону высот опорных точек спутникового зондирования позволяет интерактивно визуализировать карты с расположением гидроэнергетических и пространственных объектов (организованных в виде слоев), менять масштаб отображения, определять координаты задаваемых узлов, находить минимальные и максимальные высоты выбранного региона, уточнять русла рек с использованием метода наискорейшего спуска. Компонент векторного моделирования (рис.1б) позволяет выбирать необходимый ракурс обзора через углы поворота, смещение и масштабирование в трёхмерном пространстве.

2. Технология работы подсистемы моделирования водохранилища. Разработанная технология для моделирования водохранилища проектируемой ГЭС включает: 1) выбор блока данных исследуемого региона из хранилища; 2) построение растровой и векторной моделей рельефа с нанесением пространственных объектов; 3) ввод параметров плотин (двух опорных узлов на границах створа реки, толщины, высоты гребня плотины и др.); 4) ввод параметров водохранилища (УМО, НПУ, ФПУ и др.); 5) моделирование заполнения и расчёт характеристик водохранилища.

Для формирования контура водохранилища, нахождения его площади $S(h)$ и объёма $V(h)$ для заданной высоты верхнего бьефа h разработаны алгоритмы на растровой (аналогично алгоритму закрашки многосвязной области в машинной графике) и векторной моделях рельефа.

Пусть множество узлов сетки зондирования: $\Omega = \{p_j : i \in I, j \in J\}$, $I = \overline{1, n}$, $J = \overline{1, m}$. Массив узлов водохранилища: $R(h) = \{a_{x(k), y(k)} : k = \overline{1, N^R(h)}, x(k) \in I, y(k) \in J\}$, $R(h) \subset \Omega$, где $N^R(h)$ – число узлов водохранилища. $\tilde{R}(h_1, h_2) = R(h_1) - R(h_2)$, $h_1 > h_2$ – узлы затопления между уровнями h_1, h_2 .

Для режимов водохранилища определяются: $\tilde{R}(H^{\text{ФПУ}}, H^{\text{НПУ}})$ – территория затопления форсированного режима; $\tilde{R}(H^{\text{НПУ}}, H^{\text{УМО}})$ – территория затопления нормального режима, $\tilde{R}(H^{\text{УМО}}, h_0)$ – территория полного затопления.

Площадь водохранилища оценивается: $S(h) \approx s \cdot (N^R(h) + \frac{K(h)}{2})$, где $K(h)$ – количество граничных узлов с берегом, s – площадь узла регулярной сетки. Объём водохранилища:

$$V(h) \approx s \cdot \sum_{k=1}^{N^R(h)} (h - a_{x(k) y(k)})$$

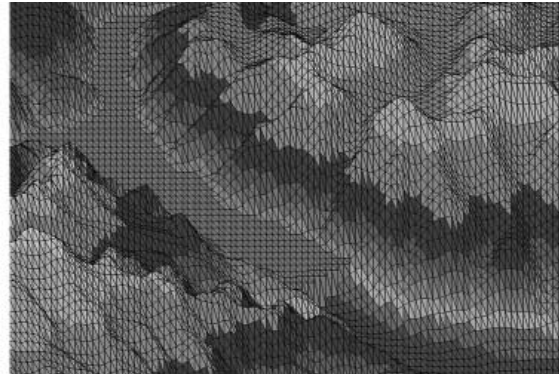
Формируемая зависимость $V(h)$ передается компоненту АПИМГЭС для моделирования гидроэнергетического потенциала, который по данным прогноза притока, критериев оптимизации и ограничений проводит основные энергетические и водные расчёты: высоту верхнего и нижнего бьефа, фактическую и потенциальную выработку электроэнергии ГЭС и др.

Гидроэнергетический потенциал $E(t)$ за период t определяется в виде: $E(t) = m \cdot \int_0^t w(t) \cdot h(t) \cdot dt$, где m – некоторый постоянный коэффициент, $w(t)$ – суммарный приток в водохранилище.

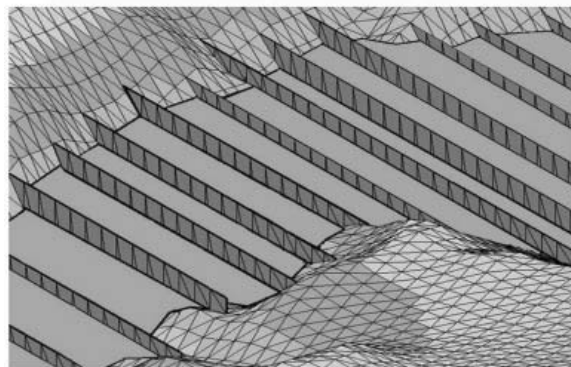
Режим работы ГЭС определяется регулированием объёма водохранилища вида: $\int_{t_0}^t w(t) dt - \int_{t_0}^t q(t) dt = V(t) - V(t_0) - u(t, t_0)$, где $q(t)$ – расход, пропускаемый через турбины ГЭС, $u(t, t_0)$ – объём воды, связанный с испарением, фильтрацией и подземным стоком.



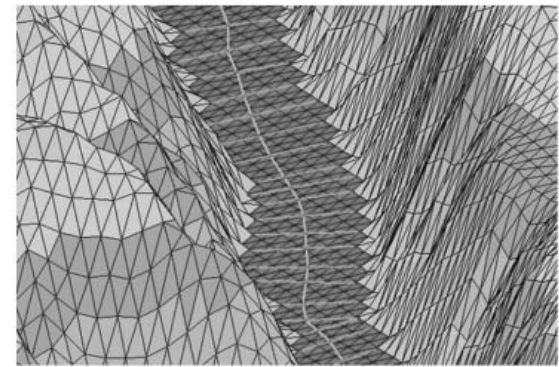
а)



б)



в)



г)

Рис.1. Примеры использования подсистемы моделирования водохранилища:

- а) исследование территории Тункинской долины, чувствительной к поднятию уровня воды,
- б) моделирование Мондинской ГЭС [1], в) размещение виртуального каскада для моделирования наводнений, г) формирование направляющей русла реки Иркут для моделирования наводнений.

Специальные компоненты АПИМГЭС для оценки рисков проводят анализ полученных гидрологических и энергетических характеристик с учётом энергетических, экологических, водохозяйственных и других требований.

3. Моделирование паводков. При формировании прогностических показателей повышенной водности, создающих угрозу наводнений, подсистема может использоваться для их моделирования в различных створах реки. В настоящее время разрабатывается компонент гидродинамического моделирования на основе двумерных уравнений Сен-Венана [5]. Для упрощённых оценок зон затопления разработан подход, включающий формирование виртуальных плотин. При этом в выбранном створе размещается виртуальная плотина, моделируется виртуальное водохранилище, определяется площадь и объём затопления, исследуется затопляемая территория для разного уровня подъёма реки. Для более точного определения контура затопления может быть размещён виртуальный каскад (рис.1в) с указанием шага расположения плотин. Также для моделирования паводков используется компонент поднятия уровня воды на одинаковую высоту вдоль русла реки (рис.1г).

Заключение. Разработанные компоненты моделирования водохранилища позволяют оперативно формировать калибровочные показатели его объёма и площади зеркала для различного уровня верхнего бьефа, что является основой исследований по анализу территорий, подвергающихся регулярному воздействию его проектируемой призмы сработки. Использование технологий виртуальных водохранилищ и компонента гидроэнергетического моделирования позволяет исследовать зоны затопления нижнего бьефа при различных прогностических и моделируемых паводках.

Литература

1. Ерахтин Б.М., Ерахтин В.М. Строительство гидроэлектростанций в России. Учебно-справочное пособие для вузов и инженеров гидростроителей. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. - 732 с.
2. Описание MIKE 11 – http://www.volgaltd.ru/images/docs_file/mike_11.pdf
3. Абасов Н.В., Осипчук Е.Н. ГИС-поддержка моделирования гидроэнергетического потенциала проектируемых ГЭС // Сб. трудов межд. научно-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», Санкт-Петербург, т.2. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - С.66-70.
4. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Резников А.П. Долгосрочный прогноз природообусловленных факторов энергетики в информационно-прогностической системе ГИПСАР // Известия РАН, Энергетика, 2000, №6, С. 22-30.
5. Абдураимов М., Музафаров Х.А., Путтиев А.А. Движение вод в открытых руслах (уравнения Сен-Венана) // Математическое моделирование. Вычислительные алгоритмы и методы. - 1998, Т.10, №6 С.97-106.

ПЕРЕХОД НА БАСЕЙНОВЫЙ ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В КАЗАХСТАНЕ

Белецкая Н.П., Лиходумова И.Н.

Северо-Казахстанский государственный университет им. Козыбаева,

г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86.

Тел., факс: (8-715)-2- 49-42-60;

E-mail: beletskaya_np@mail.ru; lichodumov@mail.ru

TRANSITION TO BASIN PRINCIPLE OF ENVIRONMENT MANAGEMENT IN KAZAKHSTAN

N.P.Beletskaya, I.N.Likhodumova

86, Pushkin St., Petropavlovsk, Phone, fax: (8-715)-2- 49-42-60;

E-mail: beletskaya_np@mail.ru; lichodumov@mail.ru

Устойчивое развитие на территориальном уровне не может быть осуществлено только в рамках субъектов административно-территориального деления, поскольку природа, ее ресурсы и экосистемы в условиях Казахстана имеют выраженный трансрегиональный характер. Рассматриваются некоторые направления научных исследований на территории Ишимского бассейна.

The sustainable development of territories cannot be realized only within the subjects of administrative-territorial division since the nature in Kazakhstan, its resources and ecosystems tend to have a pronounced transregional character. Some lines of research at the Ishim basin are considered.

В Концепции перехода Республика Казахстан к устойчивому развитию до 2024 года, одобренной Указом президента страны от 14 ноября 2006 года, заложен геоэкосистемный подход к охране окружающей среды. В целях осуществления научно обоснованных мер по сохранению и восстановлению ландшафтного и биологического разнообразия, достаточных для поддержания способности природных систем к саморегуляции, предпринято районирование территории республики по бассейновому принципу. Выделено восемь зон устойчивого экосистемного развития: Арал-Сырдарьинская, Балхаш-Алакольская, Иртышская, Есильская (Ишимская), Жайык-Каспийская, Нура-Сарысуйская, Тобол-Торгайская, Чу-Таласская.

В основу названий выделенных регионов не случайно легли гидронимы наиболее крупных водных систем. Территория каждого региона включает водосборные бассейны рек и озер. Справедливо предполагается, что устойчивое развитие в территориальном аспекте не может быть осуществлено только в рамках субъектов административно-территориального деления, поскольку природа, ее ресурсы и экосистемы не подчиняются административным границам. Гораздо более эффективна охрана нынешней природно-антропогенной среды, в основе которой находится геоэкосистемный подход, бассейновый принцип.

Как следует из названия, особые надежды возлагаются при этом на возможность сохранения и воспроизводства водных ресурсов, что особенно актуально для Казахстана, как страны, сильно обделенной как поверхностными, так и подземными водами.

В связи с районированием территории страны по бассейновому принципу проведена реорганизация структур управления охраной окружающей среды, созданы общественные советы по ин-

тегрированному управлению водными ресурсами и др. Осуществлена разработка региональных планов мероприятий по переходу к устойчивому развитию для каждой из перечисленных восьми зон устойчивого экосистемного развития.

Предполагается, что формирование и реализация программ устойчивого территориального развития в соответствии с экосистемным принципом позволит:

- обеспечить эффективное природопользование и сохранение природных ресурсов на основе единого подхода к управлению территориями, относящимися к целостным экологическим системам;

- преодолеть неэффективность существующей системы менеджмента природных ресурсов, ведомственную разобщенность и дублирование функций;

- способствовать укреплению территориальной целостности Республики Казахстан и снизить расслоение в социально-экономическом положении регионов;

- создать условия для развития экосистемного подхода в международных отношениях, углубления сотрудничества со странами-соседями в рамках совместной деятельности по сохранению транснациональных экологических систем.

При этом бассейновый принцип не заменяет иных форм территориальной организации, таких, как административное деление страны, создание социально-предпринимательских корпораций, экономических кластеров. Вместе с тем в рамках зон устойчивого развития будут активно осуществляться интеграционные процессы на основе соблюдения интересов охраны окружающей среды.

На рис. 1 показана Ишимская зона устойчивого экосистемного развития, объединяющая 2 административные области: Северо-Казахстанскую и Акмолинскую. Ее общая площадь – 245 км², население – 1411 тыс. человек, среднегодовой сток – 3 км³, протяженность речной сети – 6,2 тыс. км, водосборная площадь – 317,6 тыс. км².

Силами профессорско-преподавательского состава Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева (СКГУ) совместно со студентами проводятся многолетние исследования природы и экологического состояния Северо-Казахстанской области, в том числе риска заболеваемости населения от факторов внешней среды. В рамках совместного проекта «Технологии водообеспечения и здоровье населения» учеными СКГУ им. М. Козыбаева и ИВЭП СО РАН (г. Барнаул) на протяжении ряда лет ведутся исследования по изучению химических свойств питьевых вод централизованных и децентрализованных источников водоснабжения Северо-Казахстанской области и возможного влияния качества воды на здоровье населения. В ходе исследований установлена зависимость между содержанием в питьевой воде ряда химических элементов и уровнем заболеваемости населения районов различными классами водообусловленных болезней, что позволяет отнести употребление некачественной питьевой воды к возможным факторам риска здоровью.

Традиционным является изучение водных ресурсов области, в частности озерного фонда, степени эвтрофированности местных малых водоемов, проблем сохранения озерных экосистем. Результатом многолетних исследований можно считать издание справочника «Малые озера Северного Казахстана» под редакцией Белецкой Н.П., в котором был сделан обзор природных условий и факторов, оказывающих решающее влияние на морфологию, морфометрию озерных котловин и водосборных бассейнов, гидрологический и гидрохимический режим малых озер Северо-Казахстанской области. Особое внимание в работе уделено роли водосборов в жизни озерных экосистем, определяющих высокий уровень антропогенной эвтрофикации и деградации озер, предложены меры по предупреждению и замедлению процессов эвтрофикации и очистки водоемов от излишних органоминеральных накоплений.

Таким образом, водные ресурсы являются необходимым условием для устойчивого развития региона при условии сохранения благоприятных экологических условий.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЗАСТРОЙКЕ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ДОЛИНЫ НИЖНЕГО ДОНА

*Беликов В.В., Борисова Н.М., Васильева Е.С., Кочетков В.В., Никитина Н.В.
ООО «НПП «Аквариус», Москва, belvv@bk.ru*

SUPPORTING OF HYDROLOGICAL SAFETY AT BUILDING IN INUNDATED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF THE VALLEY OF THE LOW DON

*Belikov V.V., Borisova N.M., Vasilyeva E.S., Kochetkov V.V., Nikitina N.V.
Research and Production Enterprise «AKVARIUS», Moscow, belvv@bk.ru*

На основе двумерных уравнений Сен-Венана разработана численная гидродинамическая модель Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища протяженностью по руслу более 500 км. Модель используется для оценки зон и глубин затопления поймы Н. Дона при прохождении высоких половодий, а также при прорыве напорного фронта Цимлянской плотины.

On the base of the two-dimensional Sen-Venan equations hydrodynamic model of the lower reaches of the Don river and the Tsimlyanskoe reservoir in the extent on a channel more than 500 km is developed. Model is used for estimation of the flooding zones and water depths at flood plains of the low Don during high water periods and also in case of the Tsimlyanskoe reservoir dam break.

Как известно, общей мировой тенденцией является стремление строить населенные пункты вблизи водоемов и водотоков, причем, чем элитнее жилье, тем обычно ближе оно располагается к воде. В последние годы в России резко увеличилась интенсивность застройки пойменных территорий, лежащих в зонах периодического затопления либо в зонах возможного затопления при прохождении волн прорыва. Особенно наглядно такая тенденция проявляется в крупных городах и их пригородах (Москва, Новосибирск, Пермь, Краснодар, Ростов-на-Дону и др.), где на поймах возводятся элитные коттеджные поселки и жилые районы. С другой стороны, возрастает и промышленное освоение пойменных территорий, особенно в нефтегазодобывающих районах Западной Сибири и Крайнего Севера. К изменению гидрологического режима пойм приводит также строительство мостовых переходов с «глухими» насыпями подходов.

При проектировании пойменной застройки необходимо произвести обоснованный расчет уровней и глубин максимального затопления территории, оценить эффективность тех или иных защитных инженерных мероприятий (подсыпки грунта, дамб обвалования), в том числе с учетом параметров возможного прорывного паводка от вышележащих гидроузлов, дать прогноз деформаций береговой линии, и т.д. При выполнении таких расчетов на современном инженерном и научном уровне необходимо использовать ГИС - технологии, подробную актуализированную батиметрическую и топографическую основу, электронные топографические карты различных масштабов, эффективные методики численного моделирования с применением двумерных уравнений Сен-Венана (мелкой воды) на адаптивных нерегулярных сетках.

Авторами доклада такие работы были выполнены при обосновании защитных мероприятий для территории «Камская долина» (г. Пермь), Захарковской поймы р. Москвы (г. Красногорск

Моск. области), левобережной поймы Нижнего Дона между городами Ростов-на-Дону и Батайск, большого числа объектов в ближнем Подмоскowie (в долинах рек Москвы, Истры, Клязьмы), Бованенковского газоконденсатного месторождения на п/о Ямал, и др. [1-3]. По ряду работ проведена экспертиза в Федеральном центре по науке и высоким технологиям МЧС России (ФЦ ВНИИ ГОЧС) и получены положительные заключения, что способствует успешному согласованию проектов в соответствующих инстанциях.

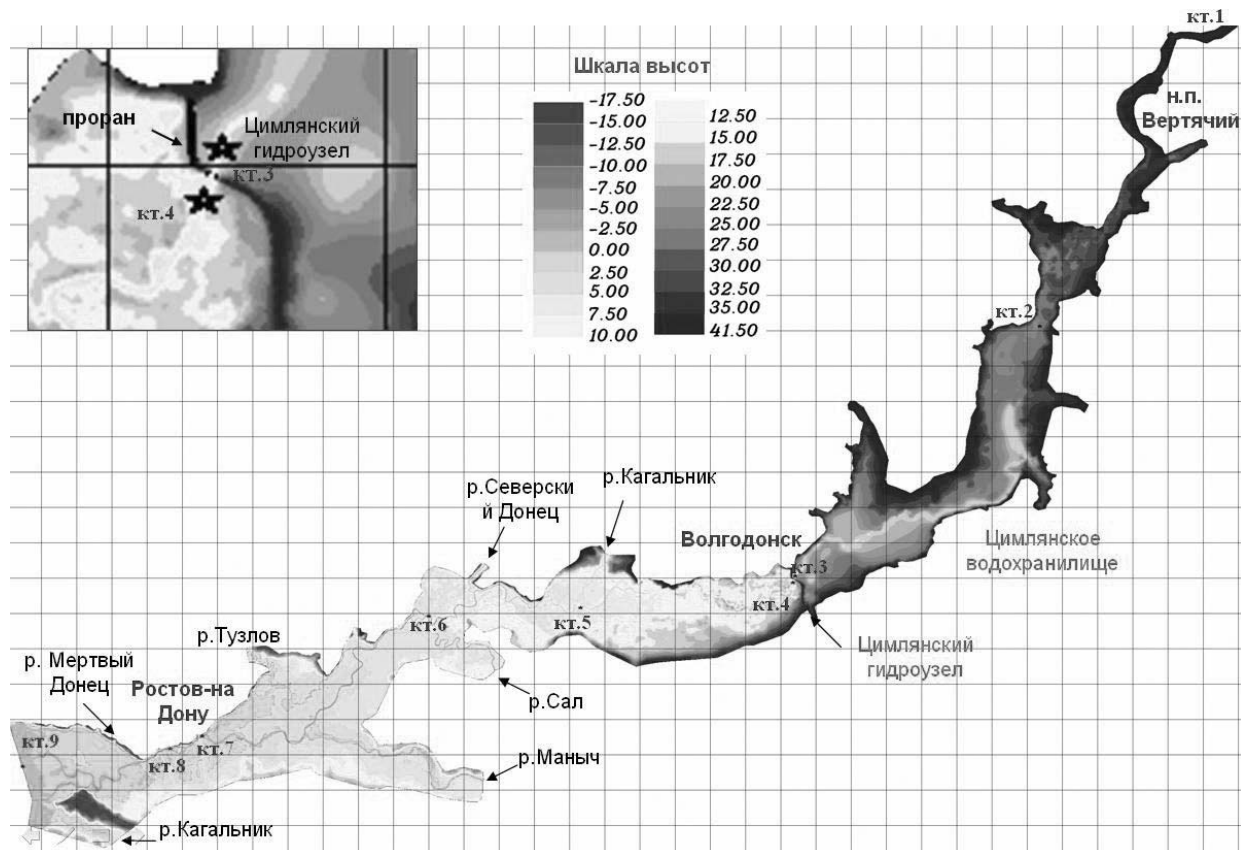


Рисунок 1. Цифровая модель рельефа долины Нижнего Дона

В настоящей работе на примере долины Н.Дона рассмотрены некоторые подходы к решению рассматриваемого класса задач и представлены результаты численных исследований, выполненных с применением комплексов программ «FLOOD» и «БОР» [4,5]. Эта работа выполнялась по заказу Министерства территориального развития, архитектуры и градостроительства Ростовской области в 2007-2008 гг. Основной задачей исследования было обоснование высотнo-планировочных решений при освоении поймы р. Дон с учетом возможного затопления территории природным паводком обеспеченностью 1% и техногенным паводком при гипотетическом прорыве плотины Цимлянского водохранилища. Для решения этой задачи было разработано две компьютерные гидродинамические модели разных масштабов («глобальная» и «локальная»).

Наиболее интересной и сложной задачей явился расчет распространения волны прорыва по долине Нижнего Дона от Цимлянского гидроузла до Таганрогского залива Азовского моря. «Глобальная» модель протяженностью более 500 км включала в себя все Цимлянское водохранилище, плотину ЦГУ и долину Нижнего Дона вплоть до устья (рис.1). При построении цифровой модели рельефа местности использовались топографические карты различных масштабов, лоцманские карты р. Дон, космическая радарная съемка, поперечные сечения долины р.Дон и Цимлянского водохранилища (более подробно все этапы построения ЦМР изложены в [1]). Была выполнена

калибровка модели на данных о прохождении высоких половодий 1917, 1963 гг. Параметры волны прорыва, рассчитанные по программе «БОР» [5] (уровни воды, глубины, скорости течения и зоны затопления), отображались на электронных картах и космических снимках.

В расчетах рассматривалось 4 сценария гидродинамической аварии. При прорыве правобережной грунтовой плотины на фоне среднееголетнего расхода р. Дон (основной сценарий №2) прорыв развивается достаточно длительное время до ширины почти в 2 км, и максимальный расход излива около 80 000 м³/с достигается лишь в начале вторых суток. Эти расчеты имели своей основной целью получить параметры волны прорыва в районе гг. Ростов-на-Дону и Батыйск, чтобы обосновать необходимые отметки подсыпки территории перспективного освоения на левобережной пойме Дона. Поэтому расчетным путем на основе численного моделирования был построен гидрограф волны прорыва для створа в/п Аксай, расположенного на верхней (по течению) границе г. Ростов-на-Дону, который затем использовался в качестве граничного условия для «локальной» крупномасштабной гидродинамической модели, специально построенной для интересующего Заказчика участка поймы.

Получено, что при прорыве в среднееголетних гидрологических условиях (сценарии № 1, № 2) за счет трансформации волны прорыва в широкой пойме Нижнего Дона максимальный расход у г. Ростов-на-Дону составляет 17 тыс. м³/с, что на 2 тыс. м³/с превосходит расход 1% половодья. При этом время добегания фронта волны составляет 1 сутки, а ее гребня (максимума уровней) 5 – суток.



Рисунок 2. Максимальные уровни затопления поймы Нижнего Дона в районе г. Ростов-на-Дону при пропуске 1% половодья, отображенные на космическом снимке

При построении «локальной» крупномасштабной модели использовался топографический материал М 1:5 000, при этом расчетная сетка была адаптирована к руслу реки и мостовым переходам, которых на рассматриваемом участке 14 (6 русловых и 8 пойменных мостов). Первоначально калибровка модели с использованием натурной кривой связи расходов и уровней на в/п

Ростов) не привела к положительным результатам. Только после того, как в цифровой модели рельефа все дороги на пойме были убраны, расчетная кривая практически совпала с натурной. Объясняется это тем, что максимальные уровни воды, которые использовались при построении натурной кривой, наблюдались в 1917 г. (0.5%) и в 1942 г. (2%). В тот период такое количество дорог с высокими насыпями подходов просто отсутствовало. Современная кривая $Q(H)$, построенная в результате численных расчетов с учетом урбанизации территории, проходит выше натурной кривой, построенной по устаревшим данным. При пропуске 1% расхода современные уровни затопления поймы на рассматриваемом участке будут выше примерно на 0.6 м, что необходимо учитывать в проектах застройки.

После выполнения калибровочных расчетов были выполнены расчеты максимальных глубин затопления и скоростей течения при прохождении паводка обеспеченностью 1% (рис. 2), а также параметров затопления от волны прорыва. Получено, что максимальные уровни затопления от волны прорыва на этом участке превышают уровни однопроцентного затопления в среднем на 0,5 м. После этого были проведены расчеты с учетом планируемой перспективной застройки и даны рекомендации по ее оптимизации с точки зрения минимального вмешательства в существующий гидрологический режим работы поймы.

На эту работу было получено положительное заключение от Федерального Центра по науке и высоким технологиям МЧС России (ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)). Результаты работы по определению зон, глубин и максимальных уровней затопления левобережной поймы Дона были согласованы со всеми заинтересованными ведомствами.

Литература

1. Беликов В.В., Кочетков В.В., Борисова Н.М. и др. Применение ГИС-технологий и специализированных баз данных при численном моделировании экстремальных затоплений поймы Нижнего Дона. // Тр. Научно-практ. Конф. «Управление водно-ресурсными системами в экстремальных ситуациях» М., 2008, с.121-125.
2. Беликов В.В., Третьюхина Е.С., Никитина Н.В. Обеспечение гидрологической безопасности при застройке пойменных территорий // Материалы междунар. научно-практ. конф. «Роль природообустройства в обеспечении устойчивого функционирования и развития экосистем». Часть II.-М., МГУП, 2006, с.175-182
3. Беликов В.В., Милитеев А.Н., Прудовский А.М., Родионов В.Б. Компьютерная гидравлическая модель речного бассейна – основа определения ущерба народному хозяйству от наводнений. В сб. «Безопасность энергетических сооружений». Вып. 11. ОАО «НИИЭС». М.:2003. стр. 132-148
4. Беликов В.В., Милитеев А.Н. Комплекс программ для расчета речных течений «FLOOD». Российское агентство по патентным и товарным знакам. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2002610941. М.: 2002.
5. Беликов В.В., Милитеев А.Н., Кочетков В.В. Комплекс программ для расчета волн прорыва (БОР). //Российское агентство по патентным и товарным знакам. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2001610638. М., 2001.

ПРОБЛЕМА БЕРЕГОВОЙ ЭРОЗИИ НА КРУПНЫХ РЕКАХ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Беликов В.В.¹, Крыленко И.Н.²¹ООО «НПП «Аквариус», Москва,²МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, belvv@bk.ruTHE PROBLEM OF RIVER BANK EROSION
ON THE LARGE RIVERS AND THE WAYS OF ITS DECISIONV.V. Belikov¹, I.N. Krylenko²¹RPE «AKVARIUS», Moscow²Lomonosov Moscow State University, belvv@bk.ru

В населенных пунктах, расположенных на излучинах рек, часто происходит размыв берегов, что приводит к разрушению зданий, дорог и т.п. Эта проблема решается путем строительства берегозащитных сооружений либо спрямления излучин. Для оптимизации инженерных решений применяются методы численного моделирования течений и русловых деформаций.

In the settlements located on the rivers bends bank erosion take place often, as result the destruction of buildings, roads, etc occurs. This problem is resolved by building of bank protection structures or cutoff the bends. Methods of numerical modeling of currents and channel deformations are applied to optimisation of engineering decisions.

Активные эрозионные русловые процессы у берегов крупных рек могут приводить к ситуациям чрезвычайного характера: в зоне разрушения берега оказываются жилые и хозяйственные постройки, транспортные магистрали, захоронения и т.д. Возможны различные варианты защиты берега, такие как строительство дамб, полузапруд, укрепление береговых откосов, спрямление излучин. Реализация каждого из них сопряжена со значительными материальными затратами и необходимостью учета сложного гидравлического режима рек.

Для оценки эффективности тех или иных берегозащитных мероприятий, оптимизации инженерных решений в работе авторов гидравлические исследования проводятся методами численного моделирования течений и русловых деформаций с применением современных апробированных численных алгоритмов, ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли. Используемая методика многократно применялась для решения задач, связанных с обоснованием берегозащитных мероприятий на крупных реках России: для р. Виллой (г. Виллойск), р. Колымы (пос. Зырянка), р. Лены (пос. Нижн. Бестях), р. Урал (села Облавка и Жарсуат) и др.

Моделирование течений и русловых деформаций выполнялось на основе программных комплексов «River» и «FLOOD», разработанных Беликовым В.В., Милитеевым А.Н. и др. в Центре гидравлических исследований ООО «НИИЭС». Основой программы является алгоритм численного решения двумерных уравнений Сен-Венана (мелкой воды) на адаптивных смешанных треугольно-четырёхугольных сетках. Полученные в результате расчетов гидравлические характеристики (плановое распределение скоростей течения, глубин воды и уровней водной поверхности, русловых деформаций) для существующих условий и при различных вариантах инженерных решений по защите берега представляются в виде слоев электронной карты, и проводится оценка их эффективности.

Рассмотрим применяемый комплекс методов более детально на примере обоснования береговой защиты с. Облавка, расположенного в среднем течении р. Урал.

На участке р. Урал от впадения р. Сакмары и до устья преобладает равнинное широкопойменное русло с крутыми петлеобразными излучинами, вогнутые берега которых интенсивно размываются. Скорость размыва достигает в многоводные годы 10 – 12 м/год, в маловодные 5 – 6 м/год. В Западно - Казахстанской области наиболее активное развитие излучин, угрожающее безопасности населенных пунктов и объектов хозяйства наблюдается в районе сел Облавка и Жарсуат (Бурлинский район). У с. Облавка, расположенного на высоком вогнутом подмываемом левом берегу реки, в зоне активных эрозионных процессов к началу XXI века оказались постройки села, участок автомобильной дороги. В настоящее время расстояние от уреза берега реки Урал до автомагистрали областного значения составляет 70 метров, до жилых и хозяйственных построек села 18 - 25 метров, происходит размыв курганного археологического комплекса и могил кладбища. Анализ динамики излучины у с. Облавка показал, что здесь средняя скорость отступления вогнутого левого берега составляет 3 – 4 м/год, в вершине излучины темпы размыва берега выше – 6 – 7 м/год, отступление берега прослеживается на участке протяженностью более 3000 метров. На выпуклом правом берегу ширина перемычки излучины в наиболее узком месте сократилась с 300 м в 1957 г. до 150 м в 2006 г. Подобные проблемы наблюдаются и у с. Жарсуат, расположенного в 40 км выше по течению.

Широкопойменный характер русла р.Урал на исследуемом участке определяет специфику кривых связи расходов и уровней на водомерных постах. Эти кривые резко выполаживаются при выходе воды на пойму, и далее рост уровней воды в зависимости от расхода чрезвычайно медленный (при изменении расходов от 3000 м³/с до 19000 м³/с уровень поднимается менее чем на 1,5 м). Также характерной гидрологической особенностью рассматриваемой территории является резкое увеличение уклонов водной поверхности (и, соответственно, скоростей течения) на спаде половодья. Так как спад половодья на р. Урал значительно продолжительней подъема, то к нему приурочены и наибольшие размывы берега.

Исходными данными для моделирования являлись крупномасштабные спутниковые снимки и топографические карты, поперечные профили русла р.Урал, данные об уровнях воды р. Урал по г/п. Илек и расходах воды по г/п с. Кушум.

Проведенные расчеты бытовых режимов течения (рис. 1а) при различных расходах воды показали, что наибольшие скорости течения у размываемого берега наблюдаются при расходах воды в диапазоне от 1000 до 2000 м³/с, поэтому при этих расходах будут наблюдаться наибольшие размывы берега. Такие расходы воды р.Урал в период половодья наблюдаются ежегодно и отступление береговой линии происходит в каждое половодье. При расходах воды более 2000 м³/с скорости течения у размываемого берега уменьшаются, соответственно темпы размыва берега при дальнейшем увеличении расходов воды не возрастают.

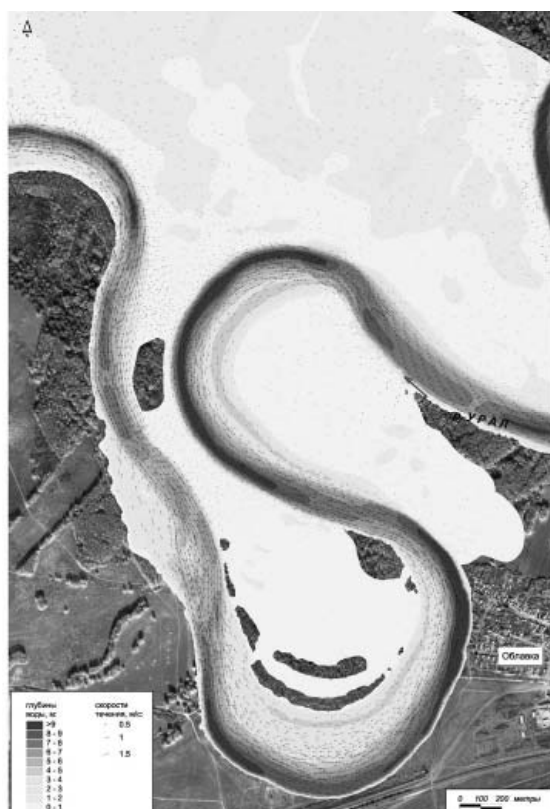
Одним из возможных вариантов защиты берега является строительство полузапруд (шпор). Для защиты всех объектов потребуется сооружение более 10 полузапруд на всем участке размываемого берега. Расчеты скоростных полей, выполненные с учетом расстановки вдоль берега полузапруд длиной 40 - 50м при расстоянии между ними 160 м и углубления (расчистки) русла под противоположным берегом показали, что при всем диапазоне рассматриваемых расходов воды скорости течения воды снижаются у берега до значений менее 0,2 м/с, а в промежутках между шпорами возникают медленные циркуляционные течения воды (рис 1б). Таким образом, рассмотренная система шпор будет выполнять берегозащитные функции достаточно надежно. Однако при выборе подобной схемы защиты возникает ряд технических проблем, решение которых будет сопровождаться значительными материальными затратами.

Вследствие общей тенденции к естественному спрямлению излучины, в верхнем крыле которой расположено с. Облавка, логичным и экономически эффективным представляется досрочное искусственное спрямление излучины путем создания спрямляющего рукава в основании излучи-

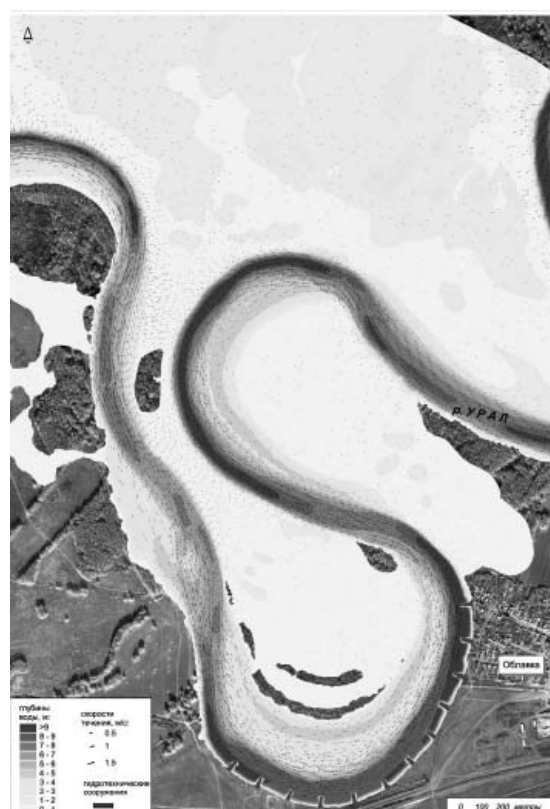
ны. Расчеты скоростных полей, выполненные с учетом наличия спрямляющего рукава для диапазона расходов от 1000 до 5000 м³/с показали, что в этом случае основное течение со скоростями до 2 м/с будет направляться в спрямляющий рукав, а у с.Облавка скорости течения будут незначительны (рис 1в). В дальнейшем будет наблюдаться постепенное заиливание участка русла у с. Облавка и превращение его в пойменную протоку или старицу. Размывы берега на проблемном участке прекратятся практически сразу же после пуска прокопа. Основным препятствием для реализации подобного метода являются пограничные отношения России и Казахстана на этом участке р. Урал.

Естественное спрямление излуины также можно ускорить путем создания струенаправляющей дамбы, которая позволит реализовать вариант спрямления излуины в ближайшие годы. Струенаправляющая дамба должна быть расположена у левого берега на входе в излуину и направлять поток на вогнутый правый берег под более крутым углом, одновременно увеличивая скорости течения за счет сужения ширины русла. Подобная дамба может сооружаться из местного материала и не потребует значительных финансовых затрат. Проведенные расчеты при наличии струенаправляющей дамбы и второй дамбы, фиксирующей положение потока, показали, что происходит увеличение скоростей потока у правого берега в районе наиболее узкой части перемычки излуины с 1-1,2 м/с до 1,8 – 2 м/с (рис 1г). Однако, в этом случае, до спрямления излуины потребуется реализация временных мер по защите ближайших к береговой линии хозяйственных объектов.

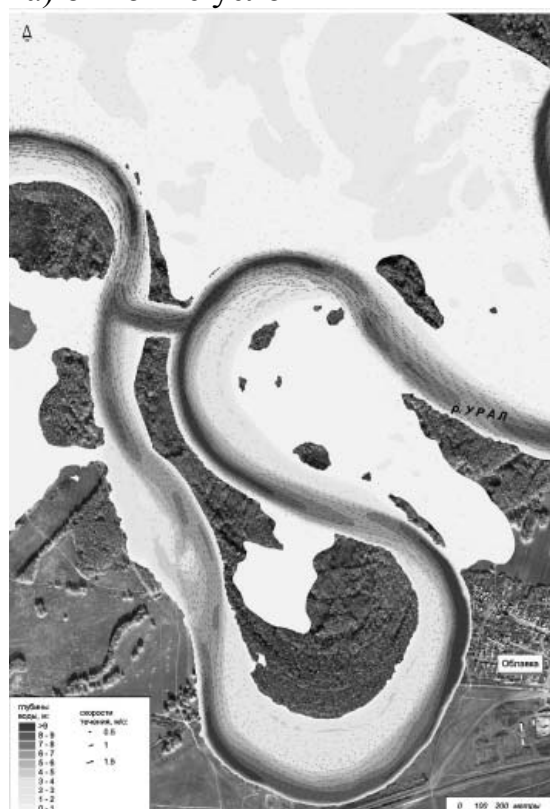
Аналогичная задача по защите пос. Нижн.Бестях (р. Лена) от опасных русловых процессов, связанная с необходимостью обновить существующую систему берегозащиты, состоящую из полузапруд, которая перестала выполнять свои функции в связи с продольным смещением излуины, будет более детально представлена в докладе.



а) бытовые условия



б) полузапруды



в) спрямление излучины



г) струенаправляющая дамба

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА
БАССЕЙНОВ КРУПНЫХ РЕК
(НА ПРИМЕРЕ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА)**

Винокуров Ю.И., Пузанов А.В., Атавин А.А., Безматерных Д.М., Зиновьев А.Т.,
Кириллов В.В., Краснаярова Б.А., Папина Т.С., Ротанова И.Н., Цимбалеу Ю.М.
Институт водных и экологических проблем СО РАН,
Барнаул / Новосибирск, iwep@iwep.asu.ru

**SCIENTIFIC SUPPORT OF STABLE FUNCTIONING
OF MULTIUNIT RIVER-BASIN SYSTEM
(OB-IRTYSH BASIN AS A CASE STUDY)**

Vinokurov Yu.I., Puzanov A.V., Atavin A.A., Bezmaternykh D.M., Zinoviev A.T.,
Kirillov V.V., Krasnoyarova B.A., Papina T.S., Rotanova I.N., Tsimbaley Yu.M.
Institute for water and environmental problems SB RAS,
Barnaul / Novosibirsk, iwep@iwep.asu.ru

В статье обсуждаются вопросы научного обоснования оценки современного состояния водных объектов в целях обеспечения устойчивого функционирования бассейнового водохозяйственного комплекса, рассмотренные на примере Обь-Иртышского бассейна.

The paper discusses the issues of scientific substantiation of evaluation of water objects current state for the provision of stable functioning of a multiunit river-basin system using the Ob-Irtysh basin as an example.

Ресурсы пресных вод территориально распределены весьма неравномерно. Во многих регионах сложились неблагоприятные водно-ресурсные и водно-экологические условия, определяемые дефицитом чистой воды и опасной для жизнедеятельности санитарно-эпидемиологической обстановкой. Особенно это касается поверхностных вод, имеющих решающее значение в водообеспечении населения, промышленности, сельского хозяйства, выполнении функций приема сточных вод, разбавления и естественного обеззараживания поллютантов. Постоянно растущее водопотребление ведет к истощению запасов вод, к ухудшению их качества как в связи с превышением экологически допустимых лимитов отбора, так и из-за антропогенного загрязнения. Вводимые ограничения нередко имеют зависимость от потребностей и не вполне корректны по отношению к природным возможностям, т.е. не отвечают требованиям обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса. Исходя из этого, потребность в разработке научного подхода к оценке водных ресурсов, планированию водохозяйственного оборота, обоснованию режима использования, восполнения и охраны ресурсов является весьма актуальной.

Необходимым для обеспечения рациональной водохозяйственной деятельности является комплекс представлений об условиях формирования вод; о функционировании всех звеньев, влияющих на состав и качество вод; о процессах трансформации и саморегуляции свойств воды; о последствиях происходящих изменений вследствие антропогенного воздействия.

Оценка водных ресурсов в глобальном масштабе имеет основополагающее, фундаментальное значение для общего понимания большого круговорота воды в природе. Однако в практическом

отношении не менее важно знание их структуры, как территориальной (пространственное размещение, условия и параметры трансграничных обменов и т.д.), так и динамической, в которую входит временная внутригодовая и многолетняя изменчивость. Именно структура водных ресурсов лимитирует разработку систем регионального природопользования и позволяет определять стратегию рационального водопользования, перераспределения и охраны вод. Территориальную структуризацию водных ресурсов и подходов к их изучению целесообразно рассматривать на трех уровнях: бассейновом, ландшафтном и административном. Каждый из них отличается территориальным охватом, совокупностью возможностей решения стоящих проблем, соотношением с потребностями общества, обеспеченностью исходными данными.

Во многих отношениях бассейновый уровень имеет наибольшую природную обусловленность, поскольку бассейны рек однозначно разграничены объективными водоразделами, полностью покрывают сушу, и в пределах бассейнов замыкаются круговороты воды различного порядка (в соответствии с порядком рек), поддающиеся балансовым расчетам. По бассейнам, в конечном итоге, концентрируются региональные отчетные данные по характеру и интенсивности водопользования (водопотребления и водоотведения), качественным характеристикам водных ресурсов.

Рассматриваемый Обь-Иртышский бассейн почти полностью охватывает территорию Западно-Сибирской физико-географической страны (ФГС) и расположен в условиях различной орографии и широкого биоклиматического диапазона – от тайги до полупустыни. Сложность строения водосборной поверхности требует дифференцированного подхода к изучению и оценке условий формирования стока и учету особенностей ландшафтной структуры. Внутри ФГС водосборный бассейн разделяется на региональные физико-географические выделы, в которых проявляются как зональные особенности геосферы, так и другие свойства, в т.ч. условия рельефа, обуславливающего характер рисунка и густоту речной сети, скорость освобождения территории от выпавших атмосферных осадков и т.д. Ландшафтная и бассейновая структуры тесно связаны между собой.

Наконец, административное деление территории. При почти полном отсутствии природной основы административных границ все планирование и отчетность подчинены структурам власти, в связи с чем ресурсное обеспечение управляющих решений на административном уровне в недостаточной степени увязано с ландшафтной и бассейновой дифференциацией территории.

Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) являются обобщающими программными материалами по управлению водными объектами. СКИОВО разрабатываются в целях: определения потребностей в водных ресурсах с учетом перспективы; установления допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты; формирования основных направлений деятельности по предотвращению негативного воздействия вод; обеспечения охраны водных объектов. Основной задачей СКИОВО является создание инструментария принятия управленческих решений по достижению устанавливаемых целевых показателей качества воды в речном бассейне и уменьшения последствий негативного воздействия вод.

В течение 2008-2010 гг. ИВЭП СО РАН выполнял НИР по Государственному контракту «Исследование современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах рек Оби и Иртыша» как подготовительный этап к разработке СКИОВО. Результаты исследований могут рассматриваться в качестве научно-методического обеспечения при решении аналогичных задач в других бассейнах. Они включают:

- выработку основных положений концептуальной модели формирования поверхностного стока и разработку рекомендаций для оценки параметров;
- выявление и оценку природных стокоформирующих факторов, в том числе: климатических

условий, осадков, подземных вод и т.д., а также их распределение по территории Обь-Иртышского бассейна согласно географической зональности и ландшафтной структуре;

- количественную оценку ресурсов поверхностных и подземных вод на основе анализа данных многолетних рядов наблюдений по стоку и гидрогеологических условий территории бассейна;

- выявление и характеристику экстремальных гидрологических и гидроэкологических явлений на территории бассейна, к которым отнесены русловые процессы, половодье и паводки, заторы и зажоры и т.д.;

- разработку классификации региональных чрезвычайных ситуаций для Западной Сибири, определяемых природными опасностями;

- гидрологические расчеты средних годовых расходов различной обеспеченности на основе стандартных методик с помощью оригинального ПО «Гидростатистика» для определения водно-ресурсного потенциала исследуемой территории;

- цифровое тематическое водно-ресурсное и водно-экологическое картографирование в качестве базы для геоинформационно-картографического гидроэкологического анализа с подразделением карт на ситуационные (аналитико-инвентаризационные), оперативные, оценочные (проблемные) и прогнозно-рекомендательные;

- долгосрочный прогноз колебаний водности по репрезентативным створам и расчеты изменений элементов водного баланса Обь-Иртышского бассейна в соответствии с предположениями о глобальном изменении климата. Результаты анализа изменения поверхностного стока по выявленным трендам и численного моделирования показывают, что значительных изменений водности в ближайшие 20 лет по сравнению с существующим периодом наблюдений (а это от 60 до 100 лет) не ожидается;

- анализ химического состава вод различных водных объектов Обь-Иртышского бассейна, показавший, что в основном воды относятся к гидрокарбонатному классу вод группы кальция. Лишь воды рек засушливых степных районов в меженные периоды переходят в сульфатно-хлоридный класс групп магния или кальция;

- оценку качества воды по степени загрязненности на основе учета числа критических показателей загрязненности (КПЗ) и повторяемости случаев превышения ПДК. Классификация качества воды на основе значений УКИЗВ с учетом числа КПЗ делит поверхностные воды на 5 классов; причем 3-й и 4-й классы для более детальной оценки качества воды имеют дополнительное деление на 2 и 4 разряда соответственно;

- характеристику состава, структуры, функционирования и сукцессии разнотипных водных экосистем бассейна Оби на различных уровнях организации биосистем. Охарактеризованы естественные и антропогенные факторы, определяющие особенности экосистем и качество вод экологически разнородных участков крупной речной системы;

- оценку диффузного стока на основе использования данных по составу почвенного раствора. Выявлено, что уровни содержания макрокомпонентов в лизиметрических водах почв естественных ландшафтов не выходят за пределы показателей, характерных для пресных вод; в водах субстратов техногенных ландшафтов концентрации макроионов повышены;

- расчеты потенциально возможного поступления загрязняющих веществ из почвенного покрова, исходя из количества их водорастворимых форм и массы почв с учётом мощности почвенного профиля;

- разработку методологии комплексной оценки состояния водных объектов Обь-Иртышского бассейна;

- теоретические и методические основы выбора индикаторов и индексов устойчивого водопользования с учетом региональной компоненты, исходя из современного состояния и стратегических направлений развития;

- создание информационно-моделирующего комплекса (ИМК) для расчета показателей качества воды, состоящего из расчетного модуля, СУБД, модулей импорта и экспорта данных, модуля для визуализации натурных и расчетных данных. Опыт применения ИМК показал, что при наличии необходимых натурных данных с его использованием можно осуществлять краткосрочное прогнозирование уровней водной поверхности и концентраций основных загрязнителей в заданных створах исследуемых участков рек.

Таким образом, современные общенаучные тенденции и методические подходы к решению водных проблем не только отражают уровень знания в области изучения этих проблем, но и учитывают задачи реализации их при разработке программ социально-экономического развития, базирующихся на принципах устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса.

Для повышения качества оценок и достоверности прогнозов необходимы надежные и достаточные натурные данные, согласованные с системой поддержки управленческих решений. Это требует, в первую очередь, модернизации существующей сети наблюдений и средств мониторинга.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 09-05-00920.

ОБЗОР МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СОСТАВЕ СППР УПРАВЛЕНИЯ РЕЧНЫМ БАССЕЙНОМ

Вторушин М. Н., Шевченко А. А., Пушистов П. Ю.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск,

M_Vtoruschin@ugrasu.ru, pushtcmpr@mail.ru, lex.lange@mail.ru

REVIEW OF TECHNIQUES AND TOOLS OF ADAPTIVE SYSTEM FOR EARLY WARNING OF HYDROECOLOGICAL EMERGENCY SITUATIONS IN EXPERT SUPPORT SYSTEMS FOR RIVER BASIN MANAGEMENT

Vtorushin M., Shevchenko A., Pushistov P.,

Ugra State University, Khanty-Mansiysk,

M_Vtoruschin@ugrasu.ru, pushtcmpr@mail.ru, lex.lange@mail.ru

В докладе представлен краткий обзор некоторых систем оперативного мониторинга (on-line систем) за гидрологическими и гидрохимическими показателями качества воды, а также биологических систем раннего предупреждения, являющихся основой системы наблюдений ряда европейских стран и США.

The paper presents a short review of systems for on-line monitoring of hydrological and hydrochemical parameters of water quality as well as biological early warning systems, which are the basis for observation of some European countries and the USA.

Введение

Из четырех базовых компонентов системы поддержки принятия решений (СППР) при интегрированном управлении речным бассейном (ИУРБ): 1 – Измерительно-коммуникационная система; 2 – Информационная система; 3 – Моделирующая система; 4 – Аналитическая система, высший приоритет с позиции эффективности планирования и управления имеет прогностическая система 3 [1]. Качество прогноза и соответственно управления непосредственно зависит от результирующего ресурса мониторинговой системы 1, и ее приоритет при разработке конкретного проекта СППР и ИУРБ может изменяться от равного системе 3 (низкий измерительно-коммуникационный потенциал на площади водосбора) до самого низкого (высокий информационно-генерирующий потенциал).

Примером последнего варианта является разработка СППР управления бассейном реки Эльба (<http://www.riks.nl/projects/Elbe-DSS>). В отчетах по исследованию осуществимости проекта СППР Эльба работ по развитию системы 1 не предусмотрено.

В проектах разработки СППР для бассейнов рек Рио Гранде и Сауз Платте (<http://cdss.state.co.us>) работы по развитию системы 1 предусмотрены разделом «Дополнительные пункты наблюдений», при этом общее число таких пунктов невелико по сравнению существующей сетью пунктов измерения.

Совершенно другая картина обнаруживается при проектировании СППР для управления бассейном реки Северная Сосьва [2]. Существующая система наблюдений (метеорологических, гидрологических и гидрохимических) в бассейне этой реки не соответствует минимальным требо-

ваниям к системе 1 в составе СППР. Например, на водосборе Северной Сосьвы работают всего 13 пунктов наблюдений, тогда как в бассейне реки Сауз Платте, штат Колорадо, функционируют более 250 станций измерения.

Краткий обзор некоторых систем наблюдения за состоянием водных объектов

В качестве базового примера построения четко отлаженной системы наблюдения и оперативного мониторинга за состоянием водных объектов можно рассмотреть сеть гидрологических и гидрохимических станций на территории США и ряда европейских стран [1,3-5]. Основу on-line сетей мониторинга качества воды составляют автоматические станции наблюдений за ограниченного числом гидрохимических параметров (чаще всего их 5): температура воды, электропроводность, мутность, растворенный кислород и pH. Число таких станций на территории США приближается к 1500 штук, сеть гидрологических станций еще более многочисленна (рис. 1) [3].

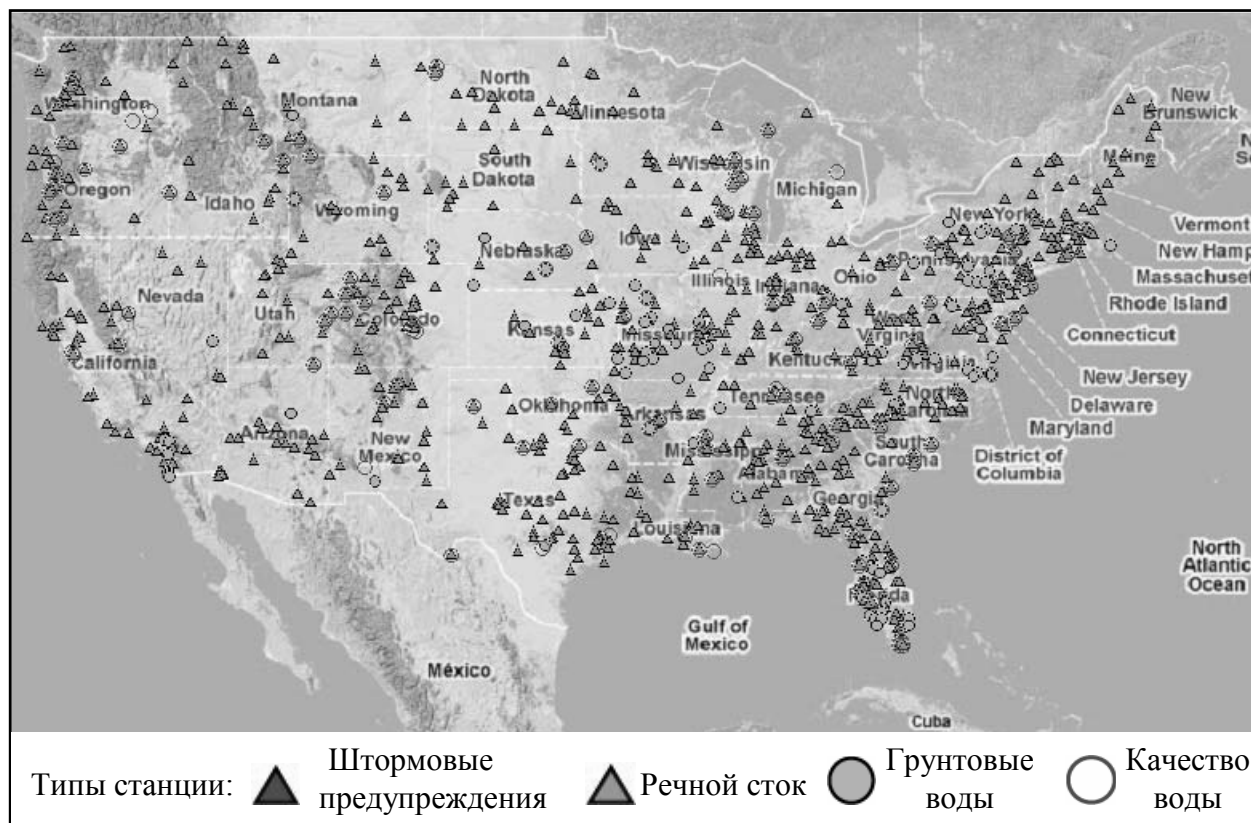


Рисунок 1. Сеть автоматических станций мониторинга водных объектов в реальном времени в США

В Европе сеть станций также позволяет адекватно оценивать текущее состояние водных ресурсов и принимать управленческие решения (см. например <http://elise.bafg.de/>). Важно отметить, что базовым принципом построения такой наблюдательной сети является их автономность и возможность работать в автоматическом режиме. На ряде станций мониторинга Германии, Нидерландов, США применяются приборы для интегральной оценки качества водных ресурсов – автоматические биологические системы раннего предупреждения – это различного рода токсиметры (биотестеры) позволяющие уже при небольшом количестве токсинов включать сигнал «тревоги» [4].

Прибор, изображенный на рис. 2, позволяет в постоянном режиме осуществлять наблюдения за поведением дафний (*Daphnia magna*). Под влиянием загрязняющих веществ поведение меняется в зависимости от типа, концентрации и времени экспозиции (гипо- или гиперактивность).

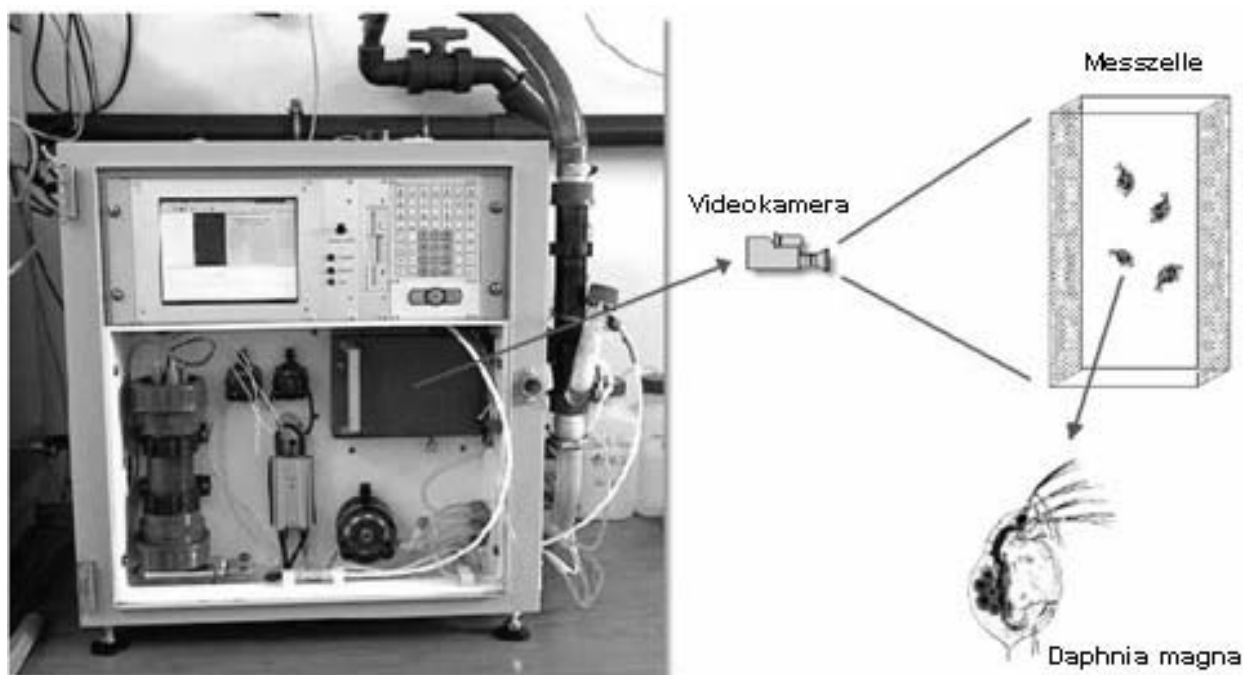


Рисунок 2. Токсиметр дафний

С помощью специального программного обеспечения фиксируются отклонения от нормального движения дафний. Фиксируются такие параметры поведения, как средняя скорость, распределение скоростей, высота плавания, количество подвижных животных и иные параметры. Диатомовые, мидии (*Dreissena polymorpha*), двухстворчатые моллюски (*Dreissena polymorpha*) и рыбы.

Применение таких современных технических средств, работающих круглогодично в автономном режиме по единой программе, позволяет осуществлять управление использованием и охраной водных ресурсов, гарантировать достижение предприятиями – водопользователями, природоохранными органами уровня устойчивого водопользования.

Заключение

Степень успеха любой программы мониторинга и адаптивного управления может быть выражена с использованием понятий: «полезность» и «эффективность» [1]. «Полезность» – это мера того, насколько информация, получаемая из мониторинга соответствует информационным потребностям управления, и мера того, как управленческие решения отражают это увеличение информации. «Эффективность» - связана с получением информации при наименьших из возможных затрат в пределах возможного финансирования. Являются ли собираемые данные адекватными и корректными данными, и можно ли требуемую информацию получить при более низкой стоимости – это все существенно зависит от доступности финансирования для мониторинга и от вопроса, – насколько необходима та или иная информация. Если действительно необходимо значительно больше информации (например, биологический мониторинг в дополнение к химическому или мониторинг окружающих вод и седиментов/наносов в дополнение к мониторингу сточных вод), и доступных денег нет, то далее должны быть сокращены определенные виды существующей программы мониторинга. Например, могут быть рассмотрены параметры отражающие комплексные характеристики, объединяющие некоторое число отдельных параметров, вместо отдельных переменных качества воды. Могут быть пересмотрены число станций или число переменных мониторинга, или частота отбора проб.

Проекты программ мониторинга должны быть основаны на информационных требованиях, которые в свою очередь связаны с потребностями управления системы водных ресурсов.

Программы мониторинга должны быть постоянно модифицируемые, описываемые или документируемые и обновляемые для того, чтобы гарантировать, что система мониторинга непрерывно генерирует требуемую информацию.

Литература

1. Water resources systems planning and management – ISBN 92-3-103998-9 - © UNESCO 2005, 676 P.
2. Дикунец В.А., Пушистов П.Ю., Земцов В.А., Шавин П.Б. Разработка системы поддержки принятия решений для интегрированного управления водохозяйственным комплексом бассейна р. Северная Сосьва при реализации мегапроекта «Урал Промышленный – Урал Полярный». Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения / Сборник научных трудов г. Барнаул: ООО «Агентство рекламных технологий», 2009, С. 489-502.
3. Сайт «Геологической службы США», раздел «гидрология и качество воды», <http://water.usgs.gov>
4. Проект: «Разработка критериев оповещения и идентификация крупных аварий на мониторинговых станциях, расположенных в бассейне Эльбы – Международный план оповещения об опасности», Федеральное ведомство охраны окружающей среды Германии, Институт гигиены и окружающей среды Гамбурга, в кооперации с Международной комиссией по охране Эльбы, 2005.
5. Сайт СППР штата Колорадо - <http://cdss.state.co.us>.

**РЕКА АМУР НА УЧАСТКЕ ОТ УСТЬЯ Р. ЗЕЯ ДО
ХИНГАНСКОГО УЩЕЛЬЯ: НАПРАВЛЕННОСТЬ
РУСЛОФОРМИРОВАНИЯ, ЕЁ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЧЕРТЫ И
СВОЕОБРАЗИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА**

Гусев М. Н.

г. Благовещенск, Институт геологии и природопользования ДВО РАН, gusevm@list.ru

**THE AMUR RIVER FROM AT THE SECTION BETWEEN THE ZEAY MOUTH
AND THE HINGAN GORGE: A TREND OF THE CHANNEL FORMATION, ITS
DETERMING FEATURES AND PECULARITIES OF ITS MANIFESTATIONS UNDER
THE CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC FACTORS**

Gusev M. N.

Blagoveshchensk, Institute of Geology and Nature Management Far East Branch of Russian Academy of Sciences, gusevm@list.ru

Охарактеризована направленность вертикальных и горизонтальных деформаций р. Амур, определяющих в главном своеобразие и характер руслоформирования на протяжении истории формирования речной долины и её днища. Выявлены основные виды хозяйствования, трансформирующие сложившийся характер руслоформирования, и проявления их влияния в морфодинамике современного русла.

The orientation of vertical and horizontal deformations of the Amur river defining in the main thing an originality and character channel formation on an extent stories of formation of a river valley and its bottom is characterized. The principal views of the managing transforming developed character of the channel formation, and displays of their influence in dynamic a modern channel are revealed.

Выполняя функции стержневого водотока на территории с крайне неоднородными природными, экономическими и социальными условиями, р. Амур играет одну из ключевых ролей в развитии природы Приамурья, жизни и деятельности его общества. Это диктует необходимость во всесторонних глубоких исследованиях деятельности великой реки. Особую важность приобретают исследования условий руслоформирования р. Амур, характера и направленности в развитии его днища долины, что составляет одну из важных задач на пути к рациональному использованию его ресурсов.

На рассматриваемом участке, протяжённостью 410 км, р. Амур протекает по южной окраине Зее-Буреинской равнины вдоль границы её с горными сооружениями Малого Хингана. Это предопределило тот факт, что Амур формирует свою долину в чрезвычайно неоднородных и интенсивно меняющихся геолого-структурных условиях и во взаимодействии с крайне неоднородными и изменчивыми во времени геодинамическими условиями, которые характеризуются преимущественно положительными дифференцированными движениями. Река пересекает систему разновысотных геоблоков различных размеров. И в настоящее время эти геоблоки обладают высокой геодинамической активностью [5], характерной в основном для горных районов, а не равнин. Интенсивность современных вертикальных перемещений в пределах Нижнезейской впадины достигает 4-6 мм/год [3]. Это привело к тому, что на протяжении всей истории формирования речной

долины, начиная с конца раннего плейстоцена (Q_1), деятельности водотока присущ определённый характер, который в сочетании с внешними условиями руслоформирования предопределил и направленность в развитии его русла.

Для установления направленности горизонтальных деформаций были использованы результаты полевых геоморфологических и геологических исследований. Согласно им, современная долина Амура на рассматриваемом участке имеет асимметричный поперечный профиль: левый борт, как правило, пологий ($5-9^\circ$), состоящий из серии последовательно понижающихся к руслу широких (до 10-20 км) надпойменных террас, а правый обычно крутой (20° и более), зачастую совсем лишён надпойменных террас (лишь местами отмечаются их фрагменты шириной не более нескольких сотен метров - первых км). Данные факты свидетельствуют о преобладающем правостороннем смещении русла в течение ранне-позднечетвертичного времени (Q_1-Q_3). Учитывая, что ширина левосторонней части долины на исследуемом участке р. Амур изменяется от 20 до 80 км, результирующая интенсивность правостороннего смещения русла за время формирования долины (400 тыс. лет) составляет 5-20 см/год. Эта величина сопоставима с данными инструментальных (основанных на спутниковых технологиях) измерений скорости современных горизонтальных деформаций геоблоков, пересекаемых р. Амур на исследуемом его участке: за период 2001-2003 г.г. интенсивность горизонтальных перемещений геоблока в районе с. Константиновка достигала 8 см/год [5]. Наличие в уступах надпойменных террас цоколя из коренных пород и небольшая мощность (до 10-20 м) слагающей террасы аллювия (преимущественно галечного), указывает на то, что они формировались в условиях направленного врезания в подстилающие породы.

Информация о направленности горизонтальных деформаций р. Амур в голоцене (Q_4) отражена в строении современного днища речной долины. В его пределах русло располагается преимущественно у правого борта долины, нередко непосредственно сопрягается с приводораздельными склонами, сложенными рыхлыми миоценовыми (N_1) и плиоцен-раннечетвертичными ($N_2 - Q_1$) отложениями; при этом пойма или выклинивается, или представлена неширокими (от первых сотен метров до первых км) массивами. Наоборот, вдоль подножья левого борта долины выклинивания поймы практически не наблюдается, её ширина в среднем составляет 8-10 км, а местами достигает 20 км и более. Подобное расположение русла в пределах днища долины свидетельствует о том, что и в голоцене направленность горизонтальных русловых деформаций р. Амур не изменилась: по-прежнему правостороннее смещение русла остаётся преобладающим. Исходя из ширины левосторонних пойменных массивов (8-10 км) и с учётом возрастных датировок пойм в Приамурье (7,5 тыс. лет [1]), результирующая интенсивность горизонтальных деформаций р. Амур за голоцен составляет 1,0–1,3 м/год. Судя по особенностям строения и условиям формирования современных речных берегов, тенденция преимущественного правостороннего смещения русла Амура на данном участке сохраняется и в наше (историческое) время. Она образует естественный тренд развития русловых процессов.

Правостороннее смещение русла р. Амур осуществляется на фоне его вертикальных деформаций. Для установления их направленности при формировании речной долины использован комплекс традиционных методов, используемых в практике геоморфологических и геологических исследований. Основное внимание было уделено анализу распределения вдоль реки мощности современного аллювия (по данным бурения) и его свойств, особенностей строения днища долины, динамики продольного профиля реки и условий руслоформирования.

Установлено, что современный аллювий р. Амур имеет двухчленное строение. Общая мощность пойменной фации аллювия в пределах поймы изменяется от 2-4 м (прирусловая часть) до 3-8 м (тыловая часть). Кровля русловой фации аллювия на большей части поймы залегает выше современного уреза воды на величину от 0,5-2,0 м до 7,0-9,0 м в зависимости от её простран-

ственного положения в пределах днища долины. Гранулометрический состав русловой фации аллювия – преимущественно галечный, подобный древнему аллювию, слагающему надпойменные террасы Амура.

Мощность аллювия в пределах поймы не постоянна. Наибольшая мощность (до 20-26 м) характерна для тыловой и центральной поймы в пределах тех участков днища долины, которые пересекают относительно погруженные геоблоки, соответствующие прогибам фундамента. А минимальная мощность аллювия (9-16 м) отмечается на участках поймы, соответствующих приподнятым геоблокам. Большая часть пробуренных скважин на пойме фиксирует подошву современного аллювия на глубине в интервале от 13-15 до 20-21 м от её поверхности. В пределах русла мощность современного аллювия не превышает 8-9 м, зачастую составляя не более 4-5 м.

С учётом того, что максимальные глубины на плёсах Амура достигают 12-14 м, максимальные относительные высоты его поймы – 8-10 м и нормальная мощность аллювия составляет 20-24 м, получаем, что мощности современного аллювия в пределах исследуемого участка днища долины, как правило, меньше, реже – равны нормальной мощности (Исключение составляет участок днища долины в пределах 630-670 км судового хода).

Приведённые данные свидетельствуют о том, что за всё характерное время формирования днища долины р.Амур в пределах рассматриваемого участка обладала и обладает высокой транспортирующей способностью. Это позволяет ей не только полностью транспортировать наносы, но и врезаться в подстилающие породы, местами – в коренные породы фундамента.

Исходя из максимальной высоты (7-8 м) положения кровли русловой фации аллювия над современным урезом воды в Амуре и с учётом возраста высокой поймы (7500 лет), максимальная интенсивность врезания Амура на рассматриваемом его участке составляет 0,9-1,1 мм/год. Это значение сопоставимо с величиной скорости врезания рек Амуро-Зейской равнины (бассейн р.Зей) в четвертичное время – 0,58 мм/год [4].

Приведённые данные о современном аллювии в пределах рассматриваемого участка р. Амур служат основанием характеризовать динамическое состояние днища её долины как инстративное, хотя и близкое к равновесному, в понимании В.В. Ламакина и И.П. Карташова. В продолжение голоцена водоток преимущественно медленно врезается.

К морфологическим признакам преобладающего врезания относится ступенчатость поперечного профиля пойменных массивов. По данным инструментальных (нивелировочных) работ в пределах левобережной части днища долины р. Амур нередко выделяется до 2-3-х ступеней, последовательно понижающихся к руслу. Ступенчатый поперечный профиль характерен и для днищ долин притоков Амура, в их приустьевых частях, например, р. Буряя. Поверхность в тыловой части поймы, как правило, соответствует уровню прирусловой части поймы или выше её: здесь пойменные почвы приобретают черты, свойственные зональным почвам.

Сравнительный анализ продольных профилей дна русла, построенных по материалам съёмок разных лет 1957 и 1980 г.г. по линиям максимальных глубин и отнесённых к одному проектному уровню, показывает, что за сравниваемый период отметки ложа Амура понизились практически на всём исследуемом участке от нескольких сантиметров до первых метров. К сожалению, получить точную количественную характеристику изменения отметок русла данным методом проблематично. Тем не менее, данный приём надёжно отражает качественную сторону в развитии русла и продольного профиля р. Амур, а именно – понижение отметок ложа реки во времени и, следовательно, её врезание.

Представленные результаты исследований отражают естественную составляющую в развитии русла р. Амур, без учёта антропогенного фактора. Однако в ходе исследований установлено, что хозяйствование прямо и косвенно изменяет сложившийся характер и направленность русловых переформирований. Наибольшее воздействие оказывают регулирование стока Зейской ГЭС и ши-

рокомасштабные берегоукрепительные и противопаводковые мероприятия, проводимые на правом берегу Амура [2]. Работа Зейской ГЭС привела к снижению транспортирующей способности водотока на участке нижнего течения р. Зея, где наметились признаки аккумуляции наносов. С этим, по-видимому, связаны и активные русловые переформирования на участке Усть-Зейского и Каникурганского перекатов, расположенных в русле р. Амур сразу же ниже узла слияния Амура и Зеи. Асимметричное инженерное обустройство побережий снижает угрозу интенсивных размывов берегов на правом берегу и интенсифицирует их размывы на левобережье, что не способствует устойчивому положению фарватера реки, а значит – государственной границы.

Литература

1. Геоморфология Амуро-Зейской равнины и низогорья Малого Хингана Ч. 1. / Отв. ред. С.С. Воскресенский. М.: Изд-во МГУ, 1973. 274 с.
2. Гусев М. Н., Помигуев Ю.В. Русловая деятельность магистральных рек Амурской области в условиях современного хозяйствования // География и природные ресурсы. 2008. № 2. С. 45 - 50.
3. Карта современных вертикальных движений по геодезическим данным на территории СССР (СВДЗВК) / Под ред. Кашина Л.А. М.:ГУГК, 1989. 4л.
4. Костомаха В.А. Опыт подсчёта скорости рельефообразующих процессов на поздних этапах четвертичного периода для Амуро-Зейской равнины // Земная поверхность, ярусный рельеф и скорость рельефообразования: материалы Иркутского геоморфологического семинара, Чтений памяти Н.А. Флоренсова (Иркутск, 9-14 сентября 2007г.). Иркутск: Инст-т земной коры СО РАН, 2007. С. 126-127.
5. Мирошниченко А.И., Сорокин А.П., Саньков В.А., Лухнёв А.В., Аиурков С.В., Сорокина А.Т., Серов М.А., Шерман С.И. Космическая геодезия в задачах геодинамики: современные движения в Зейско-Буреинском бассейне // Тихоокеанская геология. 2008. №1. С.71-80.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСУЩЕСТВИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СОХРАНЕНИЮ УНИКАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ РЕКИ СЕВЕРНАЯ СОСЬВА ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОМ ГОРНО-ПРОМЫШЛЕННОМ И ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОСВОЕНИИ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Дикунец В.А.¹, Пушистов П.Ю.², Земцов В.А.³, Романенко Р.Д.²,

¹ОАО «Научно-производственный центр комплексного мониторинга окружающей среды и кадастра природных ресурсов», г. Ханты-Мансийск DikunecVA@monitor.hmao.ru,

²Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск,

³Томский государственный университет, г. Томск

THE STUDY OF DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CONSERVATION OF THE NORTH SOSVA ECOSYSTEM UNDER LARGE-SCALE MINING AND TRANSPORT – POWER DEVELOPMENT OF POLAR URALS.

Dikunets V.A.¹, Pushistov P.Yu.², Zemtsov V.A.³, Romanenko R.D.²,

¹OJSC «Scientific and Production Center of integrated environmental monitoring and inventory of natural resources», ³Khanty-Mansiysk DikunecVA@monitor.hmao.ru,

²Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Tomsky State University, Tomsk

Цель доклада заключается в том, чтобы представить результаты работы по созданию в бассейне р. Северная Сосьва системы поддержки принятия решений для интегрированного управления водными ресурсами. Обсуждаются предложения по содержанию исследования осуществимости разработки первого этапа СППР в контексте сценариев промышленного развития Приполярного Урала.

The report presents the results of the work to validate methods for developing decision support systems for integrated water resources management River basin of North Sosva. Discuss specific proposals on the content of the feasibility study the development of the first stage of the DSS in the light industrial development scenarios, the Polar Urals.

Консорциумом организаций (ЮГУ, ТГУ, НПП «Полет», ИВМ РАН) во главе с ОАО НППЦ «Мониторинг» в 2009 году в рамках Гранта правительства ХМАО – Югры был реализован проект «Разработка научно-технических предложений по созданию высокотехнологичной системы автоматизированного мониторинга и управления использованием и охраной водных ресурсов зон поэтапного промышленного освоения Приполярного Урала в бассейне реки Северная Сосьва». Цель проекта заключалась в том, чтобы разработать инновационные предложения по созданию в бассейне реки Северная Сосьва системы автоматизированного мониторинга и интегрированного управления использованием и охраной водных ресурсов, адекватно гарантирующей достижение горно-промышленными и транспортно-энергетическими предприятиями и природоохранными органами уровня устойчивого рационального водопользования, как одного из важных факторов реализации экономических и социальных целей программ Мегапроекта «Урал Промышленный – Урал Полярный» [3], в сочетании с обеспечением экологической безопасности в бассейнах рек Северная Сосьва и Нижняя Обь. В проекте проведен комплексный анализ потенциально высо-

ких техногенных воздействий на окружающую среду бассейна реки. Также дано обоснование необходимости использования методологии построения СППР (системы поддержки принятия решений, включающей в себя интерфейс пользователя, измерительно-коммуникационную/мониторинговую, информационную, моделирующую и экспертно-аналитическую подсистемы), для планирования и управления речным бассейном Северной Сосьвы. Представлены конкретные предложения по разработке:

- первой очереди проекта СППР «Система оперативного инструментально-информационного мониторинга и адаптивного управления использованием и охраной водных объектов в бассейне верхнего и среднего течений р. Северная Сосьва (с реализацией пилотных проектов на период до 2015 года)» (проект СИОСС – 1);

- второй очереди технического проекта СППР - «Система стратегического планирования и оперативного интегрированного управления использованием, восстановлением и охраной водных объектов в бассейне р. Северная Сосьва» на период до 2020 года (проект СИОСС - 2).

Фактически упомянутый выше консорциум организаций совместно с отечественными (ИЭРЖ УрО РАН, МГУ, ИВЭП СО РАН и др.) и зарубежными партнерами (Портландский государственный университет, США и УИТ, Дрезден, Германия и др.) готов приступить к реализации проекта СИОСС – 1 в рамках Мегапроекта «Урал Промышленный – Урал Полярный».

Следующим практическим шагом по реализации предложений проекта [1], с учетом опыта [2,4,5 а также материалов из <http://cdss.state.co.us>, <http://elise.bafg.de>], должно стать исследование осуществимости (feasibility study) разработки первой очереди СППР интегрированного управления речным бассейном верхнего течения реки Северная Сосьва с учетом сценариев промышленного освоения Приполярного Урала (проект СИОСС - 1).

В исследовании осуществимости разработки СППР, по мнению авторов, желательно рассмотреть следующие вопросы:

1. Современное состояние системы мониторинга и управления водными ресурсами бассейна реки Северная Сосьва;

2. Определение состава потенциальных пользователей СППР (лица принимающие решения) и представителей заинтересованных сторон (водопользователи, природоохранные структуры и институты гражданского общества), которые в обязательном порядке должны быть вовлечены в исследование осуществимости проекта;

3. Определение проблем и информационных потребностей адаптивного интегрированного управления. Информационные цели и приоритеты. Индикаторы состояния системы водных ресурсов, состоящей из системы природных ресурсов, социально-экономической и административно-институциональной систем.

4. Разработка и реализация планов экспедиционно-полевых исследований, обеспечивающих основу и логическое обоснование проекта сети адаптивного мониторинга и разработки феноменологической/концептуальной модели экосистем бассейна верхнего и среднего течений Северной Сосьвы;

5. Планы разработки и реализации поэтапного адаптивного мониторинга (в т.ч. системы раннего предупреждения), увязанные с реальной динамикой промышленного освоения на уровне потенциальных горнопромышленных и транспортно-энергетических узлов и отдельных предприятий. Оценки рисков для систем раннего предупреждения. Использование и выбор математических моделей в системах раннего предупреждения [4];

6. Проектирование сети. Местоположения и типы станций адаптивного мониторинга. Частота измерений и отбора проб. Мониторинг количества воды. Мониторинг качества воды. Экологический мониторинг. Станции раннего предупреждения. Мониторинг сточных вод.

7. Коммуникационные системы сбора данных. Дистанционное зондирование и контроль со-

стояния водных и наземных экосистем;

8. Информационная подсистема анализа данных. Геоинформационные системы, базы данных, знаний и правил;

9. Архитектура, технологии и инструменты СППР для адаптивного интегрированного управления. Обеспечение гибкого и непрерывного обновления процесса адаптивного подхода к управлению;

10. Представление информации для поддержки принятия решений;

11. Предложения по реализации пилотных проектов. Оценка стоимости проектирования, разработки и реализации СППР, обоснование необходимого кадрового потенциала для обслуживания и развития;

12. Предложения по законодательному и нормативно-правовому обеспечению проекта;

13. Проблемы подготовки кадров разработчиков и пользователей СППР.

14. Оценка рисков планирования и реализации мероприятий 1-13.

В докладе с необходимой и возможной детализацией раскрывается содержание работ по пунктам 1-14.

Исследование осуществимости указанной СППР нацелено на создание качественно новых технологий и на предоставлении качественно новых услуг в сфере планирования и управления использованием и охраной водных ресурсов при потенциально возможных нагрузках на окружающую природную среду бассейна реки Северная Сосьва при поэтапном промышленном освоении Приполярного Урала. Исследование осуществимости СППР потребует создания по существу новых организационных механизмов и дискуссионных платформ взаимодействия между участниками инновационной деятельности в области устойчивого водопользования и интегрированного управления водными ресурсами, т.е. разработчиками СППР (учеными, системными аналитиками и программистами), лицами принимающими решения (менеджерами в области использования и охраны водных ресурсов, обеспечения экологической, экономической и социальной безопасности), представителями заинтересованных сторон (водопользователями), привлекаемыми экспертами и представителями институтов гражданского общества. Разработка таких механизмов и платформ будет обеспечивать привлечение субъектов указанной инновационной деятельности к конструктивному обсуждению и участию в реализации проекта СИОСС – 1.

Учитывая такую готовность и ясное осознание авторами доклада и другими экспертами жесткой реальности угроз необратимых техногенных воздействий на уникальные водные и наземные экосистемы бассейна реки Северная Сосьва в период активного промышленного освоения Приполярного Урала, необходимо определиться с заказчиком и финансированием на проведение исследования осуществимости проекта СППР интегрированного адаптивного управления речным бассейном верхнего и среднего течений реки Северная Сосьва.

Литература

1. Дикунец В.А., Пушистов П.Ю., Земцов В.А., Шавин П.Б. Разработка системы поддержки принятия решений для интегрированного управления водохозяйственным комплексом бассейна р. Северная Сосьва при реализации мегапроекта «Урал Промышленный – Урал Полярный». Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения / Сборник научных трудов г. Барнаул: ООО «Агентство рекламных технологий», 2009 г С 489-502.

2. Интегрированное управление водными ресурсами Санкт-Петербурга и Ленинградской области / опыт создания системы поддержки принятия решений (Алимов А.Ф., Андреев О.А., Умнов А.А. и др.). – СПб.: Borey Print, 2001, 419 с.

3. Концепция комплексного промышленного освоения Приполярного Урала на основе опере-

жающего развития транспортной и энергетической инфраструктуры. Раздел «недропользование» (краткое содержание), 2006, 39 с.

4. *Пушистов П.Ю., Вторушин М.Н., Романенко Р.Д., Земцов В.А.* Разработка электронного реестра-справочника информационно-вычислительных средств для планирования и управления системой водных ресурсов. Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения / Сборник научных трудов г. Барнаул: ООО «Агентство рекламных технологий», 2009 г С 546-557.

5. Water resources systems planning and management – ISBN 92-3-103998-9 - © UNESCO 2005, 676 P.

ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОСВОЕННЫХ УЧАСТКОВ РЕЧНЫХ ДОЛИН¹

Крыленко И.Н., Антохина Е.Н., Анисимова Л.Е., Самохин М.А. (Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, krylenko-i@yandex.ru)

WATER REGIME AND HYDROLOGICAL SAFETY OF POPULATED PARTS OF RIVER VALLEYS

Krylenko I.N., Antokhina E.N., Anisimova L.E., Samohin M.A. (Moscow, Lomonosov Moscow State University, krylenko-i@yandex.ru)

На основе решения прикладных задач методами математического моделирования движения водных потоков проанализированы особенности водного режима, определяющие гидрологическую безопасность освоенных участков речных долин при хозяйственной деятельности в руслах и на поймах рек, регулировании стока.

The characteristics of water regime, which define hydrological safety of populated parts of river valleys at economic activities in channels and on floodplains are analyzed on the basis of methods of mathematic modeling for applied tasks.

Гидрологическая и гидроэкологическая безопасность территории (ГЭБТ) - такое состояние отношений между населением, хозяйством, экосистемами и водными объектами, при котором возможно экономически эффективное и экологически безопасное природо- и водопользование [2]. К нарушению ГЭБТ могут приводить такие опасные гидрологические процессы, как наводнения, ледовые явления на реках, склоновая и овражная эрозия, переформирования русел и т.д. Повторяемость и масштабы опасных гидрологических процессов и соответствующие им риски определяются на основе характеристик водного режима, т.к. его закономерности являются научной основой для понимания всех других сторон гидрологического режима рек. Выработка мер по снижению ущербов требует не только учета особенностей водного режима, но и в отдельных случаях его изменения (создание водохранилищ, выправление русел и т.п.).

При создании водохранилищ на реках существенно изменяются как характеристики водного режима, так и условия существования и структура природно-хозяйственных комплексов в речных долинах. После зарегулирования водный режим участка реки выше плотины определяется величиной подпора от нее, ниже плотины - попусками с гидроузла. Большие речные водохранилища выполняют разнообразные функции – водоснабжение, выработка электроэнергии, улучшение условий судоходства, противопаводочная защита. Согласно [1], указанные функции водохранилищ сохраняются в определенном диапазоне максимальных расходов воды, формирующихся в их бассейнах. При их превышении водохранилища срабатывают в режиме, близко совпадающем с естественными условиями движения волн паводков и половодий, что необходимо для обеспечения безопасности гидротехнического сооружения, но находится в противоречии с вопросами обеспечения защиты населения, осваивающего территориальные ресурсы долинного комплекса ниже плотин. При некоторой величине сбрасываемых расходов воды затопливается освоенная часть поймы и первой надпойменной террасы – так называемое техногенное затопление.

Эффективность обеспечения ГЭБТ может быть повышена путем создания имитационной

гидравлической модели водохранилища и его отдельных участков для решения на ее основе разнообразных задач, начиная от сценарных и оперативных расчетов прохождения волн половодий до детального расчета гидравлических характеристик потока в местах расположения хозяйственных объектов (переходов магистралей трубопроводов, опор ЛЭП и т.п.)

В зависимости от требуемой точности, детальности исходных данных и специфики решаемой задачи могут применяться одномерные и двумерные модели движения водного потока, в основу которых положено численное решение уравнений Сен-Венана в одномерной и двумерной схематизации соответственно. Исходными данными для этих моделей является информация о рельефе территории. Одномерные модели позволяют рассчитывать изменения уровней водной поверхности и расходов воды по времени и по длине водотока для протяженных участков рек на основе данных о морфометрии долин, представленных в виде отдельных поперечных профилей. Для применения двумерных моделей требуется более детальная информация о рельефе речных долин, представленная в виде поля точек (x, y, z_0) . В результате они позволяют получить плановую картину распределения уровней водной поверхности и глубин воды в пределах участка речной долины и векторное поле осредненных по вертикали скоростей течения потока.

Ниже рассмотрим опыт создания и применения подобных моделей для Горьковского водохранилища. Для проведения расчетов использовалась одномерная модель «*MIKE 11*» (*DHI*) и двумерная модель «*Flood*» (авт. В.В. Беликов, А.Н. Милитеев и др.), в которой также реализован блок расчета вертикальных деформаций дна.

Исходными данными для построения одномерной гидравлической модели Горьковского вдхр., являлись: цифровая модель рельефа, временные ряды уровней воды и ледовых явлений по г.п. Ярославль, Кострома, Кинешма, Сокол, Чкаловск, боковой приток, среднесуточные сбросы по Рыбинской ГЭС как верхнее граничное условие; уровни верхнего бьефа Горьковской ГЭС как нижнее граничное условие. Для обоснования расчетных сценариев также использовались расчетные характеристики из технических проектов гидроузла. Всего для Горьковского водохранилища, длина которого составляет 430 км, было выбрано 85 характерных поперечных профилей.

Для калибровки модели использовались временные ряды хода уровней и расходов воды за период 2002 – 2004 гг., данные за 2005 г. использовались для верификации модели. Наилучшее соответствие рассчитанных и фактических уровней достигается при коэффициентах шероховатости 0,019 – 0,030. Для периода ледостава коэффициенты шероховатости были увеличены до 0,033.

Результаты расчетов показали, что в целом разработанная гидродинамическая модель адекватно отражает динамику хода уровней и расходов воды. Коэффициенты корреляции рядов фактических и рассчитанных уровней воды за отдельные годы в большинстве случаев составляют не менее 0,8. Для оценки достоверности получаемых на основе расчетов границ затопления использовалась информация о затоплении территории с космических снимков за этот же период. Сопоставление показало, что даже в рамках одномерного гидродинамического моделирования для протяженных участков реки, при наличии информации о рельефе речных долин, возможно получить близкую к реальной картину затопления. Различие рассчитанных по модели и измеренных по космическим снимкам площадей затопления составляет 5-11%.

Одной из сложно решаемых проблем при построении гидродинамической модели водохранилищ, приводящей к несоответствию наблюдаемых и рассчитанных по модели уровней и расходов воды, явился учет бокового притока, т.к. величины бокового притока, полученные различными методами, значительно отличаются. Также определенную сложность представляет наличие больших по площади затопленных участков долин в отдельных частях водохранилища, где одномерная схематизация потока не вполне применима.

Для анализа возможных нарушений ГЭБТ в долине Горьковского вдхр., связанных с возможным затоплением освоенных территорий при прохождении половодий, была рассмотрена самая

неблагоприятная ситуация - прохождение половодья 1% обеспеченности в сочетании с максимальным боковым притоком. Был использован гидрограф половодья 1% обеспеченности, построенный по модели 1926 г., который в свое время учитывался при проектировании Горьковского гидроузла. Моделирование показало, что значительных затоплений населенных пунктов долины р. Волги на участке Горьковского водохранилища не наблюдается даже при прохождении 1% половодья несмотря на то, что амплитуда колебаний уровней значительна (от 6 м у г. Тутаев до 2 м у г. Кинешма).

Также было оценено время добегания волны попуска 1% обеспеченности и попусков меньшей величины по длине Горьковского водохранилища. Распластывание волны попуска зависит от его продолжительности. Влияние попусков продолжительностью 1 ч. на ход уровней по длине водохранилища малозаметно уже у г. Ярославль, попуск такой же величины продолжительностью 1 сут. вызывает значительные (более 0,5 м) повышения уровней до г. Плес. Время добегания волн попусков, определенное по времени добегания пиков расходов и пиков уровней воды, составило от 2 - 3 ч. до г. Ярославль до 11-12 ч. до г. Кинешма, и незначительно изменяется в зависимости от величины попуска.

Для обоснования безопасного функционирования некоторых видов хозяйственной деятельности в речных долинах требуются более детальные характеристики водного режима на конкретном участке. Рассмотрим это на примере переходов газопровода СРТО - Торжок и магистрали ЛЭП на верхнем участке Горьковского водохранилища (в 8 км ниже г. Рыбинск).

Для безопасности переходов магистральных трубопроводов через реки определяющими являются размывы дна на участке переходов, которые в свою очередь определяются скоростями течения, для их расчета необходимо построение двумерной гидродинамической модели участка реки.

В качестве исходных данных были использованы результаты промеров глубин, съемки русла, измерения скоростей течения и уклонов водной поверхности. Калибровка модели выполнялась на основе измеренных скоростей течения и уклонов при расходах воды 800 м³/с. При указанном расходе скорости течения не превышают 0,4 м/с, а падение уровней на расчетном участке - около 1 см, что показали и результаты моделирования. (таблица).

Основой для выбора расчетных сценариев для оценки возможных размывов дна на переходах трубопроводов являются данные о руслоформирующих расходах воды и их повторяемость. Результаты моделирования показывают, что на участке перехода трубопровода, несмотря на значительные скорости течения (до 2 м/с) и уклоны водной поверхности (до 6 см/км) при прохождении руслоформирующих и максимальных расходов воды, значительных деформаций дна не наблюдается. Это связано со значительными глубинами (более 11 м) на участке и крупностью слагающих русло наносов (крупно- и среднезернистый песок с галькой). Только на месте прокладки предыдущих ниток газопроводов выше створа перехода из-за сложного рельефа дна наблюдается местная неравномерность течения потока и локальные деформации дна – размывы повышенных участков, и аккумуляция этих наносов в соседних понижениях рельефа дна.

На надежность работы перехода ЛЭП через водную преграду большое влияние оказывает возможное затопление опор при прохождении максимальных расходов воды и расходов воды ледохода, т.к. с ними связана опасность механического и эрозионного воздействия водного потока на опоры ЛЭП и поверхность поймы в районе их расположения.

Для определения параметров потока в районе перехода ЛЭП в наиболее неблагоприятных условиях – при максимальных расходах воды р. Волги и при ледоходе, были проанализирована картина затопления при расходе воды 1% обеспеченности и расходе 2780 м³/с, соответствующем максимальному наблюдавшемуся уровню ледохода 87,2 м БС. Выявлено, что даже при максимальных расходах воды значительного увеличения площади затопления долины в районе перехода ЛЭП не происходит, и опоры ЛЭП не затапливаются, однако процессы береговой эрозии могут привести к нарушению стабильности опоры ЛЭП правого берега, расположенной недалеко от русловой бровки.

Результаты моделирования течений и деформаций дна на участках переходов

Сценарий	расход, м ³ /с	продолжи тельность , сут.	максимальные скорости м/с	уклон см/км	максимальные размывы дна, м
руслоформирующий расход высокой повторяемости (обеспеченность среднесуточного расхода около 20%)	1500	90	0,30	0,4	нет
руслоформирующий расход, продолжительность соответствует максимальной наблюдавшейся за период 1994-2004 гг.	3700	10	1,02	2,33	0,08
максимальный за весь период наблюдений (1956-2004гг.)	5440	1	1,15	2,08	нет
расчетный 1% обеспеченности	11200	1	1,95	6,75	нет

Литература

1. Акименко Т.А. Оптимизация пропуска максимальных расходов воды через водохранилище // В сб. Гидроэкология: теория и практика. (Проблемы гидрологии и гидроэкологии, вып. 2), М: Географический факультет МГУ, 2004, с. 445 - 454.
2. Алексеевский Н.И. Экологическая гидрология и гидроэкология в системе наук // (там же), с. 9-37.

ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОД ВОДОХРАНИЛИЩ

Ланцова И.В. (г. Конаково, Конаковский филиал РМАТ, liveco@rambler.ru)

INFLUENCE OF RECREATION WATER USE FOR THE FORMING OF WATER'S QUALITY OF WATER'S RESERVOIRS

Lantsova I.V. (Konakovo, Konakovsky branch RMAТ, liveco@rambler.ru)

В настоящее время отмечается возрастание роли водохранилищ в организации отдыха населения. В статье рассмотрены вопросы влияния рекреационного водопользования на формирование качества воды в связи с возрастающими рекреационными нагрузками на аквально-территориальные комплексы.

Now increase of a role of water basins in the organisation of rest of the population is marked. In article questions of influence of recreational water use on formation of quality of water in connection with increasing recreational loadings on akvalno-territorial complexes are considered.

Водохранилища, являясь сложными природно-хозяйственными системами, выполняют одну из важнейших функций регулирования водного режима территорий, а именно - перераспределение стока рек во времени и пространстве (по территории). Удовлетворяя разнообразные требования, предъявляемые природопользователями к водным ресурсам, водохранилища одновременно с этим вносят в природу и хозяйство территорий ряд побочных нежелательных изменений.

Структура водохозяйственных комплексов (ВХК) водохранилищ со временем, как правило, усложняется, что сопровождается расширением производственно-экономических, экологических и социальных связей и взаимодействий между отраслями хозяйства, населением и природной средой.

Следует отметить, что рекреационное использование водохранилищ комплексного назначения до середины 70-х годов прошлого столетия не проектировалось и происходило в основном стихийно. Лишь постепенно под влиянием объективных факторов, научного и общественного мнения формировалось понимание необходимости и целесообразности научно обоснованного рекреационного использования водохранилищ и прилегающих к ним территорий. В последнее время рекреационное водопользование уже является полноправным участником ВХК, и рекреационное использование водохранилищ обязательно учитывается в проектах гидроузлов комплексного назначения.

Водохранилища занимают особое место в системе рекреационного водопользования и делятся на объекты Федерального, регионального и локального значения. Причём, наиболее остро вопросы рекреационного использования водохранилищ стоят для объектов федерального уровня. Это связано с их многоцелевым назначением и интенсивным хозяйственным использованием, что усиливает межотраслевые противоречия.

В настоящий период отмечается резкое возрастание масштабов рекреационного спроса на аквально-территориальные комплексы (АТК) водохранилищ, что объясняется следующими причинами:

- водохранилища, как правило, создаются в промышленно освоенных районах со значительной концентрацией населения, а следовательно, и с высоким рекреационным спросом;
- водохранилища повышают рекреационную ёмкость и ценность ландшафтов, а в некоторых случаях служат ядром, создающим рекреационные ландшафты;

- ухудшение экологического состояния природных рекреационных ресурсов и, в том числе, водных, в промышленно освоенных районах привело к возникновению «качественного» дефицита водных ресурсов, в связи с чем водохранилища хозяйственно-питьевого назначения, качество воды которых должно соответствовать санитарно-гигиеническим нормативам, становятся наиболее ценными рекреационными объектами;

- значительное количество водохранилищ комплексного назначения создано вблизи городов, что позволяет использовать уже существующую инфраструктуру в рекреационных целях;

- в условиях экономического кризиса наиболее востребованным становится отдых на пригородных водных объектах и, в частности, на водохранилищах, что не требует значительных финансовых затрат.

Одна из важнейших задач в многоаспектной проблеме рекреационного природопользования – это определение масштабов негативного воздействия рекреации на качество окружающей среды и, особенно, на качество воды водохранилищ.

При рекреационном использовании водохранилищ все виды отдыха связаны с использованием как береговых, так и аквальных комплексов и оказывают прямое или косвенное (опосредованное) влияние на те и другие соответственно.

Однако условно все виды отдыха на водных объектах можно разделить на две группы, принципиально отличающиеся друг от друга объектом распределения максимальных нагрузок:

1 – виды отдыха с преимущественным использованием территории;

2 – виды отдыха с преимущественным использованием акватории.

К первой группе относятся организованный отдых в учреждениях отдыха, стационарный самодеятельный отдых, пеший туризм, пикники, осмотр местности, сбор грибов и ягод, отдых с использованием автотранспорта и т.п., т.е. виды отдыха, при развитии которых максимальное воздействие приходится на территориальные природные комплексы.

Ко второй группе следует отнести купание, отдых с использованием маломерного моторного флота, катание на байдарках и яхтах, любительское рыболовство, подводное плавание, виндсерфинг и т.д., т.е. виды отдыха, при развитии которых максимальное воздействие приходится на аквальные природные комплексы.

Объединение видов отдыха по этим группам позволяет определить, на какое звено геоэкосистемы «водосбор – водоём» придётся основной пик нагрузок – на территориальные (береговые) или на аквальные комплексы.

Каждый вид отдыха оказывает различное воздействие на качество вод и, следовательно, при оценке рекреационного воздействия на аквальные комплексы следует учитывать количество и характер загрязнений, поступающих от каждого вида отдыха, чтобы в дальнейшем дать рекомендации по преимущественному развитию структуры видов отдыха и об их оптимальных масштабах и сочетаниях.

Как показали исследования, максимальное воздействие на формирование качества воды оказывают стационарный самодеятельный отдых, любительское рыболовство, купание и отдых с использованием маломерных моторных судов.

Одним из массовых видов отдыха на водохранилищах является любительское рыболовство, характеризующееся сезонностью. Так, наибольшее количество рыболовов-любителей на Верхневолжских, Подмосковных и Иркутском водохранилищах приходится на зимнее время (летом их количество в 2-3 раза меньше), причём максимум отмечается в марте, летом - в августе. Большинство рыболовов (до 80%) в летнее время лов рыбы производят с лодок.

При рыболовстве с берега на отдельных участках рыбаками применяются различные подкормки. По результатам социологического опроса, за одну рыбалку вносится 100 – 300 г подкормки, что способствует евтрофированию мелководных участков водохранилищ.

Рыболовство с лодки характеризуется поступлением загрязнений, как в виде различного

вида прикормок, так и в виде поступления продуктов диуреза. Однако, как и при рыболовстве с берега, при соблюдении правил рыболовства и допустимых рекреационных нагрузок, негативное воздействие на состояние аквальных комплексов может быть незначительным.

Рыболовство со льда является наиболее массовым видом промыслового туризма и характеризуется существенным рекреационным воздействием на аквальные комплексы и, в частности, на качество воды. Расчёты нагрузки загрязнения по Иваньковскому водохранилищу показывают, что только за зимний период рыбалки (ноябрь — март) в водоём может поступить 5-7 тонн взвешенных веществ, 3,0-4,5 т хлоридов, 0,3-0,4 т минерального фосфора, 0,15-0,2 т аммонийного азота, 0,06-0,08 т мочевого азота и 7,5-10,0 т мочевины. Кроме того, при применении подкормки для рыб в водоём вносится ещё около 50-60 тонн различных веществ, в основном - органических.

Использование на акватории водохранилищ маломерного моторного флота также может существенно сказаться на качестве воды. Как показали наши исследования [1], при нарастании рекреационной нагрузки на мелководном участке Иваньковского водохранилища в воде отмечалось увеличение содержания алюминия, никеля, иттрия, цинка и железа в 1,5 раза, марганца и титана – в 2 раза, хрома – более 7 раз. Зафиксировано также увеличение средних концентраций нефтепродуктов в воде водохранилища при суточной рекреационной нагрузке около 140 моторных лодок на акваторию от 0,1 до 2,15 мг/л, при средних значениях 0,54 мг/л. В 54,4% проб концентрация нефтепродуктов в воде превышала ПДК для объектов культурно-бытового назначения в 1,2 – 7,2 раза.

Учитывая, что масштабы развития отдыха с использованием маломерного моторного флота за последние годы на Иваньковском водохранилище сократилось в 4-5 раз и время использования мотора в среднем составляет 2-3 часа в день, было подсчитано, что от использования подвесных лодочных моторов в водохранилище поступает 3,5-5,9 т нефтепродуктов. Удельный вес моторного флота в загрязнении вод водохранилищ незначителен, и по нашим подсчётам, для нефтепродуктов составляет 5-7 %. Негативное воздействие маломерного моторного флота на качество воды носит сезонный и локальный характер.

Массовым видом отдыха на водохранилищах является купание. Исследования влияния массового купания на качество воды Иваньковского водохранилища, проведённые в июле 2002 года, показали, что [2]:

- в зоне купания с проточным режимом (с числом купающихся около 100 человек) санитарно-бактериологические показатели качества воды изменялись незначительно и были на 1 – 2 порядка ниже, чем нормируется для источников хозяйственно-питьевого водоснабжения;
- при застойном режиме (с тем же числом купающихся 100 – 120 человек) отмечалось увеличение в воде аллохтонной сапрофитной микрофлоры, коли – индекса; причём преобладание аллохтонной микрофлоры над автохтонной и возрастание индекса свидетельствовало о свежем фекальном загрязнении.

Проведённые исследования по воздействию купания на качество вод показали, что массовое купание при высоких нагрузках в купальной зоне может представлять опасность для самих купающихся.

Высокие требования рекреационного водопользования к количественным и качественным параметрам акваторий и береговых зон вызывают противоречия с другими участниками ВХК.

Соблюдение допустимых нагрузок по видам отдыха позволяет существенно снизить негативное воздействие рекреационного водопользования на состояние АТК.

Литература

1. Авакян А.Б., Бойченко В.К., Ланцова И.В., Салтанкин В.П., Яковлева В.Б. Рекреационное использование водохранилищ: проблемы и решения. - М., 1990. – 152 с.
2. Ланцова И.В., Григорьева И.Л., Тихомиров О.А. Геоэкологические проблемы рекреационного использования Иваньковского водохранилища//Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32, № 1. - С. 115 – 122.

ГИС “РЕЕСТР ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА”

*Ловцкая О.В., Марусин К.В., Балдаков Н.А.
Барнаул, ИВЭП СО РАН, lov@iwep.asu.ru*

GIS REGISTER OF WATER OBJECTS OB'-IRTYSH BASIN

*Lovtskaya O.V., Marusin K.V., Baldakov N.A.
Barnaul, IWEP SB RAS, lov@iwep.asu.ru*

Рассмотрены подходы к созданию и особенности ведения реестра водных объектов как одного из важнейших инструментов информационной поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами и водохозяйственным комплексом Обь-Иртышского бассейна.

The compilation method and peculiarities of keeping the water objects register as one of the most important tool for information support in decision-making on water resources and water economic complex management in the Ob'-Irtysk basin has been discussed.

В современных условиях одним из важнейших инструментов информационной поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами и водохозяйственным комплексом является реестр водных объектов, создаваемых как самостоятельная геоинформационная система. Системы поддержки принятия решений (СППР) по управлению водными объектами базируются на общих принципах теории управления организационно-техническими системами. Особенности этих систем связаны с существующим пространственным распределением водных и водохозяйственных объектов, а также со спецификой разнообразных связей и отношений между процессами и явлениями природной среды. Наличие информации о точном местоположении объектов, их взаимном расположении и взаимосвязи существенно влияет на качество управленческих решений, принимаемых и реализуемых на различных уровнях [1].

Реестр представляет собой систематизированный свод документированных и иных сведений о водных объектах и их использовании. Реестр водных объектов создается по картографическим, фондовым материалам и на основе полевых исследований. Информационный блок содержит совокупность баз данных, в которых хранится вся имеющаяся информация о каждом из водных объектов в отдельности и всей системе в целом. База данных формируется на основе данных ежегодных гидрологических и гидрохимических наблюдений сети Гидрометслужбы России, мониторинга государственных служб, отчетности водопользователей по форме 2ТП-Водхоз, расчетных данных и др.

При проектировании ГИС “Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна” использован опыт разработки и успешной эксплуатации ГИС “Реестр водных объектов Алтайского края” [2]. Разрабатываемая ГИС расширена территориально (охватывает Обь-Иртышский бассейн) и функционально в связи с возникновением новых задач.

Принципы проектирования ГИС “Реестр водных объектов...”:

- задачи, решаемые системой на первом этапе, должны обеспечивать удовлетворения простых регламентированных запросов на поиск и отображение необходимой информации (информационно-управленческий характер системы). В дальнейшем предполагается развитие системы для обеспечения выполнения сложных прогнозных или аналитических задач и подготовки информации, пригодной для принятия управленческих решений (аналитический характер системы);

- система способна накапливать информацию, представленную в виде карт, тематических фактографических (атрибутивных) данных, а также текстового материала нормативно-правового, методического, регламентирующего и контрольного характера;

- обеспечивается совместная обработка различных исходных материалов как по представлению пространственных данных, так и по атрибутивным данным вне зависимости от применяемой технологии их ввода. Система должна быть совместима по форматам данных с Государственным водным реестром;

- интеграция пространственных данных с атрибутивными данными осуществляется в одной геоинформационной оболочке, обеспечивающей прямые и обратные связи между системами их управления;

- база данных системы является открытой для добавления картографической и атрибутивной информации и расширения состава показателей.

ГИС строится на базе картографической основы масштаба 1:1 000 000 и содержит следующие слои:

- гидрографическая сеть;
- водосборные бассейны рек и озер;
- водохозяйственные участки;
- створы гидрологических и гидрохимических наблюдений;
- контуры административных районов;
- населенные пункты;
- источники сбросов в водные объекты (по 2ТП-водхоз).

Дополнительно выделен слой населенных пунктов, подверженных затоплению и, в качестве вспомогательного, слой устьевых точек.

В состав проекта включены также растровые изображения планшетов карт масштаба 1:1 000 000 на территорию Обь-Иртышского бассейна, служащие дополнительным источником информации об объектах карты.

Атрибутивная база данных отражает состав и взаимосвязи количественных и качественных параметров системы в виде логически скомпонованных показателей, привязанных к картографическим объектам.

Атрибутивная БД состоит из двух взаимосвязанных частей:

Основная база данных – является ядром системы и содержит фондовые и натурные данные о современном состоянии, природных и антропогенных факторах формирования и функционирования водных объектов.

Динамическая база данных – формируется по мере необходимости в результате выборки показателей из основной БД.

В связи с необходимостью изменения состава и структуры базы в процессе развития системы для ее создания используется унифицированный подход, обеспечивающий:

- единую структуру баз данных,
- независимость структуры баз данных от количества учитываемых параметров,
- единообразную привязку данных к объектам окружающей среды на основе ГИС технологий.

В представленной версии ГИС площадные и линейные размеры водных объектов указаны в соответствии с Перечнем водных объектов, зарегистрированных в государственном водном реестре (далее – ГВР), на основе данных гидрологической изученности Государственного водного кадастра. Дополнительно эти характеристики определены с помощью ГИС-технологий. Рисунки 1, 2 иллюстрируют некоторые результаты, полученные с помощью разработанной системы.

Разработанная ГИС является информационным блоком СППР, обеспечивая моделирующие системы необходимыми данными.

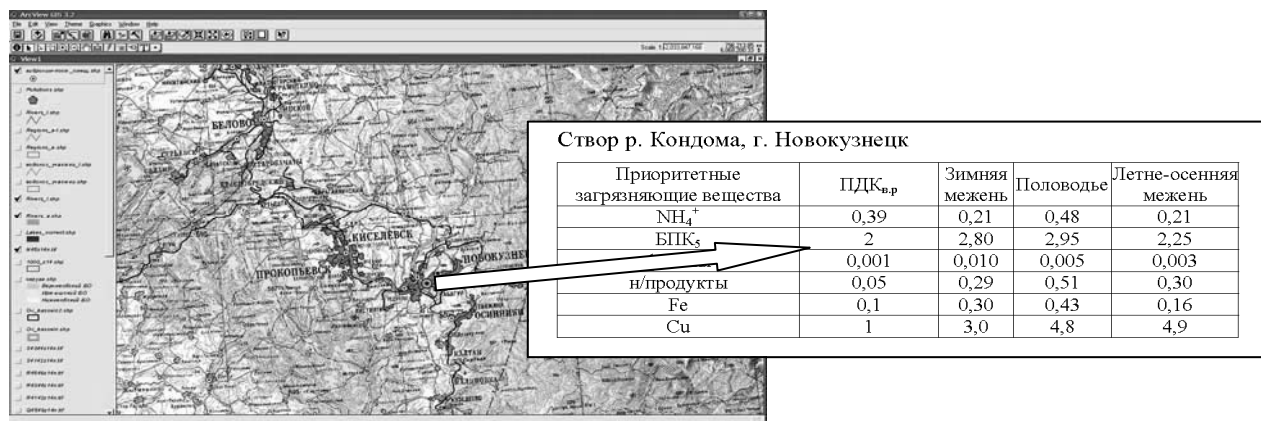


Рисунок 1 – Примеры работы с проектом: представление дополнительной информации по гидрохимическому пункту

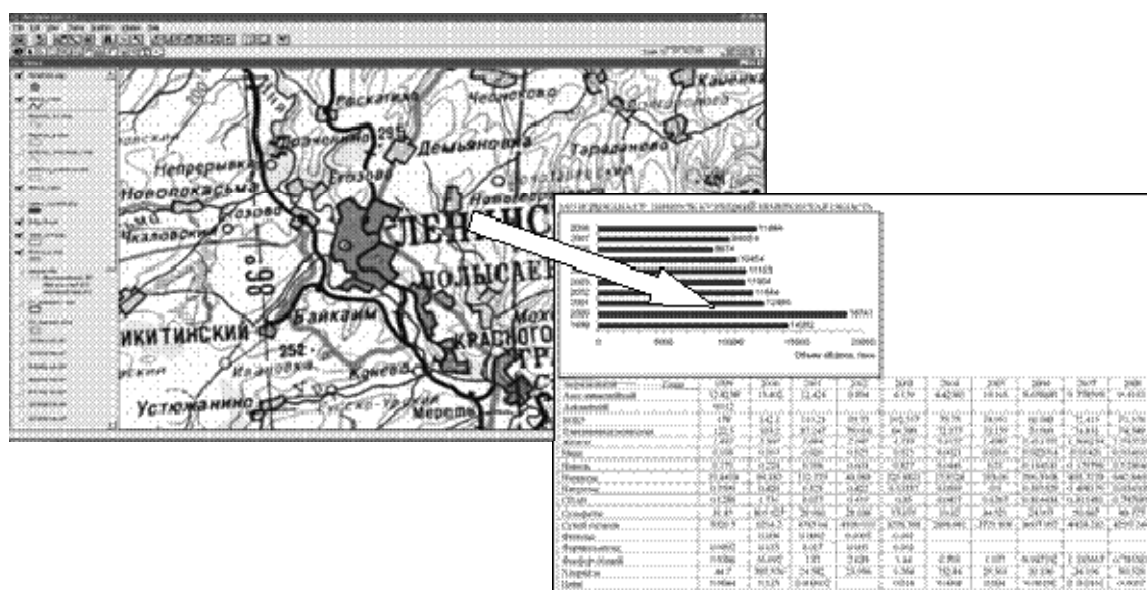


Рисунок 2 – Примеры работы с проектом: а-представление дополнительной информации по источнику сбросов.

Литература

1. Куракина Н.И., Минина А.А. Система поддержки принятия решений по управлению водными объектами с использованием ГИС // ArcReview. – 2008. – N 1(44). – С. 20–21.
2. Реестр водных объектов Алтайского края (Reestr_Altay) : свидетельство № 2007611012 Рос. Федерация / И.В. Жерелина, О.В. Ловцкая, И.В. Постнова, С.Г. Яковченко, В.И. Кормаков; правообладатель Сибирского отделения Российской академии наук научно-исследовательское учреждение «Институт водных и экологических проблем» (ИВЭП СО РАН). – Заявка № 2007610102; дата поступления 9 января 2007 г.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 6 марта 2007 г. – 1 с.
3. Широкова С.Л. Основы построения ГИС управления природопользованием: Монография. – Барнаул: Изд-во Алт.ун-та, 2003. –188 с.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ БАСЕЙНОВ РОССИИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ECOMAG

Мотовилов Ю.Г., ФГУП «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений и государственного водного кадастра», Москва, motol@waterinfo.ru

CURRENT STATUS AND PROSPECT OF HYDROLOGICAL MODELLING FOR THE RUSSIAN RIVER BASINS USING ECOMAG PACKAGE

Motovilov Yu.G., Center of Russian waterworks inventory and State water cadastre, Moscow, motol@waterinfo.ru

Приведено описание структуры комплекса ECOMAG и схема его использования для гидрологического моделирования крупных речных бассейнов России. Кратко описана методика оперативных сценарных расчетов притока воды в крупнейшие водохранилища, задействованная в Росводресурсах.

The structure of the ECOMAG package and scheme of its use for hydrological modeling of Russian large river basins are presented. Procedure for the operational scenario simulations of the inflow into major Russian reservoirs is briefly described.

Технологический комплекс ECOMAG (ECOLOGical Model for Applied Geophysics) включает в себя: математическую гидрологическую модель ECOMAG, специализированную географическую информационную систему (ГИС), базы гидрометеорологических данных и информации о характеристиках территории, а также управляющую оболочку.

Модель ECOMAG. Модель ECOMAG [2] - версия пространственно-распределенной модели гидрологического цикла и формирования стока в речных бассейнах. Математическая модель построена в соответствии со следующей схемой принимаемых во внимание процессов. В летний период выпадающие осадки в виде дождя частично проникают в почву. Избыток воды, не поглощенный почвой, после заполнения депрессий на поверхности бассейна перемещается по уклону поверхности в речную сеть. Часть влаги, впитавшейся в почву, может перемещаться по уклону по временным относительно непроницаемым водоупорам. Вода, не попавшая в речную сеть, расходуется на испарение или дренаж в более глубокие горизонты почвы. В холодный период года рассматриваемая схема дополняется учетом гидротермических процессов в снежном покрове и почве. Таким образом, модель описывает основные процессы гидрологического цикла суши: инфильтрацию, испарение, термический и водный режим почв, формирование снежного покрова и снеготаяние, формирование поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и речного стока.

Схематизация речных бассейнов. Чтобы моделировать процессы гидрологического цикла и стекания воды по склонам водосбора и в русловой сети, необходимо провести модельную схематизацию речного бассейна и речной сети, информация о древообразной структуре которых (какая река впадает в какую, протяженность притока, прилегающие склоны, с которых вода попадает на данный участок реки, типы почв и землепользования на этих участках и т.д.) закладывается в модель. Модельная пространственная схематизация речного бассейна и его русловой сети производится на основе электронных карт региона с помощью разработанной специализированной ГИС-технологии на базе пакета ArcView, предназначенной для решения задач пространственного моделирования и анализа водных потоков. Эта технология позволяет на основе цифровой модели рельефа и анализа линий тока в автоматическом режиме с различной степенью детальности

прорисовывать структуру речной сети и выделять линии водоразделов -границы элементарных речных водосборов, являющихся пространственными расчетными единицами модели.

Базы данных. Возможности использования комплекса ECOMAG для гидрологического моделирования речных бассейнов России определяются, прежде всего, наличием и доступностью необходимой для реализации модели информацией о характеристиках речных бассейнов и гидрометеорологических данных. В настоящее время в базах данных комплекса интегрируются информационные потоки, задействованные на всех уровнях подготовки информации для гидрологического моделирования. Объем и пространственное покрытие информационными ресурсами территории России достаточны для проведения расчетов для любых крупных речных бассейнов РФ. В частности, базы данных включают информацию о характеристиках почв, землепользования, вегетации, а также архивные и оперативные гидрометеорологические данные на территорию России.

В качестве основных видов информации для формирования баз данных о характеристиках речных бассейнов используются следующие картографические материалы: цифровые топографические карты различных масштабов на территорию страны; цифровые модели рельефа с разрешением 1 км и 90 м; серии тематических карт (водных ресурсов, почвенная, ландшафтная и т.д.); карты-схемы пунктов наблюдений за состоянием окружающей среды.

Оперативная информация гидрометеорологического и водохозяйственного мониторинга по каналам связи в непрерывном режиме передается и интегрируется в базах данных комплекса. В частности, оперативные базы данных включают в себя:

- ежедневные оперативные гидрологические данные (уровни, расходы, температура воды, ледовые явления и т.д.) на гидрометрических постах Росгидромета, расположенных на реках, озерах и водохранилищах (поступает информация с более чем 1200 гидрометрических постов);
- ежедневные данные о водохозяйственной обстановке на водохранилищах и деятельности в области управления водными ресурсами (информация по уровенному режиму в бьефах гидроузлов водохранилищ, боковому и общему притоку к водохранилищам, сбросам из водохранилищ и т.д.);
- метеорологические данные (давление, температура воздуха, количество осадков, направление и скорость ветра и т.д.) срочных наблюдений на метеорологических постах Росгидромета (на территорию России и сопредельных государств задействована оперативная метеорологическая информация более чем с 4000 метеорологических постов);
- агрометеорологические данные (послойные запасы продуктивной влаги в почве, глубина промерзания и оттаивания почвы, наличие ледяной корки и т.д.) наблюдений на агрометеорологических постах Росгидромета (задействовано около 1500 агрометеорологических постов);
- оперативные данные по характеристикам снежного покрова (высота, плотность и запасы воды в снежном покрове на полевых и лесных участках) пентадных и декадных наблюдений на около 1200 снегомерных пунктах Росгидромета.

Кроме оперативных баз данных, в которых накоплена информация за последний 10-ти летний период, для калибровки и проверки гидрологической модели используются и базы архивных данных гидрометеорологических и водохозяйственных характеристик за более длительные периоды наблюдений.

Управляющая оболочка. Управляющая оболочка позволяет связать информацию ГИС для рассматриваемой территории с информацией Баз данных, сконфигурировать необходимый вариант расчета, запустить модель на счет и отобразить результаты расчетов на экране компьютера в форме различных графиков и схематических карт территории, включающих картографическую основу и расчетные гидрологические карты, в том числе распределение расходов воды в русловой сети речной системы бассейна.

Гидрологическое моделирование. Моделирование формирования речного стока по модели ECOMAG проводилось для ряда крупных речных бассейнов России (Волги и Камы, Северной

Двины, Мезени, Печоры, Кубани, Оби, Енисея, Лены, Яны, Индигирки, Амура). Ежесуточные поля метеоданных на территорию бассейнов являются входом в модель. Модель рассчитывает поля снежного покрова, увлажнения, промерзания и оттаивания активного слоя почвы, снеготаяния, поверхностного склонового и речного стока в русловой сети. Гидрографы стока по гидрометрическим постам, а также данные по притоку в водохранилища используются в модели для калибровки ее параметров и проверки точности модели.

Уравнения модели ECOMAG содержат параметры и коэффициенты, которые имеют прямой физический смысл. Большая часть этих параметров задаётся из баз данных характеристик почв, растительности и речных бассейнов. Однако в ряде случаев диапазон изменения параметров модели достаточно широк и в этих случаях их необходимо калибровать. Калибровка параметров проводится по наилучшему совпадению рассчитанных и фактических суточных гидрографов стока (притока) и оценивается с помощью критерия соответствия Нэша-Сатклифа R_{NS}^2 .

Опыт применения модели для гидрологического моделирования речных бассейнов показал, что для калибровки параметров физически обоснованных гидрологических моделей, к классу которых относится модель ECOMAG, необходимы относительно короткие ряды наблюдений, и калибровка по 6 – 7 годам дает вполне устойчивые параметры модели.

Здесь необходимо подчеркнуть, что в модели ECOMAG калибруются параметры типов почв, растительности и подстилающей поверхности на территории речных бассейнов, а не параметры конкретных речных бассейнов. Своеобразие частных речных бассейнов отражается в модели сочетанием в них и пространственным распределением конкретных типов почв, растительности, рельефа, уклонов, структуры речной сети, метеорологических условий и т.п. Поэтому, моделируя большой речной бассейн, в рамках одного прогона модели можно рассчитать не только сток в замыкающем створе речного бассейна, но и речной сток в любой точке речной системы, включая все притоки основной реки. Такая возможность позволяет проводить проверку модели по всем имеющимся пунктам измерений расходов воды в речных бассейнах.

Расчеты притока воды к водохранилищам. С 2004 года комплекс ECOMAG задействован Росводресурсами для оперативных сценарных расчетов боковой приточности к водохранилищам Волжско-Камского каскада, а с 2009 г. – к водохранилищам Ангара-Енисейского каскада. В настоящее время, комплекс принят в опытную эксплуатацию в Бассейновых водных управлениях Росводресурсов и для ряда других крупнейших водохранилищ России.

Для проведения сценарных расчетов притока воды в водохранилища используется следующий подход. По гидрологической модели формирования стока ECOMAG на основании оперативных метеорологических данных рассчитываются гидрографы притока воды в водохранилища на текущую дату, затем на ближайшие 7 дней для гидрологических расчетов притока используется количественный метеорологический прогноз Росгидрометцентра на данную территорию, а на последующий после даты метеорологического прогноза период (обычно, квартал) задаются фактические метеорологические ряды за аналогичный период, зарегистрированные в предыдущие годы, как возможные сценарии погоды на период расчета. Из полученных сценариев развития гидрологической обстановки и притока в водохранилища выбирается год-аналог, как наиболее вероятный сценарий притока, используемый в дальнейшем для водохозяйственных расчетов в целях разработки предложений по регулированию режимов работы гидроузлов водохранилищ, что и осуществляется в Росводресурсах в настоящее время.

Литература

1. Gelfan A.N., Motovilov Yu.G. Long-term hydrological forecasting in cold regions: retrospect, current status and prospect. *Geography Compass* 3/5, 2009.
2. Motovilov Yu.G., L.Gottschalk, K.Engeland and A.Rodhe. Validation of a distributed hydrological model against spatial observation. *Agricultural and Forest Meteorology*. 1999, 98-99, pp.257-277.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ Р. ИШИМ

Платонова С.Г., г. Барнаул, Институт водных и экологических проблем СО РАН, platonova@iwep.asu.ru

ECOLOGICAL RISKS IN TRANSBOUNDARY BASINS OF RIVER ISHIM

Platonova S.G., Barnaul, Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, platonova@iwep.asu.ru

Рассматривается эколого-гидрологическая характеристика, современные особенности водопользования и экологические риски трансграничного бассейна р. Ишим.

Summary. The paper presents the ecological-hydrological characteristic, modern features of water use and ecological risks in transboundary basins (river Ishim as a case study).

Экологические проблемы и связанные с ними экологические риски в бассейне р. Ишим являются отражением общих проблем трансграничных бассейнов на границе Казахстана и России. Вопросам оценки и решению проблем трансграничных бассейнов уделяется в современное время достаточно большое внимание как со стороны учёных, так и со стороны государственных административных органов и действующих бассейновых управлений. Но анализ литературы показал, что экологическим состоянием в бассейне р. Ишим притока Иртыша в связи с возрастающим водопотреблением озабочены больше в Казахстане, чем на территории России. Учитывая то, что Ишим течёт из Казахстана в Россию, острота проблем, вероятность и степень экологических рисков наиболее высока именно на российской стороне бассейна.

Природная характеристика и обзор водохозяйственного комплекса бассейна р. Ишим. Ишим – самый длинный левый приток Иртыша. Длина реки – 2450 км, площадь бассейна – 177 тыс. км². Бассейн реки расположен в трех природных зонах: степной (в пределах Казахского мелкосопочника), лесостепной и лесной (на Западно-Сибирской равнине). В бассейне р. Ишим насчитывается свыше 2300 водотоков и более 5500 водоемов (озёр, водохранилищ, прудов). Подавляющее большинство водотоков (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 [4].

Питание Ишима снеговое. Максимальные уровни воды наблюдаются в апреле-мае в период весенне-летнего половодья. Интенсивность подъёма уровня колеблется от 6-23 см/сут. (средняя за половодье) до 170 см/сут., интенсивность спада в среднем составляет за половодье 4-12 см/сут. (наибольшая до 50 см/сут.). Река Ишим имеет характерное распластывание волны половодья с тенденцией уменьшения максимальных расходов вниз по течению. В низовьях река в половодье разливается до 15 км. Ишим в пределах России формирует около 1 км³ стока или 31% от стока в устье (при модуле стока от 0,16 до 2,2 л/с км²) [3]. Средний многолетний годовой сток бассейна р. Ишим составляет 2,23 км³. Прогнозные ресурсы подземных вод в бассейне р. Ишим с минерализацией до 10 г/л составляют 1107,8 млн. м³, в т. ч. с минерализацией до 1 г/л – 778,2 млн. м³ [4].

На границе Тюменской области с Казахстаном средний многолетний расход воды р. Ишим составляет около 45 м³/с, наибольший – 1120 м³/с (10-11 мая 1986 г.), наименьший – 0,45 м³/с (6 ноября 1968 г.). Средний объём годового стока воды реки на границе с Казахстаном (с. Ильинка) состав-

ляет 1,45 км³ (обеспеченный на 97% около 120 млн. км³). Из этого количества воды в среднем 75-80% проходит в период половодья [4].

Ишим имеет важное хозяйственное значение, как для Казахстана, так и для России. На территории России в Тюменской области водохозяйственный комплекс представлен социально-экономическим подрайоном Юга Тюменской области, включающий в свой состав г. Ишим, территории Ишимского, Абатского, Казанского, Сладковского, Бердюжского, Викуловского и Сорокинского административных районов, а также Усть-Ишимский район Омской области. Водохозяйственный комплекс бассейна р. Ишим в пределах Казахстана представлен городом Астаной, Акмолинской и Северо-Казахстанской областями. Основными водопотребителями в регионе являются питьевой, коммунально-бытовой, промышленный и сельскохозяйственный сектора. Анализ данных показывает, что водопотребление значительно увеличивается, только за период 2000-2006 гг. на территории Казахстана оно возросло с 13% до 32%, а с развитием экономики тенденция значительного увеличения забора воды увеличивается [1].

Экологические риски в трансграничном бассейне р. Ишим. Положение России и Казахстана на водосборе неравнозначно. Казахстан находится в более выгодном положении, располагаясь в верхней части бассейна. Россия имеет менее выгодное геополитическое положение, располагаясь в нижней части водосбора. На российской части водосбора основные трансграничные проблемы водопользования связаны с использованием водных ресурсов р. Ишима, пересекающего государственную границу, в Омской, Тюменской областях. Острые ситуации возникают по поводу согласования интересов водопользователей в бассейне трансграничной реки, связанных с перераспределением водных ресурсов между государствами; трансграничным переносом загрязнений; охраной водных объектов.

На территории Казахстана Ишим зарегулирован тремя крупными водохранилищами комплексного назначения: Астанинским (полезный объем 375,4 млн. м³), Сергеевским (635,0 млн. м³) и Петропавловским (16,1 млн. м³). Кроме них на р. Ишим и его притоках построено большое количество малых водохранилищ ёмкостью от 1 до 12 млн. м³, суммарная полезная ёмкость которых составляет около 132 млн. м³ и использующихся для орошения прилегающих земель и обводнения пастбищ путем накопления весеннего стока [1]. Эксплуатация на территории Казахстана водохранилищ, а также сверхнормативный забор воды привело к существенному сокращению за последние десятилетия стока р. Ишим. Перераспределение водных ресурсов между государствами – яркий пример несогласованности действий в сфере водопользования, негативно сказывающейся на состоянии единого водного фонда бассейна приводит к рискам маловодья на территории России, сопровождаемое зарастанием русла реки, наблюдаемое нами в 2010 г.

Техногенное воздействие городских территорий и промышленных предприятий создают условия развития экологических рисков, определяемых загрязнением, таких, как ухудшение питьевого качества воды, увеличение заболеваемости населения.

На территории России в Тюменской области значимыми техногенными факторами являются: комплексное воздействие городских территорий и промышленных предприятий (особенно в Тюменской и Ишимской промышленных зонах); разработка месторождений углеводородного сырья (Кальчинский нефтепромысел и Уватский нефтегазовый комплекс), а также твердых полезных ископаемых, строительство нефтепроводов и транспортировка углеводородов [3].

Ухудшение качества воды в Ишиме усугубляется трансграничным загрязнением. По оценке качества воды р. Ишим (по среднемноголетним показателям за 1985-2005 гг.) на границе Казахстана и России лимитирующие загрязняющие вещества представлены нефтепродуктами, фенолами, железом. По классификации, принятой водохозяйственным Советом стран-членов СЭВ, на границе двух стран вода по качеству определяется не пригодной для рыбо-хозяйственных и хозяйственно-питьевых целей, а по экологическим критериям отнесена к III классу, как очень не-

значительно загрязнённая [3]. В результате суммарного воздействия местного и трансграничного загрязнения средняя концентрация нефтепродуктов у г. Ишима достигала 1,5 мг/л, что в 30 раз выше ПДК, СПАВ 0,05 мг/л, фенолов выше ПДК в 6,5 раз, аммонийного азота почти в 6 раз, железа в 8 раз (0,8 мг/л), меди в 11-12 раз. Среднее содержание кремния в воде 2,5-3,0 мг/л. Содержание основных загрязняющих воду органических и минеральных веществ высокое, хотя и очень существенно изменяется по годам и сезонам года [2-4].

Сравнительный анализ имеющихся водных ресурсов в бассейне р. Ишим и их потребления, показал, что проблемы трансграничного бассейна, определяемые экологическими рисками, вызваны управлением водными ресурсами. Разработки действенной системы управления использованием и охраной трансграничных водных объектов была и остаётся актуальной для стран бассейна Ишима.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта СО РАН совместно с УрО РАН и ДВО РАН (№ 82).

Литература

1. *Ашенев Г.А.* Участие Бассейновых советов в решении приоритетных проблем по рациональному использованию и охране водных ресурсов, 26.04.2007, г. Алматы. Режим доступа: <http://www.admhmao.ru/socium/gkh/voda.htm/>
2. Состояние окружающей среды области / Проблемы водных ресурсов Режим доступа: <http://www.admhmao.ru/socium/gkh/voda.htm>.
3. Требования к комплексной оценке ресурсов поверхностных и подземных вод как информационного обеспечения разработки СКИОВО бассейна рек Оби и Иртыша / Научно-технический отчет. ЗАО ПО «Совинтервод». Москва, 2008.
4. *Щеглов А.Ф., Андреев В.М., Щеглова С.И., Губанова Л.В., Супнес Н.Е., Демус Ю.А.* География Тюменского Приишимья. Ишим: Изд-во Ишимского государственного педагогического института, 2010. 271 с.

ОБЗОР МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЧНЫМ БАССЕЙНОМ

Пушистов П.Ю.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, pushtcmpr@mail.ru

ОБЗОР МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЧНЫМ БАССЕЙНОМ

Pushistov P. Yu.

Ugra State University, Khanty-Mansiysk, pushtcmpr@mail.ru

Кратко излагается описание базового компонента инструментария внедрения интегрированного управления водными ресурсами – методология создания высокотехнологичных систем поддержки принятия решений.

The base component of toolkit of introduction Integrated Water Resources Management – methodology of creation of hi-tech Decision Support Systems is described.

Консорциум организаций (ОАО НПЦ «Мониторинг», ЮГУ, ТГУ, НПП «Полет», ИВМ РАН) в 2009 году в рамках Гранта правительства ХМАО – Югры реализовал проект «Разработка научно-технических предложений по созданию высокотехнологичной системы автоматизированного мониторинга и управления использованием и охраной водных ресурсов зон поэтапного промышленного освоения Приполярного Урала в бассейне реки Северная Сосьва».

Цель проекта заключалась в том, чтобы разработать инновационные предложения по созданию в бассейне реки Северная Сосьва системы автоматизированного мониторинга и интегрированного управления использованием и охраной водных ресурсов, адекватно гарантирующей достижение горно-промышленными и транспортно-энергетическими предприятиями и природоохранными органами уровня устойчивого рационального природопользования, как одного из важных факторов реализации экономических и социальных целей программ Мегaproекта «Урал Промышленный – Урал Полярный».

Консорциум исполнителей в рамках реализации данного проекта решил прибегнуть к методам, основанным на современных научных исследованиях и технологиях в области интегрированного управления системой водных ресурсов (объединяющей систему природных ресурсов, социально-экономическую систему и административно-институциональную систему), а также на опыте, результатах разработки и эксплуатации систем поддержки принятия решений (СППР) интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) развитых стран (<http://www.gwpforum.org>).

Интегрированное управление водными ресурсами

Главные принципы интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) были определены в Дублине в 1992 г. на Международной конференции по проблемам воды и окружающей среды, гласящие о том, что а) ресурсы пресной воды не бесконечны, вода – основа жизни и устойчивого развития общества; б) развитие и управление водными ресурсами должно равномерно распределяться между теми, кто пользуется водой, теми, кто планирует и принимает решения на всех уровнях; в) вода имеет экономическую стоимость и должна восприниматься как экономическое благо.

ИУВР – это новый подход к управлению водой, при котором происходит инициирование людей, общества, водопользователей к активности, взаимодействию и, вместе с тем, вовлекаются и правительство, и местные руководители к приближению достижения Целей Тысячелетия, принятых на Саммите ООН в 2000 году.

Концепция ИУВР основывается на ряде ключевых принципов, которые и определяют ее практическую сущность. В обобщенном виде эти принципы заключаются в следующем:

- управление водными ресурсами осуществляется в пределах гидрографических границ, в соответствии с морфологией конкретного речного бассейна;
- управление предусматривает учет и использование всех видов водных ресурсов (поверхностных, подземных и возвратных вод), принимая во внимание климатические особенности регионов;
- тесная увязка всех видов водопользования и всех участвующих в управлении водными ресурсами организаций по горизонтали между отраслями и по вертикали между уровнями водохозяйственной иерархии;
- общественное участие не только в управлении, но и в финансировании, поддержании, планировании и развитии водохозяйственной инфраструктуры;
- приоритет природоохранных требований в деятельности водохозяйственных органов;
- нацеленность на водосбережение и борьбу с непродуктивными потерями воды водохозяйственных организаций и водопользователей; управление спросом на воду, наряду с управлением ресурсами;
- информационное обеспечение, открытость и прозрачность системы управления водными ресурсами;
- экономическая и финансовая стабильность управления.

Отметим, что новый Водный кодекс, введенный в действие в 2006 году, не использует определение ИУВР, но предусматривает внедрение в водохозяйственном комплексе РФ целого ряда принципов ИУВР. Впервые в водохозяйственном законодательстве РФ понятие «интегрального управления водными ресурсами» использовано в Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации 27 августа 2009 г. № 1235-р.

Система Поддержки Принятия Решений для интегрированного управления водными ресурсами

Важным элементом ИУВР является создание информационного инструмента, способного обеспечить устойчивое управление водными ресурсами. Опыт внедрения на практике принципов ИУВР, накопленный в США (<http://cdss.state.co.us>) и ЕС (http://www.europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/index_en.html) однозначно свидетельствует, что таким инструментом может быть инновационная методология создания высокотехнологичных Систем Поддержки Принятия Решений (СППР) для управления использованием, восстановлением и охраной водных ресурсов речного бассейна.

Общая конфигурация СППР, как системы коллективного пользования для планирования и управления водными ресурсами, включает в себя следующие уровни (функциональные системы) и блоки:

- уровень 1 – измерительная система с блоками: данные ДЗЗ, измерения на сети станций, включая автоматические станции раннего предупреждения, полевые изыскания;
- уровень 2 – информационная система с блоками: ГИС, базы данных, базы знаний и правил;
- уровень 3 – моделирующая система с блоками: модели природных систем, экономические модели, модели водопотребления;
- уровень 4 – аналитическая система с блоками сервисных программ: диагноза, развития системы, разработки стратегий, оценок и нормирования.

Синописис научно-методических и обучающих материалов по проектированию и реализации высокотехнологичных СППР

Следующим практическим шагом при реализации проекта СППР «Северная Сосьва», должно стать исследование осуществимости (feasibility study) разработки первой очереди СППР интегрированного управления использованием и охраной экосистем бассейна верхнего и среднего течений реки Северная Сосьва с учетом сценариев промышленного освоения Приполярного Урала. Для разработки указанного feasibility study возникла необходимость подготовки синописиса (краткого обзора, конспекта) научно-методических и обучающих материалов по разработке и эксплуатации инновационных технологий СППР ИУВР.

Цель настоящего доклада дать краткую информацию о подготовке синописиса научно-методических и обучающих материалов по проектированию и реализации высокотехнологичных СППР ИУВР, базируясь на опыте инновационных разработок СППР в США и ЕС.

В базовые научно-методические и обучающие материалы по проектированию и реализации высокотехнологичных СППР ИУВР для распространения передового опыта инновационного управления речными бассейнами среди лиц принимающих решения, заинтересованных водопользователей и специалистов в области охраны окружающей среды вошли следующие материалы:

1 Материалы по теме: «Интегрированное управление водными ресурсами»

1.1 Материалы Глобального Водного Партнерства

1.1.1 Руководство по ИУВР в бассейнах, 108 с., 2009 г. (русский язык)

1.1.2 Инструментальный ящик ИУВР. Совместное использование знаний для справедливого, действенного и устойчивого управления водными ресурсами, 184 с., 2008 г. (русский язык)

1.2 Планирование и управление системами водных ресурсов. Введение в методы, модели и применения (монография ЮНЕСКО). Water resources systems planning and management – ISBN 92-3-103998-9 - © UNESCO 2005, 676 p. (выполнен драфт-перевод глав 1,2 и 3, а также приложений В и Е, всего 185 с.)

1.3 CE-QUAL-W2: Двухмерная, поперечно-осредненная модель гидродинамики и качества воды, Версия 3.6. 2008 г., Руководство пользователя (Cole, T.M., and S. A. Wells , 712 с.) Выполнены драфт-переводы на русский язык указанного руководства, научно- технических отчетов по разработки моделей CE-QUAL-W2 для рек Верхний Спокейн и Грин (<http://www.cee.pdx.edu/w2>).

2 Материалы по теме: «Разработка и эксплуатация Систем поддержки принятия решений для речных бассейнов штата Колорадо (США)» (<http://cdss.state.co.us>)

2.1 Колорадские Системы Поддержки Принятия Решений. Годовой отчет за 2009 год, январь 2010 г. (выполнен драфт-перевод на русский язык)

2.2 СППР «Колорадо» как инструмент управления водными ресурсами в масштабе всего штата (статья, выполнен драфт-перевод на русский язык)

2.3 Система поддержки принятия решений для реки Колорадо (обзор, 15 с., выполнен драфт-перевод на русский язык)

2.4 Система поддержки принятия решений Рио Гранде Исследование осуществимости (107 с., апрель 1998 г., выполнен драфт-перевод на русский язык)

2.5 Система поддержки принятия решения СаузПлатте исследование осуществимости (заключительный отчет, октябрь 2001 года, Октябрь 2001 года, выполнен драфт-перевод на русский язык)

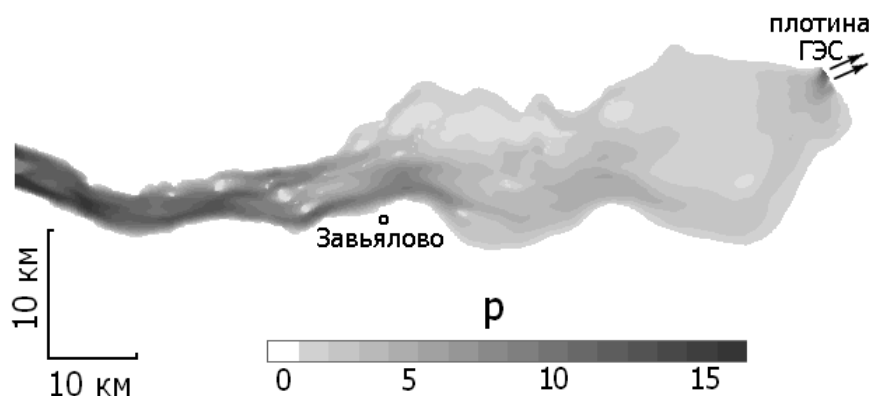
3 Материалы по теме: «Разработка и эксплуатация СППР управления бассейном реки Эльба» (<http://elise.bafg.de/>; <http://www.bafg.de/>; <http://www.wem.ctw.utwente.nl/>)

3.1 Брошюра Федерального Института Гидрологии Германии

3.2 СППР – Эльба: «Разработка Системы Поддержки Принятия Решений для бассейна реки Эльба» (обзор, выполнен драфт-перевод на русский язык)

3.3 От замысла до применения Системы Поддержки Принятия Решений для интегрированного управления речным бассейном (обзор, 41 с., 2008 г., выполнен драфт-перевод на русский язык)

3.4 К общему инструменту управления речным бассейном. Этап постановки задачи для бассейна реки Эльба. Исследование осуществимости – отчет, тома 1,2,3,4. M. Verbeek, H. van Delden, H.G. Wind and J.L. de Kok with comments by J. Berlekamp and M. Matthies (выполнен драфт-перевод на русский язык).



ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ВОД ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: АНАЛИЗ ДОКУМЕНТОПОТОКА ИЗ БД СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ГПНТБ СО РАН

Рыкова В.В., Шевцова Э.Ю., Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, onbryk@spsl.nsc.ru

WATER POLLUTION AND PROTECTION IN WEST SIBERIA: ANALYSIS OF A DOCUMENTARY FLUX FROM A DATA BASE OF OWN GENERATION OF SPSTL SB RAS

Rykova V.V., Shevtsova E.Y., State Public Scientific Technological Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, onbryk@spsl.nsc.ru

В статье охарактеризованы информационные ресурсы, созданные в ГПНТБ СО РАН, по проблеме загрязнения гидросферы Сибири и Дальнего Востока, проведен наукометрический анализ документопотока по теме «Загрязнение и охрана вод Западной Сибири», отобранный из БД собственной генерации библиотеки «Экология и охрана окружающей среды Западной Сибири».

Information resources on the problem of hydrosphere pollution in Siberia and the Far East created by SPSTL SB RAS, are characterized and a scientimetric analysis of a documentary flux on the topic "Water pollution and protection in West Siberia", selected from a data base of library's own generation "Ecology and protection of environment in West Siberia" is represented in the paper.

Десятилетие 2005-2015 гг. провозглашено ООН Международной декадой «Вода для жизни», что вызвано возрастающей озабоченностью в связи с дефицитом пресных вод в отдельных районах Земли [2]. С одной стороны, ежегодно растет потребление воды за счет развития промышленности, сельского хозяйства и прироста населения, с другой - запасы водных ресурсов уменьшаются за счет химического загрязнения гидросферы отходами и сточными водами различного происхождения. Количественное и качественное изменение запасов воды выдвигает потребность научного анализа и прогноза состояния водных ресурсов, при составлении которых важным фактором выступает информационная составляющая.

Отдел научной библиографии Государственной публичной научно-технической библиотеки Сибирского отделения Российской академии наук (ОНБ ГПНТБ СО РАН) уже 50 лет занимается информационной поддержкой научных программ и проектов ученых и специалистов СО РАН. За это время накоплен огромный объем информационных ресурсов по различным отраслям научного знания. Исследованию загрязнения отдельных компонентов природной среды уделяется особое внимание. Вопросы антропогенного загрязнения гидросферы освещены в указателях литературы и базах данных собственной генерации: ретроспективных библиографических указателях: «Климат и гидрология Западной Сибири» (1800-1966 гг.), «Водные ресурсы Сибири» (1979-1991 гг.), «Загрязнение и охрана окружающей среды: справочные и информационно-библиографические издания» (1985-2000 гг.), «Устойчивое развитие природы и общества Сибири и Дальнего Востока» (1992-1997 гг.), «Охрана природы Сибири и Дальнего Востока» (1960-1978 гг.); текущих указателях литературы «Проблемы Севера», «Природа и природные ресурсы Сибири и Дальнего Востока, их охрана и рациональное использование»; ретроспективной базе данных «Водные ре-

суды Сибири» (1979-1991 гг.) и базах данных с текущим пополнением: «Природа и природные ресурсы Сибири и Дальнего Востока» (компилируемая с 1988 года), «Проблемы Севера» (с 1988 г.), «Загрязнение и охрана окружающей среды» (с 1992 г.), «Экология и охрана окружающей среды Западной Сибири» (с 1988 г.), «Устойчивое развитие природы и общества» (с 1992 г.), работа над созданием которых продолжается по настоящее время. Подготовка и выпуск текущих и ретроспективных указателей литературы и библиографических БД осуществляется Отделом научной библиографии. Лаборатория информационно-системного анализа работает над серией аналитических обзоров по экологии. По данной проблеме совместно с Институтом водных и экологических проблем СО РАН выпущено 2 обзора [2, 4].

В ГПНТБ СО РАН помимо создания БД и аналитических обзоров проводится мониторинг документальных потоков (ДП) по отдельным остроактуальным проблемам с использованием наукометрического (библиометрического) анализа [3]. Нами был отобран ДП по теме «Загрязнение и охрана вод Западной Сибири», включающий 2616 документов за период с 1988 по 2009 гг., из БД собственной генерации «Экология и охрана окружающей среды Западной Сибири» и проведен анализ его временной, видовой и тематической структуры. Основой для создания БД является обязательный экземпляр, получателем которого является ГПНТБ СО РАН (текущие поступления); региональные БД собственной генерации (формируемые с 1988 г.); зарубежные издания, получаемые по подписке и международному книгообмену; доступные БД и ресурсы Интернет. Каждый документ БД включает полное библиографическое описание, переводы к зарубежным изданиям, при необходимости более полного раскрытия содержания документа - аннотации, а также географическую и систематическую рубрики.

Данные о динамике распределения документов исследуемого ДП по годам показывают, что в середине 90-х прошлого столетия отмечался спад публикационной активности (менее 100 документов в год), который объясняется негативным влиянием экономического постперестроечного кризиса на состояние российской науки. Начиная с 1998 года поток публикаций характеризуется стабильным ежегодным приростом документов. Учитывая положительные тенденции в развитии науки, а также возрастающую актуальность данной проблемы, следует ожидать прироста ДП по рассматриваемой тематике (Рис. 1).

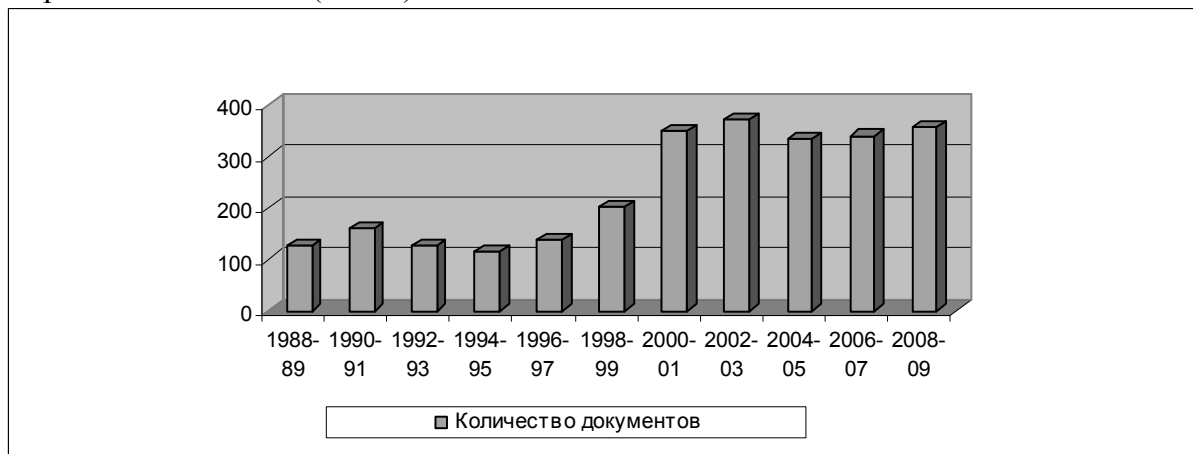


Рисунок 1. Динамика ДП

Анализ структуры ДП по видам изданий (Рис. 2) показал, что преобладающую часть информационного массива составляют материалы конференций (56%), проведение которых по данной проблеме стало регулярным. Назовем лишь некоторые из них: Международный научно-промышленный форум «Великие реки», Международная конференция «Оптика атмосферы и океана», Всероссийское совещание по подземным водам востока России, конференция «Фунда-

ментальные проблемы воды и водных ресурсов». Помимо материалов конференций в структуре ДП велика доля информации из периодических и продолжающихся изданий (22%) и сборников статей (около 15%). Наиболее продуктивными периодическими изданиями являются следующие: «Водные ресурсы», «География и природные ресурсы», «Метеорология и гидрология», «Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология». Доля монографий и авторефератов диссертаций невелика (2% и 3% ДП соответственно), но следует отметить тот факт, что за последние пять лет вышло в свет 20 монографических работ и было защищено 33 диссертации. В свете современных тенденций развития науки можно ожидать появления новых работ, обобщающих многолетние исследования по загрязнению и охране вод в различных районах Западной Сибири. Среди авторов, выделяющихся публикационной активностью, хотелось бы отметить Г.Н. Аношина, В.А. Бешенцева, В.А. Бобкова, В.М. Савкина, Ж.О. Бадмаеву, С.Л. Шварцева и др.

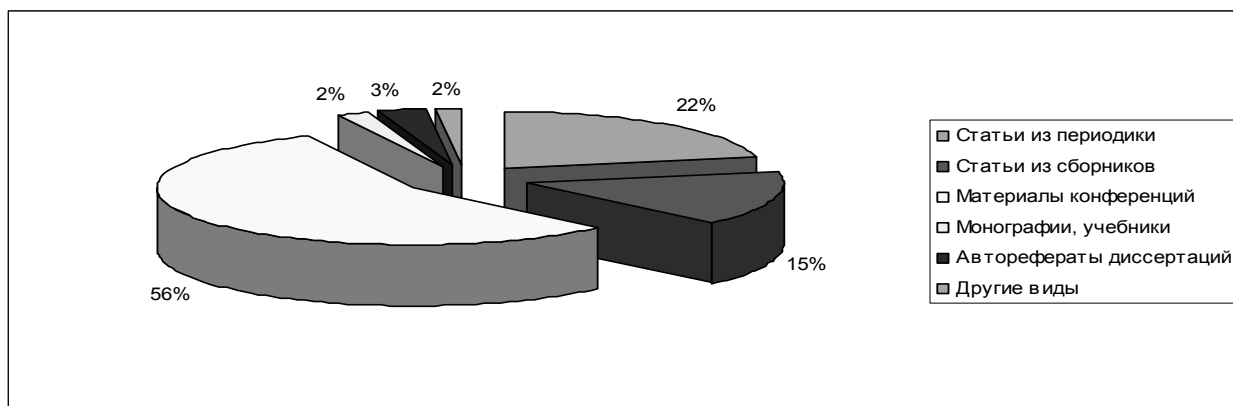


Рисунок 2. Видовая структура ДП

По виду антропогенного воздействия на водные ресурсы Западной Сибири ДП можно структурировать следующим образом:

- общие вопросы антропогенного влияния на воды – 38,24%,
- оценка качества воды (гидрохимические, гидробиологические, гидрофизические показатели) – 16,53%,
- охрана и рациональное использование водных ресурсов – 14,25%,
- загрязнение вод при разработках нефти и газа – 8,68%,
- водопользование, водоснабжение, рекреационное использование водоемов – 7,00%,
- очистка сточных вод – 6,47%,
- влияние на водный баланс, речной сток – 5,13%,
- влияние на русловой режим – 3,70%.

Анализ ДП по региональному признаку показал, что большая часть публикаций относится к исследованиям водных ресурсов Тюменской и Томской областей (19% и 16% ДП соответственно), что обусловлено их интенсивным загрязнением в связи с нефтегазодобычей в данных регионах. От 10% до 14% работ посвящены исследованию водных ресурсов Новосибирской и Кемеровской областей, Алтайского региона (Алтайский край + Республика Алтай). В меньшей степени освещены вопросы загрязнения и охраны вод Омской области (4% ДП).

Информацию из БД «Экология и охрана окружающей среды Западной Сибири» можно найти через Internet на сайте ГПНТБ СО РАН www.spsl.nsc.ru (опции «Электронная библиотека» или «Электронный каталог и БД»), а также получить в традиционной или машиночитаемой форме по e-mail: onb@spsl.nsc.ru. Поиск информации в БД возможен по ключевым словам из заглавия, аннотации или перевода, авторам, редакторам, году и месту издания, географической или предметной рубрике, языку и виду публикации.

Литература

1. *Безматерных, Д.М.* Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири : аналит. обзор / Д. М. Безматерных ; отв. ред. Л. В. Яныгина ; Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, Ин-т вод. и экол. проблем СО РАН. - Новосибирск, 2007. - 86 с. – (Серия: Экология ; вып. 85). - Библиогр.: с. 61-80.
2. Международная декада «Вода для жизни» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.un.org/russian/waterforlifedecade/>.
3. Состояние и развитие основных направлений научных исследований: библиометрический анализ : сб. науч. тр. / Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук ; ред. *Е.Б. Соболева*. – Новосибирск, 2003. – 182 с.
4. *Ткачев, Б.П.* Малые реки: современное состояние и экологические проблемы : аналит. обзор / *Б. П. Ткачев, В. И. Булатов* ; ред. *В. М. Савкин* ; Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. - Новосибирск, 2002. - 113 с. – (Сер. Экология ; вып. 64). - Библиогр.: с. 94-112.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Резников В.Ф.

ИВЭП СО РАН, Барнаул, rvf@iwep.asu.ru

THE BASIC APPROACHES TO PROGRAM OF MAINTENANCE OF SUSTAINABLE WATER USE

Reznikov V.F.

IIWEP, Barnaul, rvf@iwep.asu.ru

В работе рассматриваются основные подходы к разработке программы по обеспечению устойчивого водопользования на основе документов стратегического планирования

In the article consider the basic approaches to program of maintenance of sustainable water use on the basis of documents of strategic planning.

В XXI веке пресная вода стала важнейшим стратегическим ресурсом. Водные ресурсы используются и охраняются в стране как основа жизни и деятельности населения, обеспечивая социально-экономические условия для устойчивого развития всего народно-хозяйственного комплекса регионов, существования животного и растительного мира. Наличие ресурсов природных вод, способность регионов, расположенных на территории бассейнов, обеспечить устойчивое водопользование и поддерживать экологически безопасное состояние водных объектов будет определять потенциал и перспективы социально-экономического развития.

Для решения имеющихся проблем в водопользовании регионов необходима разработка научно обоснованной, регионально адаптированной концепции устойчивого, экологически безопасного и экономически эффективного водопользования, основанной на экологических, социокультурных и экономических императивах и учитывающей не только существующие или прогнозируемые виды водопользования в бассейне, но и потенциал природных систем.

Цель разработки Программы - определение путей и способов обеспечения в долгосрочной перспективе (до 2020 г.) устойчивого водопользования.

В соответствии с этой целью в Программе должны быть сформулированы:

- основные направления с учетом вызовов предстоящего периода, а также параметров пространственного развития экономики регионов бассейна;
- основные цели, целевые индикаторы, приоритеты и основные задачи долгосрочной политики в области обеспечения устойчивого водопользования;
- предложены основные направления достижения поставленных целей;
- формы стратегического партнерства государства, бизнеса и общества.

Программа обеспечения устойчивого водопользования базируется на Конституции Российской Федерации, федеральных законах и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. (далее Концепция), Водной стратегии РФ на период до 2020 года и плана мероприятий по ее реализации (далее Водная стратегия), международных договорах Российской Федерации в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, других документов стратегического планирования федерального и регионального уровня.

Основополагающие принципы обеспечения устойчивого водопользования заложены в ст. 3

Водного кодекса Российской Федерации и положений Водной стратегии РФ: значимость водных объектов в качестве основы жизни и деятельности человека; приоритет охраны водных объектов перед их использованием, сокращение антропогенного воздействия не только на водные объекты, но и на их водосборные площади; целевое использование водных объектов; участие граждан, общественных объединений в решении вопросов, касающихся подготовки решений, реализация которых может оказать воздействие на водные объекты при их использовании и охране; регулирование водных отношений в границах бассейновых округов; гласность осуществления водопользования; комплексное (интегрированное) использование водных объектов при соблюдении баланса между экологическими и экономическими приоритетами при осуществлении водопользования; платность использования водных объектов; экономическое стимулирование охраны водных объектов; совершенствование существующих и создание новых организационных форм управления; расширение свободы предпринимательства, обеспечение эффективности государственного управления и социальной справедливости; повышение эффективности и рациональности использования водных ресурсов, в том числе за счет использования механизмов частно-государственного партнерства и др.

Государство выступает в качестве гаранта проводимой государственной политики в области устойчивого водопользования в долгосрочном плане, осуществляет нормативное, правовое, организационное, экономическое обеспечение.

В связи с переходом страны к инновационному социально-ориентированному типу экономического развития, формированию сбалансированной экологически ориентированной модели развития экономики, повышению качества жизни населения и необходимостью обеспечения продовольственной, промышленной и энергетической безопасности, а также с учетом происходящих климатических изменений, решение широкого круга задач по обеспечению устойчивости водопользования является сверхактуальным.

Сложность и многоаспектность проблем водопользования обуславливают необходимость интегрированного подхода и применения программных методов их решения.

Приоритетные направления по достижению поставленной стратегической цели программы определены в Концепции 2020, среди которых: *«гарантированное обеспечение потребностей населения и экономики в водных ресурсах при осуществлении мер по рационализации водопользования с учетом прогнозируемого изменения климата и водности рек; снижение антропогенной нагрузки и загрязнения водных объектов, улучшение состояния и восстановление водных объектов, в первую очередь источников питьевого водоснабжения, и их экосистем; создание в регионах с неблагоприятным состоянием поверхностных источников питьевого водоснабжения и риском аварийных техногенных загрязнений альтернативных систем обеспечения населения питьевой водой из подземных источников; совершенствование технологии подготовки питьевой воды и очистки сточных вод, реконструкция, модернизация и новое строительство водопроводных и канализационных сооружений, в том числе использование наиболее безопасных и эффективных реагентов для очистки воды, внедрение новых технологий водоочистки, модернизация промышленных предприятий и внедрение в технологические схемы производственных объектов оборотного водоснабжения; развитие системы мониторинга водных объектов и водохозяйственных систем, совершенствование систем прогнозирования и информационного обеспечения, в том числе направленных на защиту населения и объектов экономики от наводнений, сведение к минимуму ущербов от негативного воздействия вод, включая поддержание в безопасном состоянии водоподпорных гидротехнических сооружений; вовлечение в хозяйственный оборот неосвоенных водных ресурсов для решения проблем дефицита пресной воды; защита от паводков и создание резервуаров пресной воды посредством развития водноэнергетической инфраструктуры; внедрение эффективного экономического механизма рационального водопользования и охраны водных*

объектов, ориентированного на самофинансирование водохозяйственного комплекса».

Для реализации этих приоритетных направлений, получивших развитие в Водной стратегии, а также с учетом документов стратегического планирования регионов бассейна, в соответствии с поставленной целью Программа ориентирована на решение следующих задач:

- создание условий для гарантированного устойчивого обеспечения населения и отраслей экономики водными ресурсами надлежащего качества и в достаточном количестве;
- охрана и восстановление водных объектов;
- обеспечение защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод, обеспечение безопасности водохозяйственных сооружений;
- внедрение эффективного экономического механизма рационального водопользования.

Решение этого комплекса задач позволит обеспечить экономически оптимальный и экологически безопасный уровень водопользования, отвечающий основным принципам устойчивого развития.

Основные направления деятельности по решению задач Программы.

Обеспечение населения и отраслей экономики водными ресурсами. Приоритетными направлениями при решении этой задачи будут:

- восстановление, охрана и рациональное использование источников питьевого водоснабжения;
- проведение поисковых работ, постановка на госучет и вовлечение в хозяйственный оборот запасов пресных подземных вод для создания альтернативных источников водоснабжения в населенных пунктах;
- осуществление строительства, реконструкции групповых водопроводов и других мероприятий, направленных на повышение обеспеченности водными ресурсами питьевого качества;
- формирование на бассейновом и региональном уровне системы государственных обязательств, в том числе с учетом международных требований (безопасность питьевой воды, достаточность воды, бесперебойность водоснабжения);
- развитие нормативно-правовой базы и хозяйственного механизма водопользования, стимулирующего экономию воды и направленного на повышение ответственности водопользователей (производителей (собственников) питьевой воды), осуществляющих добычу, подготовку, транспортировку питьевой воды надлежащего качества и обеспечивающих надежную эксплуатацию систем питьевого водоснабжения;
- реконструкция, модернизация и новое строительство водопроводных и канализационных сооружений, в том числе использование наиболее безопасных и эффективных реагентов для очистки воды, внедрение новых технологий водоочистки

Решение задачи гарантированного и устойчивого обеспечения населения в достаточном количестве водой надлежащего качества для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд будет осуществляться в рамках государственной программы «Чистая вода», других целевых программ различного уровня.

Обеспечение потребностей отраслей экономики будет осуществляться на основе учета водноресурсных ограничений и допустимой экологической нагрузки на водные объекты, а также комплексного (интегрированного) подхода к управлению их использованием и охраны на основе схем комплексного использования и охраны водных объектов

В целом, повышение эффективности и надежности функционирования систем водообеспечения будет происходить за счет реализации водоохранных, технико-технологических, санитарных мероприятий, перевода на перспективные источники водоснабжения, совершенствования технологий обработки воды, развития систем забора и транспортировки воды, оптимизации водопотребления.

Охрана и восстановление водных объектов. Приоритетными мероприятиями при решении этой задачи должны стать:

- а) в области снижения антропогенной нагрузки
 - разработка ПДВ на водные объекты с учетом региональных особенностей, индивидуальных

характеристик и целей использования водных объектов;

- внедрения систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения;
- проведение функционального зонирования территории водосбора для оценки степени негативного влияния диффузного стока с хозяйственно освоенных территорий;
- осуществление обустройства зон и округов санитарной охраны водных объектов и обеспечение соблюдения их режима;
- реализация комплекса организационно-технических мероприятий между регионами бассейна по предупреждению, предотвращению, ограничению и сокращению трансграничного воздействия;
- внедрение действенных механизмов экономического стимулирования по сокращению антропогенной нагрузки на водные объекты.

б) в области охраны подземных вод

- проведение комплекса мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности водозаборов подземных вод и ликвидации бесхозных скважин;
- предотвращение загрязнения почвогрунтов сбросами и выбросами загрязняющих веществ от отраслей экономики и населения, радиационного загрязнения.

в) в области реабилитации водных объектов и ликвидации накопленного экологического вреда

- разработка и реализация программ восстановления водных объектов (особенно малых рек) на территориях с неблагоприятной водноэкологической обстановкой;
- разработка и реализация программ реабилитации водных объектов, утративших способность к самоочищению для ликвидации накопленного экологического вреда.

Обеспечение защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод, обеспечение безопасности водохозяйственных сооружений. Приоритетные мероприятия при решении этой задачи должны быть направлены на:

- разработку регламента хозяйственного использования территорий, подверженных подтоплению и другим опасным гидрогеологическим процессам и явлениям;
- разработку программ комплексного управления рисками территорий от вредного воздействия вод;
- совершенствование технологий мониторинга, в т.ч. прогнозирования и предупреждения опасных гидрологических явлений;
- обеспечение поддержкой проектов строительства и реконструкции объектов инженерной защиты;
- проведение комплекса мероприятий по обеспечению надежности гидротехнических сооружений, в первую очередь бесхозных и потенциально опасных, находящихся в аварийном состоянии.

Внедрение эффективного механизма рационального водопользования. Основные мероприятия здесь направлены на:

- разработку инструментов и механизмов, направленных на экономическое стимулирование сокращения удельного водопотребления населением и в отраслях экономики, непроизводительных потерь воды и внедрения водосберегающих технологий, в. ч. внедрение систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения;
- осуществление научно-исследовательских работ, направленных на достижение целей гарантированного обеспечения населения и отраслей экономики водными ресурсами;
- вовлечение в процесс управления использованием и охраны водных объектов водопользователей, широкого круга общественных организаций и населения;
- создание новой модели поведения всех водопользователей, вовлечение их в процесс повышения эффективности использования воды и ресурсосбережение.

Литература

1. *Конституции Российской Федерации* (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 г. № 6-ФКЗ и № 7-ФКЗ)
2. *Водный кодекс Российской Федерации* (от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ, ред. от 27.12.2009 г., с изм. и доп., вступившими в силу с 01.04.2010 г.)
3. *Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года* (утв. распоряжением Правительства РФ от 17.11.2008 г. № 1662-р), [Электронный ресурс] <http://government.consultant.ru/>
4. *Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года и план мероприятий по ее реализации* (утв. распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 г. № 1235-р): [Электронный ресурс] <http://www.government.ru/content/governmentactivity.htm>

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ В СИБИРИ КАК ОДНО ИЗ РЕШЕНИЙ ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК

Савкин В.М., г. Новосибирск, ИВЭП СО РАН, savkin@ad-sbras.nsc.ru

CONSTRUCTION OF NEW RESERVOIRS IN SIBERIA AS ONE OF THE SOLUTIONS OF THE RIVER RUNOFF REGULATION PROBLEM

Savkin V.M., Novosibirsk, IWEP SB RAS, savkin@ad-sbras.nsc.ru

Рассматриваются перспективы строительства новых ГЭС в Сибири в соответствии с гидроэнергетической стратегией России. Приводятся показатели первоочередных водохранилищ на реках Сибири: Эвенкийского на р. Нижняя Тунгуска, Мокского на р. Витим, строящегося Богучанского на р. Ангара, а также предполагаемого водохранилища на р. Томь.

The perspective of construction of new reservoirs in Siberia according to the hydropower strategy of Russia is considered. The characteristics of the first priority reservoirs on Siberian rivers: the Evenkiyskoye on the Nizhnyaya Tunguska river, the Mokskoye on the Vitim river, the Boguchanskoye (under construction) on the Angara river and of the prospective hydrosystem on the Tom river are presented.

Обусловленные внутригодовой неравномерностью речного стока, проблемы удовлетворения пресной водой потребностей населения и хозяйства крупных регионов могут быть решены лишь глубоким регулированием речного стока и созданием крупных водохранилищ, что является фундаментальной проблемой современности. Однако строительство крупных водохранилищ тесно связано с изменением природных условий как в самой речной системе, так и на прилегающих территориях, а в настоящее время все большее значение приобретает социально-экономический фактор.

Всего на территории Сибири эксплуатируется одиннадцать ГЭС суммарной установленной мощностью 23,8 ГВт и общим объемом водохранилищ около 450 км³. В первом десятилетии XXI века продолжается сооружение Богучанской и Нижнекурейской ГЭС. Остается наиболее вероятным объектом гидростроительства Тельмамская ГЭС (р. Мамакан) [2]. Первоочередными на ближайшую перспективу, наверное, следует полагать создание водохранилища Эвенкийской ГЭС на р. Нижняя Тунгуска (бассейн Енисея), ввод на полную мощность Богучанской ГЭС, водохранилища Мокской ГЭС на р. Витим (бассейн Лены), решение вопросов о создании Катунского на р. Катунь и Крапивинского водохранилища на р. Томь (бассейн Оби).

По проекту водохранилище Эвенкийской ГЭС будет иметь полный объем 409,4 км³, полезный 101 км³. Рекомендуемая отметка НПУ – 200 м БС, УМО – 188 м БС, напор 184 м. Площадь водного зеркала при НПУ – 9400 км², площадь затопляемых земель – 8680 км², протяженность – 1200 км. Зона водохранилища характеризуется малой заселенностью, отсутствием дорог, промышленного производства, слабым развитием сельского хозяйства [4]. Комплексные прогнозы эколого-экономических и социальных последствий в результате создания Эвенкийского водохранилища выполнены еще в конце 80-х годов прошлого столетия. Надо отметить, что проблемы Эвенкийского гидроузла вызваны как реальными фактами, так и необоснованными доводами и предположениями, исходящими в основном от не специалистов. Так, совершенно необоснованно был сделан вывод о превращении водохранилища в «мертвое» в связи с подтоком подземных рассолов. В

действительности подток высокоминерализованных подземных вод в зоне влияния Эвенкийского водохранилища, по данным известного исследователя водохранилищ Ю.Б. Тржицинского, сократится в 3 раза по сравнению с естественными условиями р. Нижняя Тунгуска, а в перспективе в результате оттаивания мерзлоты возрастет за счет увеличения площади разгрузки, тем не менее на 30% не достигнет современных значений. Кроме этого, при отрицательном балансе осадков в зимний период, продолжающегося около 9 месяцев, и промерзания пород на глубину 200 м и более массового оттаивания мерзлоты не предвидится. Прогнозируется ухудшение состояния ихтиофауны и животных в зоне влияния водохранилища. Ценные сорта рыбы (сиговые) могут быть вытеснены частиковыми, а для животных, обитающих на пойменных землях, исчезнут кормовые угодья, так как зона гольцов на междуречьях не продуктивна. Выдвигается предположение, что в результате затопления водохранилищем пойменных оленеводческих и охотничьих промысловых угодий будет нанесен ущерб традиционной деятельности коренного населения – эвенкам. Однако в действительности в долине Нижней Тунгуски домашних оленей не так много, а пастбища, сохранившиеся вне зоны затопления, в десятки раз превышают потребности домашнего оленеводства. Следует также учесть, что численность переселяемого населения не превышает 10 тысяч человек, при этом коренных эвенков не более 10%, а площадь затопленных водохранилищем земель составит не более 0,1% от территории Эвенкии.

Наиболее серьезные проблемы Эвенкийского водохранилища прогнозируются для нижнего бьефа, связаны они с изменением термического режима в приустьевой части Нижней Тунгуски и Енисея ниже ее впадения. От плотины ГЭС и до устья в летний период вода в реке будет холоднее, чем в бытовых условиях, что на 30-40% снизит ее способность к самоочищению. Надо отметить, что термический режим р. Н. Тунгуска в нижнем бьефе ГЭС и р. Енисей ниже впадения Н. Тунгуски в проектных материалах проработан пока недостаточно. Вопрос о создании Эвенкийской ГЭС в настоящее время нуждается в принципиальном решении. Бывший губернатор края А.Г. Хлопонин дал «добро» на строительство этой ГЭС, однако в связи с изменением руководства края и протестами коренного населения дальнейшая судьба проекта до сих пор не определена.

Планируемое создание энергопромышленных комплексов в Восточной Сибири, где должен был быть построен алюминиевый завод мощностью 5997 тысяч тонн первичного алюминия в год, вызвало оживление в достройке Богучанской ГЭС. В результате завершения работ на плотине ГЭС образуется водохранилище долинного типа со сложной в плане конфигурацией чаши. При НПУ (208,0 м БС) протяженность водохранилища составит 367 км, площадь водного зеркала – 2326 км², полный объем – 58,2 км³, глубины – до 75 м. Особенности строения и характер внутриводоемных процессов котловины водохранилища обусловят дифференциацию среды рельефообразования на обстановки, где ведущими будут являться как флювиальные процессы, так и процессы волновой природы [3]. Морфометрические характеристики озеровидных расширений Богучанского водохранилища создадут благоприятные условия для развития ветрового волнения. Высота волн на акватории может достигнуть 3-3,5 м, в результате чего покровные отложения, представленные песками, супесями, суглинками и глинами будут интенсивно размываться. Прогнозируемое отступление берега на 10 летнюю стадию превысит на таких участках 100 м. Суммарная протяженность абразионных берегов преимущественно волнового морфолитогенеза составит более 2000 км.

Однако в настоящее время возник ряд обстоятельств, которые могут отложить сроки пуска агрегатов ГЭС и наполнения водохранилища. Одна из основных причин – это повышение отметки НПУ, что обусловило увеличение площади зоны затопления, в результате чего подготовка ложа водохранилища не завершена. Не окончены и археологические работы в чаше водохранилища. Не завершено формирование комплекса перспективных энергопотребителей в связи с переносом строительства алюминиевого завода в г. Тайшет.

Предусматривается госбюджетное финансирование проектно-изыскательских работ по созданию Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса, включающего строительство нескольких ГЭС с водохранилищами. Осуществление этих планов предусматривает строительство и эксплуатацию горно-обогатительных комбинатов на северо-востоке Бурятии и прилегающих районах Иркутской и Читинской областей, что обусловило разработку проекта каскада ГЭС на р. Витим. Первоочередными в этом проекте является Мокская ГЭС и Ивановский контррегулятор, предназначенный для выравнивания зимних суточных колебаний расходов воды до постоянного среднесуточной величины $500 \text{ м}^3/\text{с}$. Проектируемое водохранилище Мокской ГЭС располагается в пределах 760-940 км от устья р. Витим, одного из крупнейших правобережных притоков верхнего течения р. Лена. Площадь водосбора р. Витим в створе ГЭС – 147 тыс. км². Чаша водохранилища правильной корытообразной формы, сложена крупными валунами. Коренные породы представлены усть-тулунской свитой нижнего протерозоя: мигматитами, гранито-гнейсами, гнейсами и кристаллическими сланцами. Это район сплошного распространения многолетнемерзлых пород мощностью до 500 м. Для р. Витим на участке водохранилища характерны дождевые паводки, часто превышающие уровни весеннего половодья. Дождевые паводки имеют продолжительность от 8 до 20 суток на основной реке и от 3 до 10 суток на притоках, повторяясь не менее 3 раз за сезон. Зимняя межень продолжается 6-7 месяцев и характеризуется экстремальной маловодностью.

Полный объем водохранилища Мокской ГЭС составит $20,2 \text{ км}^3$, полезный – $13,34 \text{ км}^3$. Нормальный подпорный уровень (НПУ) – 600 м БС, уровень мертвого объема (УМО) – 570 м БС. Форсированный подпорный уровень (ФПУ): при пропуске основного расчетного паводка – 602,2 м БС, при попуске поверочного расчетного паводка – 604,2 м БС. Площадь водного зеркала при НПУ – 570 км^2 , при УМО – 329 км^2 . Длина водохранилища – 180 км, максимальная ширина – 42 км, средняя – 3,2 км. Глубина у плотины (максимальная) – 98 м, средняя – 35 м, периметр береговой линии водохранилища – 880 км. Мокский гидроузел будет служить не только источником энергии, но и гидротехническим сооружением для ликвидации экстремальных гидрологических ситуаций, вызванных наводнениями.

Предусматривается строительство Тельмамской ГЭС на р. Мамакан, притоке р. Витим. Гидроузел будет являться второй ступенью каскада Мамаканской ГЭС, построенной в середине 70-х годов прошлого столетия. Берега водохранилища в основном скальные с различной крутизной. Ложе заполнено многометровой толщей аллювиальных грунтов разнообразных свойств и мощности. Прогноз изменения природных условий под влиянием Мокского и Тельмамского водохранилищ может быть дан при рассмотрении в качестве аналогов Ангара-Енисейских водохранилищ.

Проект Крапивинского водохранилища на р. Томь (правом крупном притоке р. Обь) был разработан в середине 70-х годов прошлого столетия. Основной целью создания водохранилища являлось коренное улучшение водно-экологической обстановки в бассейне Томи путем регулирования ее стока. Это позволило бы компенсировать неравномерность распределения стока во внутригодовом разрезе и существенно увеличить расходы воды в русле реки в период зимней межени (до $600 \text{ м}^3/\text{с}$), величина которых в феврале-марте у г. Кемерово и г. Томск снижаются до $30\text{-}50 \text{ м}^3/\text{с}$. Предусматривались следующие параметры водохранилища: НПУ – 177,5 м БС, УМО – 154,7 м БС, средняя величина годовой сработки уровня – 12,6 м, максимальная – 22,8 м. Полный объем водохранилища – $11,7 \text{ км}^3$, полезный – $9,7 \text{ км}^3$, площадь водного зеркала при НПУ – 670 км^2 , наибольшая глубина – 54,2 м, максимальная ширина – 13 км, протяженность – 133 км. Созданию водохранилища должно было предшествовать строительство сооружений для глубокой очистки сбрасываемых в р. Томь сточных вод, а из водохранилища за счет попусков планировалось разбавление речной воды в нижнем бьефе. Это обеспечивало бы удовлетворительное состояние р. Томь по всей протяженности от створа гидроузла до впадения в р. Обь. При этом приоритет в использовании водных ресурсов водохранилища отдавался экологическим целям [1].

Однако, в период строительства гидроузла степень очистки сточных вод, сбрасываемых в р. Томь так и не достигла ранее предусмотренных нормативов. В таких условиях заполнение водохранилища вызвало обеспокоенность общественности в отношении экологического состояния, как самого водохранилища, так и нижележащего участка реки. Немаловажную роль в прекращении строительства уже сооруженного на 60% гидроузла сыграли и социально-геополитические аспекты. Предпочтение было отдано Федеральной целевой программе (ФЦП) «Коренное улучшение водохозяйственной и экологической обстановки в бассейне реки Томь», характеризовавшейся значительными объемами капитальных затрат. Однако реализация и этой программы практически не была начата в связи с новыми экономическими условиями в стране. В результате водно-экологическая ситуация в бассейне р. Томь остается критической.

Литература

1. *Новожилов А.П., Каякин В.В.* Эколого-экономическая эффективность регулирования речного стока р. Томи. // Гидротехническое строительство, №2, 2008. с. 44-47.
2. *Савельев В.А.* Современные проблемы и будущее гидроэнергетики Сибири. Наука, Сибирская издательская фирма РАН, Новосибирск, 2000. с. 30-46
3. *Хабидов А.Ш., Леонтьев И.О., Марусин К.В., Шлычков В.А., Савкин В.М., Кусковский В.С.* Управление состоянием берегов водохранилищ. Издательство СО РАН. Новосибирск, 2009, 235 с.
4. *Юркевич Б.Н.* Эвенкийская ГЭС на р. Нижняя Тунгуска: перспективы строительства. // Гидротехническое строительство, №2, 2008. с. 11-15.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

*Савкин В.М., Двуреченская С.Я., г.Новосибирск,
ИВЭП СО РАН, savkin@ad-sbras.nsc.ru, dvur@ad-sbras.nsc.ru*

NOVOSIBIRSK RESERVOIR'S MULTIPURPOSE WATER-RESOURCES SYSTEM AND WATER MANAGEMENT STRATEGY

*Savkin V.M., Dvurechenskaya S.Ya., Novosibirsk, IWEF SB RAS,
savkin@ad-sbras.nsc.ru, dvur@ad-sbras.nsc.ru*

Рассмотрены возможности использования Новосибирского водохранилища для организации водоснабжения, в том числе питьевого, для крупного города и на прилегающей территории. Выявлены особенности формирования качества воды и водохозяйственного комплекса, а также возможный дефицит водных ресурсов на перспективу.

The availabilities of Novosibirsk Reservoir for water-supply including drinking water supply for megapolis and adjacent territories were discussed. The peculiarities of water quality formation and lack of water storage were revealed.

Анализ состояния водосборов больших рек Азиатской части РФ (Амур, Енисей, Лена, Обь) показывает, что наибольшее количество загрязненных земель находится в бассейне р.Оби (237000 км²), где они поделены в основном между Казахстаном (20%) и Россией (79%) [5]. Развитие бассейнового подхода к изучению водно-ресурсной и водно-экологической обстановки на водоемах Сибири связано с разработкой теории и практики гидроэкологии, что позволяет получить ответ на проявление глобальных, межрегиональных и региональных водноресурсных проблем, обусловленных дефицитом и резким ухудшением качества пресных поверхностных вод. В последние годы активизировались и фундаментальные научные исследования: речные бассейны выступают как главные звенья биосферы, а бассейново-речная суша – как главный источник возобновляемых экологических ресурсов [1].

В основу концепции устойчивого водопользования в Обь-Иртышском бассейне положено представление о водопользовании как совокупности всех форм и видов использования водных ресурсов, прямо и косвенно влияющих на формирование водного фонда бассейна. Устойчивое водопользование рассматривается как важнейший вид природопользования в бассейне и составляющая регионального развития. Отсюда – концепция устойчивого водопользования строится в рамках региональной стратегии и учитывает все виды пользования водными ресурсами бассейна [2].

В настоящее время водные запасы Новосибирского водохранилища используются для водоснабжения (в основном питьевого), энергетики, орошения, рыбозаводства, рекреационных целей. Проблема питьевого водоснабжения в современных условиях приобрела особую актуальность в связи с почти повсеместным загрязнением поверхностных водных объектов Сибири, используемых в качестве коммунально-питьевых источников воды. Водохранилище обеспечивает круглогодичное водоснабжение городов, крупных населенных пунктов и промышленных предприятий Новосибирской области и Алтайского края. Анализируя объемы целевого использования воды водохранилища, следует отметить, что в Алтайском крае большее количество воды исполь-

зается для орошения сельхозугодий, меньше расходуется на питьевое водоснабжение населения и нужд промышленности. В Новосибирской области по количеству потребляемой воды лидирующими являются питьевое водоснабжение населения и промышленность. Особое значение водохранилище приобрело в связи с необходимостью устойчивого обеспечения коммунального хозяйства города Новосибирска, водозаборы которого расположены ниже плотины ГЭС. Особенности изменения гидрологического режима водохранилища в многолетнем аспекте влияют на формирование водных экосистем, процессы эвтрофирования водоема, его биопродуктивность, гидрохимию и качество воды в отдельные годы и сезоны. Сравнительный анализ гидрологического режима Новосибирского водохранилища за многолетний, годовой и сезонный периоды показывает, что наблюдается увеличение повторяемости маловодных лет и проявление маловодных циклов, состоящих из 2 3 и 4 лет, а также уменьшение водности весеннего сезона. В многолетнем разрезе происходит постоянное снижение среднегодовой величины водности. Наблюдается уменьшение коэффициентов водообмена в водохранилище за весенние сезоны и в целом за год. Сравнительный анализ гидрологического режима Новосибирского водохранилища и Верхней Оби за 1959-2009 гг. в многолетнем, годовых и сезонных (месячных) разрезах показывает, что в течение 1959-2009 гг. маловодными были 22 года, средними по водности – 9 лет, многоводными – 20 лет. Так, экстремально низкая водность 2008 г. обусловлена относительно низкой водностью зимней межени, низкими (около 50% от нормы) снегозапасами в бассейне Катунь, отсутствием интенсивных осадков в летний период в бассейне Верхней Оби. Чередование резких и кратковременных похолоданий и очень высоких температур обычно не формируют единую волну половодья, что связано с таянием снега и ледников в горной части Алтая. В то же время осадки, выпадавшие в середине сентября в горной части Алтайского края и в Республике Алтай, сглаживают экстремально низкую годовую водность. К сожалению, прогнозы притока за весеннее половодье в Новосибирское водохранилище не позволяют принимать качественные управленческие решения, соответствующие экстремальным условиям. Поскольку водные ресурсы водохранилища в процессе хозяйственной деятельности используются очень интенсивно, влияние антропогенного фактора на формирование качества воды в них весьма существенно. В свою очередь, качество воды как результирующий показатель всего комплекса условий и взаимодействий, происходящих в водных экосистемах и на площадях водосбора, определяет не только биопродуктивность водных объектов, но и возможность использования водных и биологических ресурсов. Таким образом, формирование качества воды в водохранилищах — процесс сложный, многогранный, зависящий от комплекса разнообразных факторов, связанных как с функционированием водных экосистем, так и с условиями окружающего ландшафта и ложа водоема. Длительные исследования на водохранилищах Сибири показывают, что влияние происходящих в них физико-химических и биологических процессов на качественный состав поверхностных вод изменяется во времени, том числе в разные сезоны года.

Проблема качества воды в Новосибирском водохранилище стала особенно актуальна в последние годы, когда возросла его роль как источника питьевой воды. Это повлекло более серьезные требования не только к рациональному количественному распределению воды, но и к ее качественному составу, как правило, связанному с интенсивным хозяйственным освоением территорий, прилегающих к водохранилищу.

С целью оценки роли Новосибирского водохранилища в формировании качества воды его нижнего бьефа проведено сопоставление концентраций химических ингредиентов во входном створе и нижнем бьефе за период 1968-2003 гг. (по данным Западно-Сибирского Межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды). Показано, что в целом водохранилище оказывает позитивное влияние на качество воды по гидрохимическим показателям: в основном, не происходит загрязнения воды при движении от вход-

ного створа к плотине. Некоторое увеличение концентраций нефтепродуктов в нижнем бьефе в летний период связано с использованием водохранилища для судоходства и происходит за счет промстоков и маломерного флота, широко используемого на Новосибирском водохранилище. Это определяет основное влияние антропогенной составляющей на содержание нефтепродуктов в водоеме.

Химический состав воды в Новосибирском водохранилище формируется, в основном, за счет стока р. Оби. С целью выявления влияния собственного водосбора проведена оценка вклада основных боковых притоков в химический состав воды водохранилища (по приоритетным химическим ингредиентам: нефтепродуктам, фенолам, аммонийным соединениям, нитритам, величинам БПК₅). По данным Западно-Сибирского Межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, регулярные гидрологические наблюдения на притоках водохранилища проводятся на основных (по объему водного стока) боковых притоках: реках Бердь и Каракан. Среднегодовые расходы в многолетнем аспекте р.Берди и р.Каракана, соответственно, 36,5м³/сек и 2,38м³/сек, а р. Оби в створе г.Камня-на-Оби – 1720,4м³/сек. Оценки показывают, что вклад р.Берди в гидрохимический сток по нефтепродуктам составляет 2,5%, по величинам БПК₅ – 1,8%, по фенолам – 1,1%, по нитритам – 1,9%, по аммонийным соединениям – 1,7%. Вклад р. Каракана примерно на порядок меньше: по нефтепродуктам он составляет 0,2%, по фенолам – 0,08%, по БПК₅ – 0,13%, по аммонийным соединениям – 0,1%, по нитритам – 0,1%. Таким образом, даже наиболее крупные боковые притоки не вносят какой-либо ощутимый вклад в качество воды водохранилища. Хотя изменчивость показателей качества воды во времени и затрудняет выявление закономерностей пространственного распределения химических показателей по акватории, выводы о тенденциях сделать можно. Новосибирское водохранилище не принадлежит к числу крупных водоемов, является неглубоким (средняя глубина 9 м) и достаточно проточным. Этим можно объяснить наличие пространственной изменчивости концентраций отдельных химических показателей качества воды чаще всего в гидрологические сезоны с низким коэффициентом водообмена (k около 1) [4]. Изменение химического состава воды водохранилища связано, скорее всего, не с водностью года и годовыми коэффициентами водообмена, а с сезонными факторами, в частности, сезонными коэффициентами водообмена. Известно, что в пределах водохранилища пространственная неоднородность ряда химических показателей наблюдается при наличии источников техногенного воздействия. Возможно, именно этим объясняется наблюдаемое спорадическое изменение концентраций химических веществ в водах водохранилища, когда к гидрологическим, метеорологическим факторам, процессам внутреннего водообмена добавляется техногенная составляющая.

Высокий уровень антропогенного загрязнения является одной из основных причин, вызывающих деградацию рек, водохранилищ и озерных систем. Накопление в донных отложениях, водной растительности и водных организмах загрязняющих, в том числе токсичных веществ, обуславливает ухудшение качества вод поверхностных водных объектов, используемых в качестве источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. При этом помимо стационарных источников загрязнения, высокую степень негативного воздействия на водные объекты оказывают рассредоточенный (диффузный) сток с сельскохозяйственных и селитебных территорий, площадей занятых отвалами и отходами промышленного производства, выпадения загрязняющих веществ в водные объекты и на территории водосборов из атмосферы, в том числе с осадками, а также трансграничные загрязнения [3]. Все эти аспекты фундаментальной проблемы водных ресурсов, в той или иной степени, свойственны водным ресурсам Новосибирского водохранилища. В настоящее время в целях реализации Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации и в соответствии с Водной стратегией РФ до 2020 года, разработана Федеральная целевая программа «Обеспечение населения России питьевой водой». Такие

программы приняты и в большинстве субъектов РФ, однако, к сожалению, они финансируются в крайне ограниченных объемах.

Литература

1. Булатов В.И., Игенбаева Н.О. Обь-Иртышский бассейн как геосистема: вопросы теории и практики эколого-географического изучения. ЮГУ, Ханты-Мансийск, 2010, 85с.
2. Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т., Ловцкая О.В., Савкин В.М.. Региональные проблемы устойчивого водопользования на юге Западной Сибири. Сб. научных трудов Всероссийской конференции «Стратегические проблемы водопользования России». Азов. Из-во НОК, М., 2008, с.323-333.
3. Данилов-Данильян В.И., Болгов М.В. О водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года. Сборник научных трудов Всероссийской конференции. «Водные проблемы речных бассейнов и пути их решения. ООО»Агентство рекламных технологий», Барнаул, 2009, с 59-81.
4. Дзуреченская С.Я. Исследование изменчивости гидрохимического режима по акватории Новосибирского водохранилища // География и природные ресурсы, 2007. №4, С.74-79.
5. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Загрязненные земли в регионах России. Гидрографический аспект. Недра, СПб, 2004.106 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Сейтказиев А.С., г. Тараз, ТарГУ имени М.Х.Дулати, adeubai@mail.ru

METHODICAL BASES USE OF COLLECTOR AND DRAINAGE WATERS IN CONDITIONS OF DEFICIENCY OF WATER RESOURCES

Seitkaziev A.S., Taraz city, M.H. Dulati's name the Taraz State university, adeubai@mail.ru

В статье сформулированы основные принципы распределения объемов возвратных коллекторно-дренажных вод по направлениям развития орошаемого земледелия в местах их формирования, ветландов и озер, а также их возврата в створ реки без ущерба сельскохозяйственного производства и экологии.

In article main principles of distribution of volumes of returnable collector and drainage waters in directions of development of irrigated agriculture in places of their formation, wetlands and lakes, and also their return to the rivers without an agricultural production and ecology damage are formulated.

Характерной особенностью ведения орошаемого земледелия Среднеазиатского региона является появление огромного количества ирригационных возвратных вод, формирующихся в процессе орошения земель.

В настоящее время из общего объема располагаемых водных ресурсов в порядке 110-115 км³ около 90-92% используется в сельском хозяйстве, за счет которого в регионе формируется 39-40 км³, а при средней водности 36-38 км³ возвратных вод. Из общего объема возвратных вод порядка 32-35 км³ приходится на долю коллекторно-дренажного стока.

Из общего объема КДС около 51 % (18-20 км³) возвращается в створ реки, внося в них более 110-115 млн. тонн солей, из которых на долю р.Сырдарьи приходится 46-47 млн. тонн. Большой объем коллекторно-дренажных вод (более 36%, т.е. 16-17 км³) сбрасывается в естественные понижения и испаряется и лишь незначительная доля (13% или 4-5 км³) повторно используется для орошения по всему бассейну. Повторно «прокатное» использование водных ресурсов с возвратом КДВ в ствол реки в прежних «схемах» и проектах обосновывалось необходимостью увеличения оросительной способности речных стоков (располагаемых водных ресурсов). При этом в схемах комплексного использования водных ресурсов бассейна Аральского моря, составленных проектными институтами, прогнозировалась возможность повышения оросительной способности речных стоков до 15-20%.

Однако развитие орошаемого земледелия в Центральной Азии за последние десятилетия показало, что «повторно-прокатное» использование располагаемых водных ресурсов через створ рек «полезно» только до определенного предела возврата КДВ, за чертой которой оно наносит большой ущерб не только питьевому водоснабжению, но и другим отраслям народного хозяйства и, особенно, развитию агропромышленного комплекса. Такое использование располагаемых водных ресурсов привело в регионе к резкому ухудшению качества речных стоков всех рек и, особенно, рек Сырдарьи и Амударьи на всех участках от истоков до устья. В верхних течениях минерализация воды увеличилась на 0,2-0,3 г/л, а в нижних - на 1,0-1,5 г/л, что явилось причиной увеличения солей на орошаемых землях, роста потребности в воде за счет повышенных норм

промывок и поливов и, в конечном итоге, в снижении продуктивности земель. Указанная практика «повторно- перекаточного» способа отвода и использования дренажного стока через речные стволы на больших территориях наносит значительный ущерб сельскохозяйственному производству. Ущерб от этого явления, оцененные через стоимость валовой продукции растениеводства, показывают, что из-за роста минерализации воды на каждые 0,1 г/л по сравнению с исходным значением наносится ущерб продуктивности от 134 до 147 долларов США на 1 га в среднем и нижнем течении бассейна Амударьи. А в верхнем и среднем течениях бассейна Сырдарьи этот ущерб составляет от 70 до 150 долларов США на 1 га.

Отмеченное положение заставляет ставить на повестку дня поиск других подходов решения проблемы управления и размещения коллекторно-дренажных вод, обеспечивающих, с одной стороны, резкое уменьшение водо- и солеобмена между орошаемой территорией и рекой, а с другой – эффективное развитие орошаемого земледелия.

В современных условиях существует ряд подходов решения этой проблемы:

- первый – «повторно-перекаточное» использование водных ресурсов с возвратом КДВ в ствол реки, что собственно и практикуется в течение последних пятидесяти лет;
- второй – определение КДВ с применением различных способов и технологий;
- третий – использование КДВ в местах их формирования на полив сельскохозяйственных культур и промывку засоленных земель, соответственно, уменьшая долю их сброса в реки;
- четвертый – использование КДВ вне реки, отводя на пределы орошаемых территорий на пустынных массивах для выращивания солеустойчивых культур и древесных насаждений и особо для создания лесозащитных полос вдоль осушенного дна Аральского моря и в других зонах возможного опустынивания;
- пятый – размещение, использование КДВ и утилизация в естественных и искусственных водоемах с учетом рыбохозяйственных требований, т.е. для развития ветландов.

Поскольку первый вариант решения, практикуется стихийным образом уже привел к увеличению ее остроты и экономическим ущербам, то можно сказать, что впредь необходимо жестко ограничить объемы сброса КДВ в ствол реки.

Что касается второго варианта, применение опреснительных установок в целях орошаемого земледелия на современном этапе экономически нецелесообразно ввиду существенных недостатков: малой производительности установок, измеряемых в литрах на секунду, что делает их несомасштабными с огромными объемами стока (км^3) и высокой стоимостью опресняемой воды – 20-50 центов/ м^3 .

В будущем, очевидно, можно будет вернуться к данному варианту для решения части проблемы.

Таким образом, на современном этапе можно рассматривать только третий, четвертый и пятый варианты решения проблемы размещения, использования и утилизации КДВ. Проблема утилизации КДВ в перспективе путем выбора 3,4 и 5 варианта решается путем разработки экономикоматематической модели их использования. При этом возможность выбора вариантов для бассейна рек Сырдарьи и Амударьи будет резко различаться, что обусловлено природно-хозяйственными условиями. Если по природным условиям в бассейне Амударьи возможно использование всех 3-х вариантов технологии утилизации, то в бассейне р. Сырдарьи остается в основном 2 варианта – использование КДВ в местах их формирования.

Для решения этих проблем, в первую очередь, необходимо разработать принципы (методики) распределения имеющихся ресурсов КДС (или прогнозируемых ресурсов КДС) для развития орошаемого земледелия, ветландов и «сброса» в ствол реки с учетом требований нормализации их солевого режима.

В зависимости от условий формирования возвратного коллекторно-дренажного стока возмож-

ны две принципиальные схемы расчетных моделей эколого-мелиоративных процессов на орошаемых землях при использовании минерализованных вод на полив и промывку земель, а также распределения части стока в ветланды и сброса в реки.

1 Вариант

Известны объемы и минерализация дренажного стока по зонам планирования (существующее положение).

В этом варианте необходимо прежде всего установить те объемы дренажного стока, которые планируется использовать для орошения и промывки, а затем объемы возможного возврата в реки и отвода в ветланды.

Объем стока планируемого для орошения и промывок земель устанавливается в следующей последовательности:

- оценивается пригодность дренажных вод с позиции применимости их на поливы растений и промывку засоленных земель;

- оцениваются площади, где возможно использование дренажных вод на орошение без ущерба сельскохозяйственному производству. Поэтому при оценке определяется та часть ресурсов коллекторно-дренажных вод, которая планируется для сельскохозяйственного применения.

2 Вариант

Неизвестны объемы и качество коллекторно-дренажного стока, который будет формироваться при развитии орошаемого земледелия для площадей нового освоения.

В этом варианте путем прогнозных расчетов сначала устанавливаются объемы КДС и его минерализация. А затем распределение прогнозных объемов КДВ по направлениям на орошение, развитие ветландов и возврат в створ реки проводится по вышеописанной последовательности.

Дальнейшее планирование использования дренажно-сбросных вод на перспективу заключается в выборе площадей под орошение с наименьшим ущербом на плодородие почв. Установлено, что использование минерализованных коллекторно-дренажных вод на орошение на землях с тяжелым суглинистым механическим составом орошаемые почвы интенсивно теряет начальное плодородие за счет увеличения и накопления солей. Освобождение от накопленных солей также затруднительно в виду их низкой водопроницаемости. Научно-исследовательский институт СА-НИИРИ и проектный институт «Среднеазгипроводхлопок» в регионе провели ряд проработок по установлению основных принципов выделения площадей для использования на них вод повышенной минерализации, в результате которых была предложена типизация почвенного профиля по категориям водопроницаемости с учетом слоистости почв [1-3].

В основу такой типизации был положен механический состав почв и чередование слоев различного механического состава. При этом учтены наличие слабопроницаемых прослоек («шош» и «арзык»).

В качестве рассматриваемого слоя, на основе которого ведется типизация, принята зона активного водосолеобмена мощностью 2 м. Для выделенных типов почвенных профилей установлены осредненные фильтрационные и гидрохимические характеристики для предварительных расчетов объемов мелиоративных мероприятий (режим орошения, промывки, дренаж и др.). На основе этой характеристики, используя почвенные съемки института «Среднеазгипроводхлопок» (карты масштаба 1:100000), было получено распределение площадей по водопроницаемости для бассейна реки Амударьи.

В бассейне р.Амударьи возможная площадь орошения коллекторно-дренажной водой составляет 1081,83 тыс.га, по зоне существующего орошения - 1316,6 тыс.га [4].

По бассейну р.Сырдарьи площадь возможного орошения определена по несколько другой методике (институт Узгипрозем, 1987) и составляет по Узбекистану около 1400 тыс.га [5].

По бассейну р.Сырдарьи наибольшая площадь возможного использования минерализованных вод сосредоточена в Ферганской долине (691,0 тыс.га).

Таким образом, по предварительным оценкам в бассейне Аральского моря площадь перспективная для орошения составляет 1500-2000 тыс.га.

Результаты оценок показывают, что объемы возможного использования КДВ с учетом разбавления составляет в Ферганской долине 50-60%, в Каршинской степи до 40-50%, в низовьях Амударьи 20-30% стока вегетационного периода.

Для второго варианта эти объемы устанавливаются на основе прогнозных расчетов, позволяющих определить объемы и качество КДВ, основанные на решении уравнений водно-солевого баланса или же уравнений физико-химической гидродинамики, разработанные в САНИИРИ и др. институтах.

После установления доли ресурсов КДВ, направляемых для орошаемого земледелия, должны разрабатываться методы решения организационно-технологических приемов ведения хозяйств. В частности, для ведения орошаемого земледелия на базе использования минерализованных вод необходимо установить режим орошения и промывок земель с использованием дренажных вод, технологию поливов, оптимальные параметры дренажных систем, передовые приемы выращивания сельхозкультур, которые требуют разработки своих методических подходов.

Допустимый объем сброса возвратных вод в створ реки определяется исходя из обеспечения водозабора в зоны планирования с допустимой для орошения без ущерба качества воды в реках, т.е. не более 1,0 г/л. Объем возможного сброса КДВ определяется по зависимости:

$$Q_{\text{воз.}} = \frac{Q_{\text{реч.ст.}}(M_{\text{реч.ст.}} - M_{\text{воз.}})}{M_{\text{воз.}} - M_{\text{реч.ст.}}}, \quad (1)$$

где: $Q_{\text{воз.}}$ - объем возвратных вод, м³/с, или млн.м³; $M_{\text{реч.ст.}}$ - минерализация речного стока; $M_{\text{воз.}}$ - то же возвратного стока, г/л; $Q_{\text{реч.ст.}}$ - объем или расход речного стока в расчетном створе, м³/с или млн.м³.

С позиции развития ветландов перспективными являются территории, расположенные в среднем и, особенно, нижнем течении рек Сырдарьи и Амударьи, где находятся многочисленные озера естественного происхождения и созданные искусственно. Поддержание этих озер, и создание из них промысловые хозяйства является актуальной задачей для государств Центральной Азии. Для этого необходимо разработать методику прогнозирования режимов поддержания в этих ветландах объемов и качества воды с учетом требований рыбного хозяйства с использованием минерализованных вод.

С учетом указанных требований, необходимые режимы наполнения воды и поддержание ее качества можно регулировать на основе уравнения водно-солевого баланса, составленного для конкретного водоема (ветланда). В приходной части водного баланса водоема основная роль принадлежит поступлению воды за счет поверхностного притока (в нашем случае коллекторной воды) и атмосферных осадков [2,4,6]. В расходной части такую роль играют отток (сток) из водоема и испарение с ее поверхности. А другие элементы такие как приток и отток (фильтрация из ложа) подземных вод имеют незначительную величину по сравнению с объемом воды накопленным в водоеме, что позволяет их не учитывать или разницу между притоком и оттоком приравнять к нулю. В соответствии со сказанным, уравнение водного баланса для сточных водоемов имеет вид (в объемных единицах):

$$W_{\text{пр}} + W_{\text{ос}} - W_{\text{отток}} - W_{\text{исп}} = \pm \Delta W_{\text{ак}}, \text{ млн.м}^3 / \text{год} \quad (2)$$

а солевой баланс можно записать:

$$W_{np} \cdot S_{np} + W_{oc} \cdot S_{oc} - W_{om} \cdot S_{om}, \text{ млн. м}^3 / \text{год} \quad , \quad (3)$$

где: W_{np} – приток воды по выпадающим коллекторам на период времени; W_{oc} – объем поступления воды за счет атмосферных осадков на площадь зеркала водоема.

Он определяется по наблюдениям островных и береговых дождемерных пунктов, а при их отсутствии можно принять данные близлежащих метеостанций. Объем осадков, поступающих на зеркало водоема, подсчитывается для его средней площади за рассматриваемый период. Следует отметить, что осадки в условиях водосливов расположенных в пустынной зоне Средней Азии не являются существенной статьей водного баланса. Площадь зеркала водоема, на которую, выпадают осадки и приходится испарение, определяется путем построения батиграфических кривых $F_0=f(H)$ в зависимости от глубины водоема и уровня воды. Объем воды водоема определяется также с помощью батиграфических кривых $W_{ак}=f(H)$. В расходной части баланса основную роль играет испарение с поверхности водоема. Расчет испарения с поверхности водоема производится согласно работам [6] по формуле:

$$E = 0,14n(1_0 + 0,72U_2) \quad (4)$$

где: E – сумма испарения за период времени, мм; 1_0 – среднее значение максимальной упругости водяного пара, вычисленное по температуре поверхности воды в водоеме, мбар; U_2 – среднее значение упругости водяного пара (абсолютная влажность воздуха) над водоемом на высоте 2 м, м/с; n – число дней в расчетном интервале времени. Величину испарения можно также определить по формуле Горелкина Н.Е. и Никитина А.М. [2]. Для расчетов можно пользоваться и картами испаряемости равнинных территорий, которые приведены в специальной литературе.

Литература

1. Горелкин Н.Е., Никитин А.М. Испарение с поверхности водоемов // Труды САННИГМИ, Вып. 102 (183), М., Гидрометеиздат. 1985. -С.3-24.
2. Козлов В.И., Абрамович Л.С. Справочник рыбовода. М., Росагропромиздат, 1991.- 238 с.
3. их на орошение. Труды САНИИРИ, Ташкент, 1978.-С.55-63.
4. Полинов С.А. Рекомендации к выбору оптимальных направлений использования и режимов сброса коллекторно-дренажных вод с Бухарского и Каршинского водохозяйственных районов. Отчет и НИР. Ташкент, САНИИРИ, 1989. -129 с.
5. Савельева Р.В., Барон М.А. О движении солей в почвогрунтах при промывном режиме орошения. Труды САНИИРИ, вып.118, Ташкент, 1969.-С.42-48.
6. Усманов А.У., К вопросу методологии оценки качества дренажных вод в целях использования
7. Якубов М.А. Особенности мелиоративно-гидрологических процессов в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи и регулирование качества их вод. Дисс.докт.техн.наук.Ташкент, САНИИРИ, 1997. -49с.

ПРОБЛЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРАНСГРАНИЧНЫХ БАССЕЙНАХ РОССИИ

Сотникова Л.Ф., Москва, Институт водных проблем РАН

WATER USE PROBLEMS IN THE TRANSBOUNDARY POOLS OF RUSSIA

Sotnikova L.F. Moskau, IWAPR RAN

В работе рассмотрено распределение водных ресурсов в бассейне реки Иртыш, которая относится к трансграничным рекам, располагаясь на территории Китая, Казахстана и России.

Climatic fluctuations make it also important to evaluate existing and long-term water resources trends. The paper reviews water resources distribution in the basin of the Irtysh which is a transboundary river located on the territory of China, Kazakhstan and Russia.

Географической особенностью трансграничных рек является несовпадение водораздельных границ бассейнов и административных границ государств. Между сопредельными государствами, на территории которых расположен один и тот же бассейн, возникают проблемы распределения водных ресурсов.

Решение этой проблемы зависит, в основном, от двух причин: прежде всего, это надежность сведений о располагаемых и прогнозных водных ресурсах, с другой стороны - достоверность и полнота информации по водопотреблению в бассейне рассматриваемой реки. В связи с этим принципиально важным является надежная оценка гидрологической информационной базы за многолетний период наблюдений и тенденции в изменении водных ресурсов, а также современное и прогнозируемое изменение в водохозяйственной обстановке на каждом участке бассейна. При возрастающем значении хозяйственного использования рек для промышленных, сельскохозяйственных, бытовых и других нужд может появиться дефицит водных ресурсов. Это, в свою очередь, станет причиной возникновения и обострения противоречий, а порой и конфликтов между государствами. Понятие о справедливом разделении водных ресурсов граничных бассейнов предполагает достижение согласований и компромиссных решений в процессе трансграничного водопользования. Существуют в современное время международные соглашения по указанной проблеме. К таковым относятся «Хельсинские правила» (1966 г), которые содержат некоторые общие положения о справедливой доле полезного использования вод межгосударственного речного бассейна.

В России проблема использования водных ресурсов и управления ими для разных бассейнов стала особенно актуальной после образования независимых государств после распада Союза. Число проблем по согласованию требований по водопотреблению выросло в связи с более детальным делением водосборов рек пограничными створами. В последние годы приняты следующие соглашения:

1. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о рациональном использовании и охране трансграничных вод;
2. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Эстонской Республики о сотрудничестве в области охраны и рационального использования трансграничных вод;

3. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Беларусь о сотрудничестве в области охраны и рационального использования трансграничных водных объектов;

4. Соглашение между Правительством Украины и Правительством Российской Федерации о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов;

5. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Монголии по охране и использованию трансграничных вод.

6. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов;

7. Соглашение между Союзом Советских Социалистических Республик и Финляндской Республикой о пограничных водных системах.

Одной из первоочередных задач стоит задача оценки водных ресурсов по длине реки, т.е. полная гидрологическая информационная база, включающая характеристики годового, сезонного, максимального и минимального стока. Эта гидрологическая информация должна быть представлена в виде многолетних рядов наблюдений в ненарушенных антропогенной деятельностью условиях формирования стока, т.е. в условиях естественного режима реки. Необходимо выявить граничные условия водности в бассейне с оценкой их обеспеченности. В связи с существенными колебаниями стокоформирующих факторов важным является оценка современных и прогнозных тенденций в колебаниях водных ресурсов.

В данной работе рассмотрено распределение водных ресурсов в бассейнах рек Иртыша и Амура, которые относятся к трансграничным рекам, располагаясь на территории Китая, Казахстана и России.

Распределение водных ресурсов реки Иртыш было ранее выполнено в проектных проработках при строительстве основных гидротехнических сооружений на реке в условиях неразделенного между Россией и Китаем бассейна. В проектах рассматривалось только водопотребление в Китае.

Задача данного исследования - оценить современное состояние водно-ресурсной системы р. Иртыша, а именно, дать оценку водности реки за последние 20 лет и тенденции в изменении стока в результате антропогенной деятельности за этот же период.

Река Иртыш берет начало в Китае и под названием Черный Иртыш течет до оз. Зайсан в Казахстане. Среднегодовой сток, формирующийся на территории Китая, составляет около 8 км^3 /год, уменьшаясь в маловодные годы до 5 км^3 и достигая 13 км^3 в многоводные годы. На территории Казахстана водность реки существенно увеличивается и на границе с Россией среднегодовая величина стока составляет 29 км^3 , а колебания годового стока лежат в пределах от 17 до 47 км^3 . Сток Иртыша в створе г. Тобольска (до впадения в него реки Тобол) характеризуется следующими показателями: в многоводные годы он достигает 120 км^3 , в маловодные снижается до 40 км^3 , среднегодовой сток составляет около 70 км^3 . Во время весенне-летнего половодья в естественных условиях по Иртышу проходило более 60% годового стока, тогда как зимой, с ноября по март, около 15%. Многолетняя и внутригодовая неравномерность стока Иртыша затрудняла использование его водных ресурсов и гидроэнергетического потенциала в интересах различных отраслей народного хозяйства. На рассматриваемом участке реки построены и действуют несколько гидроузлов: Бухтарминский (1960 г.), Усть-Каменогорский (1952 г.) и Шулбинский (1987 г.), осуществляющие сезонное или суточное регулирование.

Анализ водности р. Иртыш за последние 20 лет (1987-2007г.г.) показал, что среднегодовые характеристики с учетом наблюдений за эти годы не изменились и соответствуют данным проектных материалов [1]. Кроме того, какой-либо значимой тенденции в изменении стока р. Иртыш, как это имеет место на реках европейской части России, здесь не наблюдается.

Однако, речной бассейн Иртыша всегда считался бассейном с напряженным водохозяйственным балансом. Особенно это относится к участку от створа Бухтарминской ГЭС до г. Омска. Требования сквозного судоходства накладывают определённые требования на режим стока Иртыша. Кроме судоходства в водохозяйственном комплексе бассейна на этом участке предъявляют требования энергетика, рыбное и сельское хозяйство, промышленность, коммунально-бытовое хозяйство, ирригация и др. Созданные на Иртыше водохранилища обеспечивают в современных условиях с требуемой надёжностью судоходные и экологические попуски общим объёмом 14 км^3 в год. При завершении второй очереди Шульбинской ГЭС их величина возрастет до 18 км^3 . Эти водохранилища оказались в Казахстане, и правила управления ими, которые удовлетворяли бы требованиям российских водопользователей, должны стать предметом межгосударственных договорённостей.

По данным проектных организаций [1] в 1980 году суммарное водопотребление в бассейне Иртыша на территории СССР оценивалось величиной $3,7 \text{ км}^3$ в год. На территории РСФСР в этот год изъятие стока из бассейна должно было составить $2,4 \text{ км}^3$. Предполагалось, что в 1990 году суммарное изъятие стока достигнет $7,3 \text{ км}^3$ и в 2000 г. - $9,9 \text{ км}^3$ при изъятии на территории РСФСР $4,4$ и 6 км^3 соответственно.

В проекте Бухтарминского водохранилища предполагаемый водозабор в КНР оценен в $4,5 \text{ км}^3$. При таком росте проектного водопотребления, удовлетворение всех участников водохозяйственного комплекса может оказаться весьма проблематичным. Однако, как следует из статистической отчетности [2], с 1985 по 2007 годы включительно безвозвратное водопотребление в бассейне Иртыша было ниже и колебалось в пределах $3,0$ - $0,24 \text{ км}^3$ в год, снижаясь от года к году. Так, по данным отчетности в 1989 году безвозвратное водопотребление в бассейне Иртыша в створе г. Омска (граница с РСФСР) составило около $3,0 \text{ км}^3$. Общее уменьшение стока с учетом потерь на испарение с поверхности водохранилищ и потерь стока на их наполнение оценивалось в этом году величиной порядка $5,0 \text{ км}^3$. Как очевидно из этих данных [2], уменьшение безвозвратного водопотребления в бассейне ежегодно связано со снижением промышленного и сельскохозяйственного производства в стране и, в частности, в бассейне Иртыша. Однако, такая ситуация может измениться. Так, в Казахстане намечается в ближайшие годы увеличить подачу по каналу Иртыш - Караганда до $0,9 \text{ км}^3$ в год. В тоже же время растет безвозвратное водопотребление в Китае. Современное изъятие стока из Черного Иртыша по Каратайскому каналу оценивается в современных условиях величиной $0,45 \text{ км}^3/\text{год}$. Суммарные потери стока Иртыша до границы с Россией сейчас невелики и не приводят к ухудшению водохозяйственной обстановки в Российской части бассейна. Но в дальнейшем с введением последующих очередей Каратайского канала отъёмы стока на территории КНР могут возрасти, как отмечено выше, до величины $4,5 \text{ км}^3$ в год, что составит 26% естественного стока Иртыша на границе Казахстана и КНР для маловодных лет. Это не может не вызвать беспокойства особенно в России. Сопоставление этих величин, а также роста безвозвратного водопотребления на территории Казахстана до $3,2 \text{ км}^3$ в год с маловодными условиями на р. Иртыш должно учитываться при решении проблемы совместного использования стока р. Иртыш Казахстаном и Российской Федерацией.

Как отмечено выше, подписано соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики (от 29 января 2008 г.) о рациональном использовании и охране трансграничных рек. Реализация Соглашения позволит координировать усилия двух сторон для стабилизации и последовательного улучшения экологического состояния трансграничных водных объектов, предупреждая чрезвычайные ситуации, как это было в 2005 г. по р. Сунгари и р. Амур.

Действует Меморандум от 21 февраля 2006 г. о взаимодействии между Министерством природных ресурсов РФ и Государственной администрацией Китайской Народной Республики по

охране окружающей среды по вопросам сотрудничества в области совместного мониторинга качества воды трансграничных объектов. Но это по бассейнам рек, которые непосредственно расположены в РФ и КНР. По бассейну р. Иртыш существует Соглашение от 24 июня 2005 г. РФ и Республикой Казахстан о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов. Но, на наш взгляд, необходимо уже сейчас заключение международного 3-х стороннего Соглашения об использовании трансграничной р. Иртыш. Такое соглашение обеспечит экологическую безопасность российской части Иртыша и учтет интересы России по бесперебойному использованию водных ресурсов Иртыша.

Литература

1. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР до 2000 г. Союзвод-проект, 1983.
2. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (Ежегодное издание) М., Метеоагенство Росгидромета (1981-2007 гг).

ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОПРИРОДНЫХ ВОД КУЗБАССА

*Счастливец Е.Л., Юкина Н.И., Пушкин С.Г.
Институт угля и углехимии СО РАН, г.Кемерово*

PERSPECTIVE VIEW OF MONITORING OF INDUSTRIAL IMPACT ON NATURAL WATERS IN KUZBASS

*Schastlivsev E.L., Yukina N.I., Pushkin S.G.
Institute of Coal and Coal Chemistry SB RAS, Kemerovo*

В докладе обосновывается: необходимость скоординированного функционирования самостоятельных структур комплексной системы мониторинга техноприродных вод; расширение перечня ингредиентов, с учетом специфики различных типов вод; проведение оценки качества вод по набору специфических показателей.

The next points are justified in the paper: the necessity of a coordinated joint operation of independent agencies that deal with the natural water and industrial wastewaters monitoring; the increment of controlled ingredients number with the taking into account several water types; the carrying out water quality estimates by using the set of specific rates.

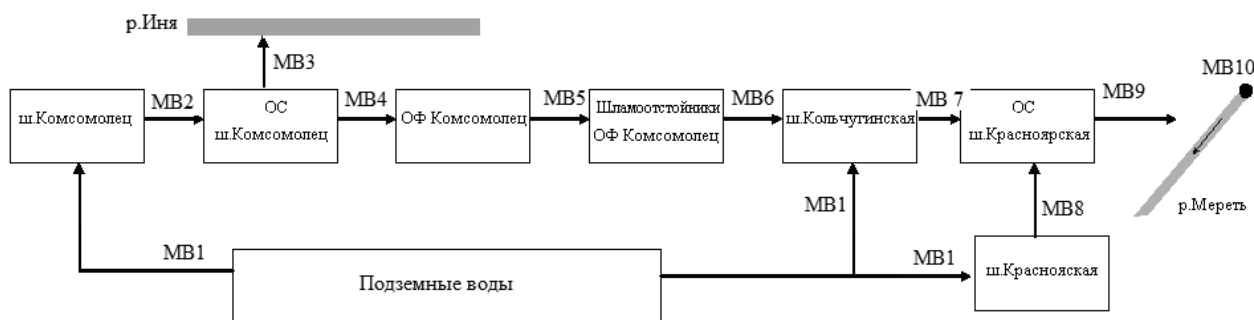
Мониторинг качества техноприродных вод сопряжен с определением состава стоков промышленных предприятий, осадков и природных вод в рамках заданных целевых установок. При этом необходимо периодически модернизировать систему мониторинга обеспечивая расширение наших знаний о составе исследуемых вод и повышая информативность процедур сравнения обеспечивающих принятие управленческих решений.

В настоящее время в Кузбассе состав различных вод контролируется несколькими организациями, которые используют свои ведомственные методики анализа и работают по своим программам. Мониторинг подземных вод осуществляет Кемеровский Центр мониторинга геологической среды (КЦМГС); поверхностных вод и осадков - Госэпиднадзора (ЦГЭН) и Кемеровский Областной Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (КО ЦГМОС); стоков - Ведомственные лаборатории промпредприятий. Кроме того, за качеством вод, сбрасываемых закрытыми шахтами, ведет наблюдение Кузбасский Центр мониторинга производственной и экологической безопасности (КЦМПЭБ). ЦГЭН осуществляет также мониторинг сточных вод промпредприятий и речных вод, подверженных воздействию промстоков. При этом общие целевые установки отсутствуют, а перечни определяемых ингредиентов на различных пунктах мониторинга содержат от 10 до 70 показателей и слабо отражают специфику сбросов.

Рассмотрим проблемы, возникающие при комплексной оценке различных модификаций техноприродных вод (МВ), образующихся в процессе угледобычи и углепереработки, выявленные нами при проведении НИР по научному обоснованию схемы очистки сточных вод обогатительной фабрики (ОФ) «Комсомолец» от взвешенных веществ путем их закачки в отработанное пространство закрытой ш. «Кольчугинской» [1], стоки которой через 2 км откачиваются в очистные сооружения (ОС) ш. «Красноярская».

В процессе исследований требовалось оценить средний химический состав следующих МВ (см.рис.): подземные воды (МВ1 – охарактеризована по данным КЦМГС 40 скважин располо-

женных в бассейне р.Иня); сбросы шахт Комсомолец (МВ2) и ш. «Красноярская» (МВ8) охарактеризованы по данным ТПП-Водхоз переданным нам экологическими службами СУЭК. Состав вод, отбираемых ОФ Комсомолец из ОС ш. «Комсомолец» (МВ4) принят нами как средний из двух наборов данных 2-ТПВодхоз, характеризующих входящие в ОС (МВ2) и выходящие из них стоки (МВ3). В стоках ОФ Комсомолец (МВ5) СПЛ СУЭК определяла только взвешенные вещества. Состав вод, отстаиваемых в шламоотстойниках ОФ (МВ6) охарактеризован по результатам анализов СПЛ СУЭК и ЦГЭН г. Ленинск-Кузнецкий. Данные о составе воды, откачиваемой из отработанного пространства ш.Кольчугинская (МВ7) получены от КЦМПЭБ. Состав вод, сбрасываемых из очистных сооружений (ОС) ш. Красноярская в реку Мереть (МВ9) принят нами как средний из двух наборов данных, характеризующих входящие в ОС сбросы ш. Кольчугинской (МВ7) и сбросы ш. Красноярской (МВ8). Данные по р. Мереть (МВ 10) получены ИВЭП СО РАН при изучении фоновое химического состава малых рек Кузбасса по заданию ОАО ОУК «Юж-кузбассуголь». Приведенные в таблице нормализованные показатели (НПСВ), характеризующие превышения концентраций ингредиентов над ПДК (в качестве нормативов выбраны ПДКр-х) в вышеперечисленных водах свидетельствуют о их значительном загрязнении взвешенными веществами (7-145), железом (3-18), марганцем (4-23), медью (3-50), нефтепродуктами (2,6-10), никелем (4-5), фенолами (1,4-6), цинком (2-3) на большинстве стадий транзита вод.



Таблица

Нормализованные показатели состава вод

Показатели	Подземные воды (МВ1)	ОС ш.Комс (МВ4).	ОФ Комс. (МВ6)	ш.Кольчугин. (МВ7)	ш.Краснояр. (МВ8)	ОС ш.Красноярская (МВ9)	р.Мереть (МВ 10)
1	2	3	4	5	6	7	8
Азот аммон	1,3	0,8	1,4	1,2	0,7	0,9	2,8
Азот нитрат	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3
Азот нитрит	1,5	0,4	7,5	0,2	0,2	0,2	1,8
БПК	0,3	1,1	18,3	1,5	1,0	1,9	1,1
Взвешенные	0,1	15,2	145,2	6,6	18,8	24,7	33,1
Железо	7,7	6,2	7,8	14,3	3,7	9,0	18,1
Кальций	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	1,0
Марганец	23,0	6,0	6,0	16,0	7,0	11,5	4,7
Медь	50,0	5,0	3,0	3,8	6,0	4,9	3,8
Нефтепрод.	0,2	6,4	0,4	2,6	5,2	3,9	10,6
Сульфаты	1,1	2,3	2,0	1,2	1,7	1,4	0,7
Сухой ост.	0,5	1,2	1,3	2,4	1,6	2,0	0,4
Хлориды	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
ХПК	0,4	1,8	7,4	1,4	2,0	1,7	2,1

Сбросы ОФ особо выделяются по взвешенным веществам, содержание которых даже в отстоянной воде достигает десятки грамм на литр. Как показали наши исследования значительная часть взвеси состоит из микродисперсных частиц менее 1 мкм в диаметре, что затрудняет их оседание, мешает определению взвешенных веществ по традиционным методикам и проведению дополнительных химических анализов (табличные данные по взвесям в водах ОФ приведены без учета этой микродисперсной фракции). Этот показатель является доминирующим при оценке периода накопления отходов ОФ в отработанном пространстве ш.Кольчугинская.

До 2006 года ОФ ш. Комсомолец не рассматривалась в качестве промышленного объекта, имеющего сбросы. В настоящем проекте впервые был описан химический состав ее сточных вод (см. столбец 4 табл.).

Сбросы ОФ Комсомолец обогащены более чем в 2 раза по сравнению с усредненными показателями трех ОФ (Беловская, Березовская, Кузбасская) следующими ингредиентами: азот нитрит. (7,4); БПК (3,3); взвешенные вещества (14-280); железо (2); марганец (4,6); ХПК (6,3), сухой остаток (1,4); фенол (1,3); хлориды (1,4); магний (9,8); хром⁺⁶ (1,6).

Оценено, что на начальной стадии закачки в ш.Кольчугинскую очистка сбросов ОФ возможна в разы для следующих показателей: азот нитратный (5), азот нитритный (50), БПК (20), взвешенные вещества (200-2000), фенол (10); хлориды (1,4), ХПК (10), цинк (4). Для бакпоказателей максимальная кратность очистки более 3500.

Ограниченность выполненных оценок связана с отсутствием в 2ТПВодхоз данных: о содержаниях в сбросах ОФ, используемых при обогащении углей химических веществ; об органических соединениях (алифатические и ароматические углеводороды, ПАУ, спирты, карбоновые кислоты и сложные эфиры карбоновых кислот, фенолы) в стоках угледобывающих предприятий (УДП); об ионном составе; о концентрациях микродисперсной фракции взвешенных веществ [1-2]. Оценить все 10 МВ оказалось возможным всего по 14 показателям, слабо отражающим их специфику и имеющих ограничения при интерпретации, связанные с пространственно-временными факторами.

Таким образом, решение подобных задач требует объединенного функционирования вышеперечисленных традиционных систем мониторинга (ТСМ) в рамках определенной целевой установки. Поскольку интенсификация технологической деятельности в Кузбассе нарастает, а число аналогичных задач будет увеличиваться, то один из возможных вариантов получения полноценной информации связан с функционированием комплексной мониторинговой системы, использующей, в том числе, возможности ТСМ. Это позволит научно-обоснованно осуществлять периодическую модернизацию мониторинговой деятельности.

Так, модернизация способов оценки загрязненности вод связана с определением сезонных показателей состава речных вод для выявления и расчетов вкладов источников сбросов в общее загрязнение вод [3]. Например, для р.Ускат приоритетные НПСВ (>2,5) по азоту аммонийному, гидрокарбонатам, меди, углекислоте и цинку в зимний период значительно больше (в 2-4 раза), чем в период половодья. Это означает, что в зимний межень период по ним доминируют вклады сбросов промпредприятий (в основном УДП). Преобладающие вклады в загрязненность вод в половодье вносят источники выбросов в атмосферу (загрязняющие в течение всей зимы снежный покров бассейна р.Ускат) по следующим ингредиентам: взвешенные вещества, смолы, хром. При этом ассоциативные показатели (АПКВ) качества вод [3] (введенные нами для учета специфики состава сточных вод) по 11 приоритетным загрязнителям (азот аммонийный, азот нитритный, взвешенные, марганец, медь, нефтепродукты, смолы и асфальтены, углекислота, фенолы, хром, цинк) примерно в 3 раза во все сезоны превышают индексы загрязнения вод (ИЗВ), которые обычно используются контролирующими органами (хотя они мало информативны при оценки любых техноприродных вод, в том числе в условиях Кузбасса). Подобные показатели в сочетании

с данными усовершенствованной отчетности 2ТП-Водхоз необходимо использовать при принятии управленческих решений по ограничению сбросов тех или иных промпредприятий.

Проблемы в области получения и переработки достоверной достаточно полноценной информации об интенсивностях воздействий промпредприятий на водные объекты Кузбасса возможно устранить путем как совершенствования имеющихся систем мониторинга, так и входе выполнения совместных (кооперативных) мониторинговых мероприятий в рамках НИР и ОКР под руководством учреждений РАН. При этом целесообразно:

- создать специализированную комплексную систему мониторинга физико-химических показателей осадков сточных, подземных и поверхностных вод, включающую измерения более широкого перечня показателей, с использованием современных аналитических методов;

- расширить отчетность 2 ТП-Водхоз за счет добавления специфических стоковых ингредиентов и достаточно подробного описания транзита сбросов всех выпусков каждого промпредприятия, вплоть до их попадания в реку; использовать концентрации ингредиентов в речных водах измеряемых аналитическими службами промпредприятия для уточнения их сезонных НПСВ и АПКВ;

- в периоды чрезвычайных ситуаций на промпредприятиях необходимо осуществлять мониторинговые мероприятия по специальной программе, в которой должны быть задействованы практически все организации, осуществляющие контролирующие функции;

- для всех ингредиентов, имеющих массивы аномально высоких содержаний в стоках (т.е. оказывающих экстремально-высокие коротко-периодические воздействия на природные воды), необходимо предусмотреть по возможности непрерывную схему мониторинга;

- сезонные показатели НПСВ и АПКВ речных вод в сочетании с данными усовершенствованной отчетности 2 ТП-Водхоз предлагается использовать при принятии управленческих решений по ограничению сбросов, тех или иных УДП и ОФ;

- в районах с нарушенными межбассейновыми водораздельными территориями предлагается наладить специфическую систему биогеохимического мониторинга, общую концепцию которой для нашего региона предпочтительно разработать в ближайшее время.

Литература

1. Счастливцев Е.Л., Мандров Г.А., Пушкин С.Г. Очистка шламовых вод с использованием шахтного пространства / Труды 10 межд.науч.практич. конф. г.Кемерово, 2007г., С 166-167
2. Рокосова Н.Н., Счастливцев Е.Л. Органические микропримеси в шахтных водах // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2009. - № ОВ7. -320 с.- М.: Издательство «Горная книга».- С.220-223
3. Потапов В.П. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса. / В.П. Потапов, В.П. Мазинкин, Е.Л. Счастливцев, Н.Ю. Вашлаева. Новосибирск.: Наука, 2006. – 600 С.

ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Чембарисов Э. И., Институт водных проблем АН РУз, г. Ташкент, echembar@mail.ru

PROBLEMS OF INTEGRATED MANAGEMENT OF WATER RESOURCES

Chembarisov E.I., Institute of Water Problems AS RU, Tashkent, iwp@mail.ccc.uz

В статье рассмотрены проблемы и принципы интегрированного управления водными ресурсами, которые сейчас внедряются в ряде стран мира, в том числе и в Узбекистане. При этом большое внимание уделяется качеству водных ресурсов, экологическим проблемам связанным с водой, а также учитывается общественное внимание в процессе рационального управления водными ресурсами.

In this article one can see the problems and principals of many developed branches on managing water resources which are inculcated in many countries of the world as well as in Uzbekistan. Thus, a great attention is paid to the quality of water resources, ecological problems closely connected with water as well as the participation of the public in the process of the rational management of water resources.

В 2002 г страны Центральной Азии и Кавказа присоединились к Глобальному водному партнерству (GWP).»

Главной целью водного партнерства является продвижение принципов интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР), которые заключаются в следующем:

- устойчивое, стабильное, справедливое и равноправное обеспечение водой нужд водопользователей и природы;
- управление водой и окружающей средой в пределах гидрографических границ в соответствии с морфологией конкретного бассейна;
- учет и вовлечение всех видов вод (поверхностных, подземных, возвратных) в водоиспользование с учетом климатических особенностей регионов;
- общественное участие населения не только в управлении, но и в финансировании, планировании и развитии водного хозяйства;
- тесная увязка водопользования и всех участвующих органов с отраслями и с различными уровнями водопользования;
- информационное обеспечение, открытость и прозрачность системы управления водой;
- водосбережение и рациональное использование водных ресурсов, включая не только совершенствование технических систем, но и создание системы консультативной службы и поддержания инфраструктуры.

По мнению специалистов ИУВР-это система управления, основана на учете и взаимодействии возможных водных (поверхностных, подземных, возвратных) и связанных с ними земельных и других природных ресурсов в пределах географических границ, увязывающая интересы различных отраслей и уровней иерархии водопользования и природопользования, вовлекающая все заинтересованные стороны в принятие решений, планирование, финансирование, поддержку и развитие в интересах устойчивого обеспечения потребностей общества и природы.

Традиционный подход к управлению водными ресурсами как инженерно-ориентированный,

основанный на технических решениях, привел к проблемам водного дефицита, загрязнению, конфликтам из-за принадлежности к собственности, социальным и политическим трениям.

По этому в передовых странах окрепло понимание того, что инженерные и финансовые решения в прошлом должны быть переоценены с учетом естественной и социальной ценностей природы и общества.

Переход к ИУВР требует выделения следующих приоритетных направлений и механизмов управления:

- формирования организационных, политико-юридических, управленческих механизмов, которые устраивали бы все государства Центральной Азии;
- стабилизации объектов природы, предупреждения нарушений экологического баланса, формирования системы взаимодействия всех организаций, обладающих определенными полномочиями и способствующих стимулированию водохозяйственной деятельности.

При интегрированном управлении водными ресурсами вопросы, связанные с экологией, будут играть приоритетную роль.

Наше государство унаследовало от прошлого Аральский экологический кризис, вредные для здоровья населения и окружающей среды производства, истощенные водные и земельные ресурсы.

Нужно отметить, что за годы независимости в Узбекистане разработаны и осуществлены важные организационные, социально-экономические и правовые меры по обеспечению, как сейчас принято говорить, экологической безопасности.

Под экологической безопасностью следует понимать систему общегосударственных мер, направленных на своевременное выявление, предупреждение и пресечение экологических угроз, могущих привести к серьезным политическим, экономическим, экологическим, социальным и иным ущербам государству, обществу и личности.

Нужно отметить, что за прошедшие годы в Узбекистане был принят ряд законов, регламентирующих деятельность по охране окружающей среды и направленных на сохранение здоровья населения и рациональное использование природных ресурсов.

ИУВР представляет собой не построение еще одного уровня в межгосударственной системе управления водными ресурсами, а формирование интегрированного, целостного подхода к созданию и развитию единства структур управления водными ресурсами региона при стабильности и совершенствовании национальных структур управления. Одна из главных задач ИУВР - обеспечение количественных параметров водного режима и качества воды со строгими ограничениями предельно допустимых концентраций сбросов.

Решения задач ИУВР требует согласованных усилий всех заинтересованных сторон: водников, водопользователей, властных структур и другие. При этом необходимо учитывать следующие проблемы: наличие в регионе государственных и территориально- административных границ; отраслевую изоляцию, значительные различия в уровнях иерархии управления водой; слабость контактов и взаимодействия водопользователей, широкой общественности и системы управления водными ресурсами, отсутствие системы регулярного повышения квалификации специалистов водного хозяйства; низкий уровень системы существующих гидросооружений, оборудования, техники и другие.

Таким образом, система ИУВР может дать свой, принципиально новый подход к формированию и совершенствованию механизма межгосударственного сотрудничества по использованию региональных водных ресурсов.

ВОПРОСЫ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕАМУРСКОГО РЕГИОНА

*А.П. Чечель, Институт природных ресурсов,
экологии и криологии СО РАН, Чита,
alchechel@mail.ru*

PROBLEMS OF THE HYDRO-ECOLOGICAL SAFETY OF THE HIGH-AMUR REGION TERRITORY

*A.P. Chechel, Chita, Institute of natural resources, ecology and cryology SD RAS,
alchechel@mail.ru*

Показаны трансграничное положение истоков Амура, структура водно-ресурсного потенциала и проблемы обеспечения гидроэкологической безопасности Верхнеамурского региона.

Showing trans-bordering location of sources of Amur; the structure of water-resource potential and problems of provision hydro-ecological safety of the High-Amur Region.

Истоки Амура имеют трансграничное положение. Здесь крупные реки пересекаются государственными границами (реки Аргунь (Хайлар), Ульдза (Улдз-Гол), Онон и др.), по некоторым из них проходят протяженные участки государственных границ (реки Аргунь, Амур). В приграничных районах дестабилизация гидроэкологической безопасности может быть усилена хозяйственным освоением и использованием ресурсов территориально-аквальных комплексов на сопредельных участках трансграничных водных систем.

Истоки Верхнего Амура (в створе по границе Забайкальского края) представляют обширный гидрографический комплекс. Его площадь около 574 тыс. км² (42% приходится на территорию России, 30,2% – Китая и 27,8% - на территорию Монголии. Объем среднееголетнего речного стока составляет на этой территории около 996 м³/с (66,2% стока формируется на территории России, 24,5% – Китая и 9,3% - Монголии). Этот комплекс сложно устроен и включает проточные участки гидрографической сети (бассейн Верхнего Амура), полубессточную Далайноро-Керуленскую область и области внутреннего стока (Улдза-Торейская бессточная область и др.). Бассейн истоков Верхнего Амура в целом можно отнести к районам слабо, обеспеченным водными ресурсами (2,4 л/с на 1 км²). Модуль среднего многолетнего полного речного стока в бассейне Верхнего Амура по сопредельным странам составляет: Россия - 2,8, Китай - 1,8, Монголия - 2,0 л/с на 1 км². Это обстоятельство создает условия для возникновения дефицита ресурсов водоснабжения.

В последние годы на фоне ряда маловодных лет в регионе на трансграничных водных объектах назревает водохозяйственный кризис, способный перерасти в кризис экологический. В Китае реализуется проект, который предусматривает переброску части стока верховьев р. Аргунь (в пределах Китая - Хайлар) в оз. Далайнор. По разным данным, планируемый объем переброски может составить более 1 км³ (до 2 км³) воды в год (при среднем многолетнем годовом стоке реки Аргунь в районе пересечения российско-китайской границы 3,14 км³, а в маловодные годы – 1,5 км³), что составляет (в зависимости от водности года) примерно от одной до двух третей стока реки Аргунь (Хайлар) с территории Китая. Аналогичное планируется и в Монголии (переброска вод реки Керулен (бассейн оз. Далайнор) в Гоби в объеме около 0,05 км³ в год и др.) [2]. Реализация в Забайкальском крае

крупных инвестиционных программ по разработке ряда месторождений полезных ископаемых, строительству заводов (цементного, целлюлозного), объектов энергетики, транспорта и др. также увеличит в этом регионе забор свежей воды примерно на 100 и сброс сточных вод на 40 млн. м³ в год.

По мнению специалистов если объемы безвозвратного изъятия стока превышают 25% среднего многолетнего объема стока, то в бассейнах рек складывается кризисное экологическое состояние [1]. В связи с этим необходимо определение водоснабженческого потенциала трансграничных районов. По российским нормативам возможные ресурсы для целей водоснабжения устанавливаются для водотоков в естественном (не зарегулированном) состоянии в среднем в объеме 30 % от величины «устойчивого» стока (минимального стока в лимитирующий период) [5]. Исходя из этих нормативов, водоснабженческий потенциал территории трансграничного бассейна Верхнего Амура нами определен ориентировочно в объеме 1,489 км³/год, в том числе: 1,056 км³/год формируется на территории Забайкальского края (0,832 км³/год – в бассейне р. Шилка и 0,224 км³/год в бассейне р. Аргунь), а 0,433 км³/год формируется на территории Китая (0,331 км³/год по бассейну р. Аргунь) и Монголии (0,102 км³/год по бассейну р. Шилка). Это составляет около 5 % от среднего речного стока этого бассейна. Ревский А. утверждает, что по международным стандартам допустимый уровень забора воды из трансграничных объектов не должен превышать 12 % [4]. Остальная часть стока (устойчивого и паводочного) должна остаться в водотоках для обеспечения экологических и других водохозяйственных функций. Эти параметры возможного безвозвратного изъятия стока следует учитывать при определении квот (лимитов) на безвозвратное водопотребление из трансграничных водных систем.

В 2005-06 гг. в забайкальской части трансграничных водных объектов Верхнеамурского региона водозабор (с последующим сбросом сточных вод) составлял 21,8 %, а объем безвозвратного водопотребления – 6,4 % от российской части водоснабженческого потенциала. В перспективе, при реализации выше названных проектов строительства, предполагается увеличение этих показателей соответственно до 31 и 12 %, т.е. водопотребление в Забайкальском крае в ближайшие 10-15 лет не превысит ресурсы водоснабжения (табл. 1).

Таблица 1.

Водные ресурсы, водопотребление и возможные варианты объемов безвозвратного изъятия речного стока в бассейне Верхнего Амура, км³/год

Показатели	Всего	в том числе на территории		
		России	Китая	Монголии
Средний многолетний сток	29,2	20,7	6,5	2,0
Забор свежей воды	0,4	0,23	0,17 ^{*)}	н.д.
Безвозвратные потери	0,138	0,07	0,068 ^{*)}	н.д.
Прогноз безвозвратных потерь ^{*)}	1,73	0,13	1,5	0,1
Ресурсы водоснабжения - 5 % от среднего речного стока (расчет по [5])	1,489	1,056	0,331	0,102
Объемы возможного безвозвратного изъятия речного стока:				
12 % (по [4])	3,5	2,5	0,8	0,2
25 % (по [1])	7,3	5,2	1,6	0,5

^{*)} – оценка.

Другая проблема заключается в том, что кризисные ситуации могут являться следствием загрязнения рек. Доля России в загрязнении Амура оценивалась в 2004 г. в объеме 820,01 млн. м³ сточных вод, в том числе с территории Забайкальского края (без учета использования бессточного оз. Кенон) около 143 млн. м³ (17,4 % от РФ в бассейне Амура). По экспертным оценкам ДальНИИВХ (г. Владивосток) на долю Китая в бассейне Аргуни приходится 87,5 % сброса сточных вод в поверхностные водные объекты или около 100 млн. м³ в год [3]. В последние годы трансграничные воды р. Аргунь, поступающие на территорию России из Китая, характеризуются по ИЗВ как очень загрязненные и грязные, что свидетельствует о наличии на территории Китая источников загрязнения. На р. Аргунь со стороны России находятся водозаборы, обеспечивающие водоснабжение населенных пунктов, качество водоисточников которых не соответствует нормам, установленным для этих целей.

Необходима разработка и реализация программы по гидроэкологическому обеспечению социально-экономического развития Верхнеамурского региона с учетом его трансграничного положения, включающей в числе других следующие первоочередные мероприятия: разработка совместно с сопредельными государствами лимитов на безвозвратный забор воды из трансграничных водных объектов и сброса в них сточных вод; установка систем водоочистки на объектах хозяйственно-бытового водоснабжения, базирующихся на трансграничных водоисточниках; подготовка к эксплуатации резервных источников водоснабжения на основе месторождений подземных вод. Для предупреждения кризисных ситуаций, связанных с дефицитом водных ресурсов, в этих районах необходимо также проведение мероприятий по экономному использованию водных запасов и увеличению (расширенному воспроизводству) устойчивого стока и соответственно увеличению водоснабженческого потенциала.

Литература

1. *Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л.* Гидроэкологическая безопасность территории: причины изменения и способы повышения надежности // *Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: Мат-лы Междунар. конф.* – Томск: Изд-во НТЛ, 2000, с. 4-7.
2. *Вишняков Е.В.* Роль администрации Читинской области в решении международных российско-китайских экологических проблем // *Научный вестник Байкальского гос. ун-та экономики и права*, 2008, № 12, с. 69-74.
3. *Меновицков А.П.* Оценка состояния экосистемы трансграничного бассейна р. Амур на территориях Читинской, Амурской и Еврейской автономной областей и Хабаровского и Приморского краев. - <http://www.control.chita.ru>.
4. *Ревский А.* Фактор воды: эгоизм Китая грозит Казахстану экологической катастрофой. - <http://www.apn.kz/publications/article5569.htm>.
5. *Савельева И.Л., Безруков Л.А., Башалханова Л.Б. и др.* Природно-ресурсный потенциал Иркутской области. – Иркутск: Изд-во СО РАН, 1998. – 238 с.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ ГИДРОУЗЛОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Шаазизов Ф.Ш. Институт Водных проблем АН РУз

MONITORING OF LARGE RESERVOIR HYDROSYSTEMS STATE IN REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Shaazizov F. Sh. Institute of Water Problems AS RU

Представлен опыт работ по созданию ГИС бассейнов рек Амударья и Сырдарья для оценки безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений.

The experience in development of GIS of the Amu Darya and Syr Darya basins for the assessment of hydrosystems safety is presented.

На современном этапе развития водохозяйственного комплекса в нашей республике наблюдается тенденция выхода из строя и ухудшение работоспособности многих крупных гидротехнических сооружений, которые характеризуются прогрессирующим старением оборудования и сооружений, входящих в их состав.

Многие крупные гидротехнические сооружения, построенные в прошлом столетии, исчерпали свой эксплуатационный ресурс и находятся в сильно изношенном состоянии и представляют большую потенциальную опасность для населения республики. В связи с этим вопросы безопасности ГТС, в частности, крупных водохранилищных гидроузлов, в настоящее время становятся очень важными для нашей республики.

В Институте Водных проблем АН РУз на протяжении уже ряда лет в рамках ГНТП проводятся исследования в данном направлении, при этом используется ценный опыт ученых таких передовых зарубежных стран как Германия, Япония. Так в частности в рамках гранта «Разработка научно-методической основы оценки и мер по обеспечению безопасности особо крупных ГТС»

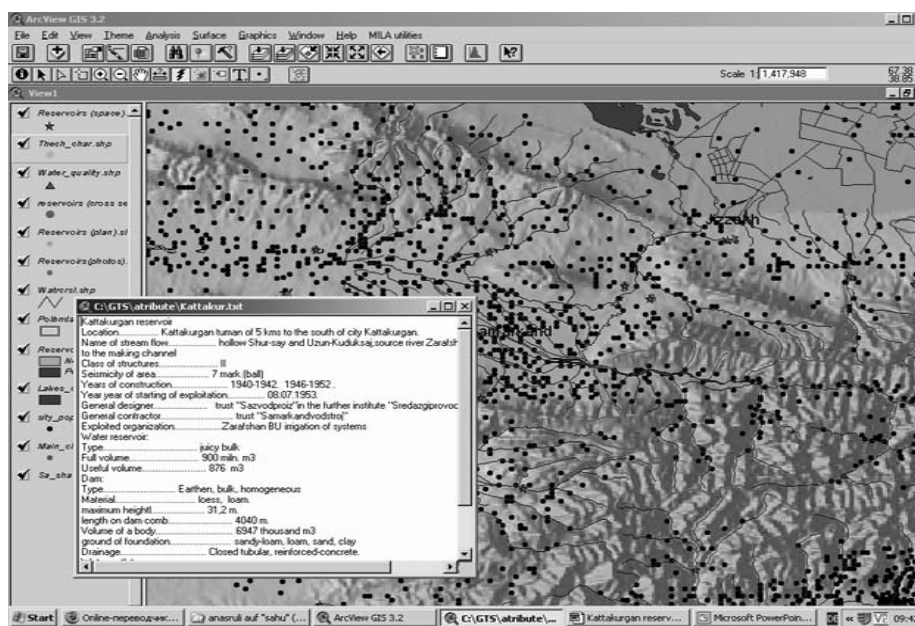


Рис.1. База данных в среде ГИС ArcView 3.3.

на основе ГИС технологий была создана база данных, содержащая информацию о размещении, основных технических параметрах и показателях, а также о современном состоянии крупных водохранилищных гидроузлов нашей республики.

Была специально разработана форма (паспортная характеристика), отражающая общую характеристику рассматриваемого гидроузла с проектными данными и данными проведенных инспекторских обследований объектов.

Результаты по состоянию крупных водохранилищных гидроузлов были получены на основе проведенных многолетних натурных инструментальных исследований, проведенных сотрудниками института.

Данная форма заносится в базу данных в среде ГИС ArcView 3.3. (рис.1.)

Кроме этого данная система содержит в себе и географическую информацию, следующего рода:

- место расположение объекта с точными координатами;
- топографические особенности региона;
- расположение крупных близлежащих населенных пунктов.

Данное обстоятельство позволяет в дальнейшем спрогнозировать последствия которые возникнуть при аварии данного сооружения и является крайне необходимым инструментом для принятия экстренных мер по предотвращению чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, в рассматриваемом регионе.

Смоделировав в среде ГИС процесс возможного разрушения плотины водохранилищного гидроузла, учитывая при этом пластику рельефа местности, можно будет тем самым определить зоны и масштабы затоплений нижерасположенных территорий. Это дает нам возможность выявить и определить зоны эвакуации населения, проживающего в зоне затопления.

Моделирование процесса разрушения дамб и плотин водохранилищных гидроузлов со сценариями возможных масштабов их разрушения намечается провести на следующих этапах выполнения НИР.

Положение водохранилищ и гидротехнических сооружений (координаты расположения) указывается на цифровой карте, приводятся также данные о гидрохимическом составе, которые введены в интерактивную карту в виде таблиц, при этом использовались соответствующие компьютерные программы.

В нашей работе из множества существующих платформ была выбрана система ArcView GIS, поскольку она является наиболее универсальным инструментом для прогнозирования состояния водных объектов в связи с антропогенным воздействием и с природными явлениями.

Также очевидно, что для того, чтобы результаты математического моделирования стали элементом механизмов поддержки принятия решений, они (эти результаты) должны легко передаваться в ГИС. И, наоборот, необходимые данные из ГИС (например, количество загрязняющих веществ, форма русла реки, отметки поверхности земли, гидротехнические и гидрогеологические данные и т.п.) должны распознаваться и импортироваться моделирующей системой для использования в расчетах. Важным моментом является также и то, что математические модели для водных объектов должны разрабатываться профессионалами гидрологами, гидрогеологами и гидротехниками, а профессиональные ГИС – профессионалами от ГИС – технологий. Если при этом удастся корректно увязать хорошую математическую модель и добротную ГИС, можно достичь максимального эффекта от результатов моделирования и расширить эффективную область применения ГИС.

В данной научной работе представлен опыт работ по первому этапу создания ГИС для информационной поддержки разработки научно-методической основы оценки и мер по

обеспечению безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений, также принятия экологически значимых решений для бассейнов рек Амударья и Сырдарья. Целью работы являлось создание комплекса цифровых карт бассейна Аральского моря, базы данных, содержащих атрибутивную информацию о нынешнем состоянии крупных водохранилищных гидроузлов (также и гидрохимическое загрязнение), а также средства расчета и отображения комплексных показателей на основе разнородных пространственно распределенных данных. В созданной карте гидротехнического мониторинга бассейна Аральского моря, будут представлены гидротехнические данные водохранилищ за 2010 год, в двух формах, в виде фотографий, диаграмм или таблиц, где можно получить результаты, указывая курсором на пункт наблюдения.

Основные инструменты, используемые в компьютерной системе поддержки.

- 1) Система координат;
- 2) Техническая поддержка нескольких пространственных слоев цифровых карт, растровых и векторных объектов;
- 3) Создание файлов банка данных;
- 4) Графический показ исследуемых объектов по технологии ГИС;
- 5) Реализация экспериментальных работ с использованием созданной системы.

Структура и формат используемой информации для компьютерной системы поддержки решений по гидротехническим сооружениям.

- 1) Текстовая информация (методические сообщения, инструкция относительно использования);
- 2) Цифровая информация (статистика, таблицы);
- 3) Графическая информация (диаграмма, фотографии, карта);
- 4) Векторные информационные слои пользователя тематических и топографических карт;
- 5) Ссылки на файлы, содержащихся в информационных базах (Microsoft Excel- базы данных);
- 6) Цифровая карта Узбекистана на основе ГИС-технологий.

Так в частности при наведении курсора «мышки» компьютера на Ташкентское водохранилище (старое название Туябугузское) в разработанной цифровой карте появляются космические снимки водохранилища (Космические снимки мировой системы спутникового наблюдения Google).

Подобные спутниковые фотографии на 56 водохранилищ приведены на нашей карте.

Также при наведении курсора выходят таблицы с химическим составом воды в этих водохранилищах. Данные получены из лабораторий Главгидромета Узбекистана.

Кроме того, в разработанной карте имеется информация об объектах, т.е. приведены таблицы параметров гидротехнических сооружений. В цифровой карте также существует возможность рассмотреть фотографии водохранилищ.

В дальнейшем планируется на основе цифровой карты и приложенной к ней банку данных провести следующие задачи:

- 1) Прогнозы и сценарии распространения прорывной волны в случае разрушения дамбы водохранилища.
- 2) Различные сценарии на основе базы данных ГИС.
- 3) Показывать направление распространения прорывной волны и определить зоны возможных затоплений.

Цифровая карта позволяет решать следующие задачи:

- Развитие с научной точки зрения - методического основания оценки и мер для безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений.
- Характеристика и классификация особенно крупных гидротехнических сооружений, в

виду их социальной и экономической и экологической важности для Узбекистана.

- Определить уровень безопасности гидротехнических сооружений, рекомендации для увеличения их надежности и безопасности. Критерии безопасного состояния отдельных элементов гидротехнических сооружений.
- Гидравлическая модель процессов, возникающих в случае возникновения отказов или разрушений гидротехнических сооружений.
- Рекомендации на увеличении надежности и безопасности действия ГТС.
- Создание более детальных ГИС, цифровых карт для особо опасных зон около основных гидротехнических сооружений Узбекистана.

Основные результаты, полученные при проведении исследований, сводятся к следующему:

1. Разработана классификационная характеристика крупных водохранилищных гидроузлов с учетом социально – экономической зависимости для Узбекистана;
2. Разработана классификационная характеристика рисков аварий и отказов на крупных водохранилищных гидроузлах;
3. Выявлена и разработана методика общей оценки технического состояния и уровня безопасности водохранилищных гидроузлов с выявлением критических параметров и элементов;
4. Выявлен состав диагностических параметров подлежащих наблюдению и контролю при обеспечении безопасной эксплуатации водохранилищных гидроузлов;
5. Создана ГИС карта по районам проведенных исследований и разработана цифровая карта с расположением крупных водохранилищных гидроузлов и их основными техническими параметрами;
6. На основе ГИС технологий намечается в дальнейшем определить наиболее потенциально опасные зоны при возникновении аварии на крупных водохранилищных гидроузлах.

Литература

1. Шаазизов Ф.Ш. Чембарисов Э.И. Hydroecological monitoring of surface and ground waters pollution in Aral Sea basin, ModelCARE Conference, Сборник докладов международной конференции, Копенгаген, Дания, 9-13 сентября 2007.
2. Шаазизов Ф.Ш. Elaboration of usage of Aydar Arnasay lake system model for sustainable development of national economy in the Republic of Uzbekistan. IUGG XXIV General Assembly “Freshwater: Ever Changing and Yet a Cause for Change” Сборник докладов международной конференции, Перуджия, Италия 9-13 июля 2007.
3. *Чрезвычайные ситуации* (источники, прогноз, защита): учеб. пособие/ М.П. Пьянзин, А.Ф. Борисов. НГАСУ, Вента, Н.Новгород, 2004.
4. *Материалы проекта «Безопасность плотин в Центральной Азии: создание потенциала и региональное сотрудничество»*, который осуществляется ЕЭК ООН и ЭСКАТО ООН апрель, ноябрь Алматы, 2006.
5. *Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий при ЧС: учеб. пособие/* В.В. Денисов, И.А. Денисова. - М.: ИКЦ “МарТ”, Ростов н/д: Издательский центр “МарТ”, 2003.
6. *Стихийные бедствия, аварии, катастрофы*. Вып.1//Библиотечка журнала “Военные знания”. - М., 1998.
7. *Основы защиты населения и территорий в ЧС* / под ред. В. В. Тарасова. - М.: МГУ, 1998.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КВОТИРОВАНИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Шерфединов Л.З., Институт Водных проблем АН РУз, Ташкент, iwp@mail.ccc.uz

METHODOLOGICAL APPROACHES TO QUOTA ARRANGEMENT FOR TRANSBOUNDARY WATER OF CENTRAL ASIA

Sherfedinov L.Z., Institute of Water Problems AS RU, Tashkent, iwp@mail.ccc.uz

Трансграничные воды – разделяемые ресурсы и их квотирование необходимо для упорядочения водообеспечения бассейновых государств. Особенности формирования, распределения и изменчивости этих вод обуславливают методологические аспекты их квотирования. Таковые и вытекающий из их применения эскиз квот приводится ниже.

Trans-boundary quoting – separating resources is necessary for putting in order of providing of basin states with water. The particularities of forming, distribution and variability of these water condition methodological aspects of quoting. The same and draft of quotes following from their using are given below

Трансграничные воды – разделяемые ресурсы, и их квотирование необходимо для упорядочения водообеспечения бассейновых государств. Особенности формирования, распределения и изменчивости этих вод обуславливают методологические аспекты квотирования. Таковые и вытекающий из их применения эскиз квот приводится ниже.

1. Состояние водных объектов, изменчивость их ресурсов

Предмет рассмотрения ограничен водными объектами части Центральной Азии, которую занимают бассейны больших рек Амударьи и Сырдарьи, хотя обсуждаемая тема актуальна, по-видимому, и для всего субконтинента. Для рассматриваемой задачи существенен исторический аспект водообеспечения. Данные гидрологических наблюдений сделали возможным наметить три этапа формирования и использования водных ресурсов.

Первый – естественный, имел место до новой эры. Второй – условно-естественный, начался в античное время и завершился в первой половине прошлого века из-за масштабного изъятия речных вод. Третий этап характеризуется исчерпанием располагаемых ресурсов, главным образом, в интересах орошаемого земледелия. При этом речная сеть функционирует как основа водохозяйственных систем. На Амударье такая система обеспечивала сезонное регулирование стока с коэффициентом $\sim 0,8$ ч $0,85$ [4]. На Сырдарье было достигнуто многолетнее регулирование с коэффициентом $\sim 0,9$ ч $0,93$ [3]. Комплексные гидроузлы на реках комплектовались гидроэлектростанциями, а выработка электроэнергии производилась по ирригационному графику. Основная часть гидроузлов и водохранилищ размещена в горных частях субконтинента. С достижением независимости горные бассейновые государства изменили режим водопользования на гидроэнергетический. Из-за этого и отсутствия у равнинных государств гидротехнической инфраструктуры для контр-регулирования в ирригационный режим наносится ущерб водообеспечению орошаемого земледелия. В средний по водности год такие ущербы достигают на Амударье и Сырдарье до $6-8 \text{ км}^3$, а в маловодные годы вегетационный сток в среднем и нижнем течении сокращается на еще большую величину. Стохастический по своей природе гидрологический процесс приобретает еще большую неустойчивость.

Однако следует заметить, что верховья – как были, так и остались областями формирования и

использования стока; средние течения – транзита и изъятий стока с боковой приточностью или лишённой оной; низовья – областями рассеивания остаточного стока в окультуренных ландшафтах [5]. Но не стало бассейнового базиса стока – Аральского моря. Большая река Амударья «приобрела» слепой конец, а большая река Сырдарья пока «впадает» в восточную часть остаточного водоема, того, что остался от Аральского моря.

Располагаемые водные ресурсы обозначенных этапов приведены в табл. 1 с учетом оценок [2, 3, 4, 5 и др.].

Таблица 1.

Располагаемые водные ресурсы (примерно 50% обеспеченности, км³/год)

№/п	Река, бассейн	Финальная фаза условно-естественного режима	Ирригационный режим	Энергетический режим
1.	2	3	4	5
1.	Река Амударья	75,3 ± 3,8 [5]	67,9 ± 3,4 [4]	70,9 ± 3,5 [2]
1.1	Верхнее течение	75,3 ± 3,8	67,9 ± 3,4	70,9 ± 3,5
1.2	Среднее течение	64 ± 3,2	~60 ± 3 [4]	63,0 ± 3,1
1.3	Нижнее течение	48 ± 2,4	~28 ± 1,4	~30 ± 1,5
1.4	Поступление в Аральское море	38 ± 1,9 [5]	~5,0 ± 0,2 [4]	-
2.	Река Сырдарья	34,9 ± 1,8 [5]	34,8 ± 1,7 [3]	36,5 ± 1,8 [2]
2.1	Верхнее течение	24,3 ± 1,2 [5]	25,2 ± 1,2	26,9 ± 1,3
2.2	Среднее течение	27,0 ± 1,3 [5]	24,1 ± 1,2	23,0 ± 1,1
2.3	Поступление в Аральское море	15,6 ± 0,8 (?)	~5,9 ± 0,3 [3]	~4,5 ± 0,2
3.	По бассейну Аральского моря			
3.1	Водные ресурсы	110,2 ± 5,6	~102,7 ± 5,1	107,4 ± 5,4
3.2	Поступление в Аральское море	53,6 ± 2,7	~10,9 ± 0,5	~4,5 ± 0,2
3.3	Безвозвратные потери стока относительно моря	56,6 ± 2,9	~91,8 ± 4,6	~102,9 ± 5,1

Приведенные оценки иллюстрируют факт истощения ограниченных водных ресурсов бассейна Аральского моря, но пока не истощения. Последнее вероятно будет протекать при глобальном изменении климата и уже началось из-за сокращения горного оледенения [2]. Отмеченный в [2, 3, 4] дефицит водных ресурсов характеризует неудовлетворенный спрос на воду при достигнутом технологическом уровне водосбережения. Таков ресурсный аспект проблемы межгосударственного вододелия.

2. Особенности водообеспечения

Жизненный уклад населения субконтинента издревле основывался на орошаемом и горном земледелии, животноводстве, рыбном и охотничьем промыслах, кустарных производствах и т.д.

Индустриализация началась с конца позапрошлого века. Несмотря на индустриальный рост, к достижению государствами субконтинента независимости, они оставались аграрно-индустриальными и пока пребывают таковыми. Большая часть населения – 2/3 – сельское, но его вклад во внутренний валовой продукт достигает только 1/3. И это несмотря на то, что орошаемое земледелие за это время увеличилось по площади более чем в два раза. Эта же отрасль является крупнейшим водопотребителем. На её долю приходится до 90% забора располагаемых водных ресурсов.

Эскиз квот трансграничных вод по Центральной Азии

№ п/п	Наименование водотока, страны	Вероятные в ближайшей перспективе квоты на		
		ВП ^{о)} / ВЗ	сброс ^{о)} ВВ в реки	БВЗП ^{о)}
1	Бассейн р.Амударьи	52,4 [*] / 58,4	11,4	47,0
	В том числе:			
1.1	Верхнее течение	52,4 [*] / 16,3	5,4	10,9
	Из них:			
1.1.1	Афганистан	14,1 / 4,8	1,5	3,2
1.1.2	Таджикистан	33,8 / 6,8	2,3	4,5
1.1.3	Узбекистан	3,6 / 4,5	1,5	3,0
1.1.4	Кыргызстан	0,9 / 0,2	0,1	0,1
1.2	Среднее течение	41,5 / 20,7	2,5	18,2
	Из них:			
1.2.1	Туркменистан	- / 13,5	0,7	12,8
1.2.2	Узбекистан	- / 7,2	1,8 ^{**})	5,4
1.3	Нижнее течение	11,0 / 21,4	3,5	17,9
	Из них:			
1.3.1	Туркменистан	- / 7,2	-	7,2
1.3.2	Узбекистан	11,0(?) / 14,2	4,0(+1,8)	12,0
1.3.3	Сброс в Аральское море		2,2	
2	Бассейн р.Сырдарьи	27,2 [*] / 39,3	14,8	24,5
	В том числе:			
2.1	Верхнее течение	(20,1) [*]) / 14,1	6,9	7,2
	Из них:			
2.1.1	Кыргызстан	(20,1) / 3,8	1,9	1,9
2.1.2	Таджикистан	(12,9) / 1,5	0,7	0,8
2.1.3	Узбекистан	(12,9) / 8,8	4,3	1,5
2.2	Среднее течение и ЧАКИР ^{***})	(18,2) / 12,2	5,2	7,0
	Из них:			
2.2.1	Казахстан	0,5 / 1,8	0,5	1,3
2.2.2	Кыргызстан	2,7 / 0,2	0,1	0,1
2.2.3	Таджикистан	- / 1,0	0,2	0,8
2.2.4	Узбекистан	2,1 / 9,2	4,4	4,8
2.3	Нижнее течение	(13,0) / 13,0	2,7	10,3
	Из них:			
2.3.1	Казахстан	13,0 / 13,0	2,7	10,3
2.3.2	Сброс в Аральское море	-	2,7	-
3	Всего по южному склону бассейна Аральского моря	79,6 [*] / 97,7	26,2	71,5
	В том числе:			
3.1	Афганистан	14,1 / 4,8	1,5	3,2
3.2	Казахстан	13,5 / 14,8	3,2	11,6
3.3	Кыргызстан	22,8 / 4,2	2,1	2,1
3.4	Таджикистан	33,8 / 9,3	3,2	6,1
3.5	Туркменистан	20,7 / 20,7	0,7	20,0
3.6	Узбекистан	25,0 / 43,9	15,5	28,4
3.7	Сброс в Аральское море		6,7 ^{**})	

^{*}) вероятная величина речного стока; ^{**}) в т.ч. сброс по Правобережному коллектору 1,8 км³ со среднего течения;

^{о)} ВП – водопользование; ВЗ – водозабор; ВВ – возвратные воды; БВЗП – безвозвратные затраты и потери;

^{***}) ЧАКИР – Чирчик-Ахангаран-Келесский ирригационный район.

Гидроэнергетика является основным конкурентом орошаемого земледелия из-за фактора сезонности. Горные государства заинтересованы в развитии гидроэнергетики [2], потенциал которой оценивается в 590 ТВт т.ч., экономически доступный в ~150 ТВт т.ч. [1]. Освоенный потенциал гидроэнергии по оценкам разнится от 32-34 [1] до 37-45 [3] ТВт т.ч. Но основная особенность энергетики горных государств заключается в том, что гидроресурсы ныне обеспечивает до 90% их энергетического баланса. Таковы интересы бассейновых государств, удовлетворение которых требует их оптимизации.

3. Правовой формат и перспективы водообеспечения

Правовой формат решения рассматриваемой проблемы определяется положениями международного права и таких его разделов, как например, «Правила пользования водами международных рек» (Хельсинки, 1966 г.), «Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер» (Хельсинки, 1992 г.), «Конвенция о праве несудоходных видов использования международных водотоков» (Нью-Йорк, 1997 г.) и др. Такие наработки международного права, являясь руководством к действию, однако не доучитывают конкретику субконтинента. Принципиально, во-первых, то, что наносятся ущербы орошаемому земледелию – многовековой экологической нише населения. Во-вторых, безвозвратные потери стока приводят к исчерпанию водных ресурсов, а возврат – к засолению вод и ландшафтов. Поэтому в условиях Центральной Азии квотированию подлежат водопользование, водозабор и возврат вод в реки, безвозвратные потери. И все это нужно регулировать вдоль продольного профиля главных рек, с тем, чтоб контролировать как количество, так и качество вод. Последнее особенно значимо для низовий больших рек, так как они испокон веков были и пока остаются единственными источниками питьевого водоснабжения населения.

Это необходимо для реализации принципов «справедливого, разумного и равноправного использования трансграничных водотоков», «прецедента», минимизации «трансграничных воздействий» или их предотвращения и т.д.

В таблице 2 приведена рабочая версия квотирования трансграничных вод с учетом вероятного сокращения объемов стока из-за глобального изменения климата. В этих оценках использованы прогнозы изменения водных ресурсов, приведенные в [2, с. 47]. Из них следует, что в начале второй четверти текущего столетия располагаемые водные ресурсы бассейна Амударьи вероятно составят $52,4 \pm 5,8$ км³/год, Сырдарьи – $27,2 \pm 3,1$. В маловодную эпоху, таким образом, начнется истощение водных ресурсов и изменится, по-видимому, структура их формирования.

Таким в общей схеме просматривается вододеление, которое вероятно может удовлетворить разумные социально-экономические и экологические интересы бассейновых государств.

Заключение

В ожидаемую маловодную эпоху водные ресурсы субконтинента, вероятно, сократятся почти на четверть, в сравнении с предыдущим столетием. Флуктуации стока, по-видимому, только усилятся. Поэтому маловодные годы грядущего будут, по-видимому, еще более провальными для водообеспечения. Эти ожидания обуславливают социально-экологический императив заблаговременной адаптации экономики и жизненного уклада населения к пессимистическим условиям ближайшей перспективы. Для этого, прежде всего, в соответствии с процедурами международного права, нужно выработать правила пользования трансграничными водотоками и их ресурсами применительно к конкретике субконтинента. Нужно разработать и реализовать на бассейновых и национальных уровнях программы тотального водосбережения. Нужен технологический прорыв в экономике и мобилизация общественного сознания для предотвращения (или уже преодоления!) экологического бедствия.

Литература

1. Гидроэнергетика бассейна Аральского моря: Пресс-релиз/Ташкент: Ташгидропроект, 1994. – 28 с.
2. Усиление регионального сотрудничества по рациональному и эффективному использованию водных и энергетических ресурсов в центральной Азии / Нью-Йорк: ООН. 2003. – 125 с.
3. Уточнение схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р.Сырдарьи: Корректирующая записка / Ташкент: «Средазгипроводхлопок», 1983. – 124с.
4. Уточнение схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Амударьи: сводная записка / Ташкент: «Средазгипроводхлопок», 1984. – 372с.
5. Шульц В.Л. Гидрография Средней Азии / Ташкент: САГУ, 1958 – 117с.

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОДО ЛЬДОМ БАЙКАЛА

Гранин Н.Г., Блинов В.В., Гнатовский Р.Ю., Жданов А.А.,
 Козлов В.В., Кучер К.М., Асламов И.А.
 Иркутск, ЛИИ, ИСДТУ СЦ РАН, Иркутск, nick@lin.irk.ru

HYDROPHYSICAL PROCESSES UNDER THE ICE OF LAKE BAIKAL

Granin N.G., Blinov V.V., Gnatovsky R.Yu., Zhdanov A.A.,
 Kozlov V.V., Kucher K.M., Aslamov I.A.
 Irkutsk, LIN, ISDCT SB RAS, Irkutsk, nick@lin.irk.ru

В результате систематических зимних исследований на Байкале было установлено, что пространственные неоднородности прогрева озера способствуют генерации геострофических течений. Экспериментальные данные позволили создать модель динамики нарастания толщины льда. Установлены причины образования кольцевых структур на поверхности ледового покрова.

As a result of regular winter researches on Baikal it has been established that spatial to heterogeneity of warming up of lake promote generation of geostrophe currents. Experimental data have allowed to create model of dynamics of increase of a thickness of ice. The reasons of formation of ring structures on a surface of an ice cover are established.

Ледовый режим озера Байкал изучают с середины XIX века. Начиная с 30-х годов XX века, Байкальская Лимнологическая станция проводила подробные исследования процессов формирования и разрушения ледового покрова, форм образующегося льда. Материалы этих исследований обобщены В.М. Сокольниковым. В последние годы в рамках «Байкальского международного центра экологических исследований» при ЛИИ СО РАН при поддержке Королевского Общества Великобритании в течение 10 лет было изучено влияние гидрофизических условий на функционирование комплекса диатомового фитопланктона подо льдом.

Многолетние данные о характеристиках ледового покрова у пирса в п. Листвянка свидетельствуют о значительном снижении толщины льда, начиная со второй половины XX столетия (рис. 1). Уменьшение этой величины происходит со скоростью примерно 2.5 см за 10 лет. В начале XXI века отмечены резкие изменения максимальной толщины льда, что свидетельствует о наличии «экстремальных» по погодным условиям зим на фоне общего потепления. Наиболее ярким примером являются зимы 2001 и 2002 годов, когда толщина ледового покрова была более метра и около 50 см, соответственно.

По вертикальным профилям минерализации водной толщ озера и по толщине льда было рассчитано количество солей, выделяющихся при формировании ледового покрова Южного Байкала (см. табл.). Различия в потоках выделяющихся солей могут влиять на развитие диатомовых водорослей, поскольку последние сохраняются в подледном слое воды, благодаря поддержке, обеспечиваемой солевой конвекцией, которая генерируется за счет увеличения минерализации при нарастании ледового покрова [1].

Значительное влияние на скорость нарастания толщины ледового покрова и уровень проникающей под лед радиации оказывает пространственно-временная изменчивость заснеженности ледового покрова. Именно она определяет пространственную изменчивость стратификации деятельного слоя [2].

Изменение минерализации подледной воды и выделение солей за счет формирования ледового покрова в 2001 и 2002 гг.

Годы	Толщина льда, см	Изменение минерализации воды, г/м ²	Выделение солей при формировании ледового покрова, г/м ²
2001	106	80,9	79,3
2002	49	34,6	36,6

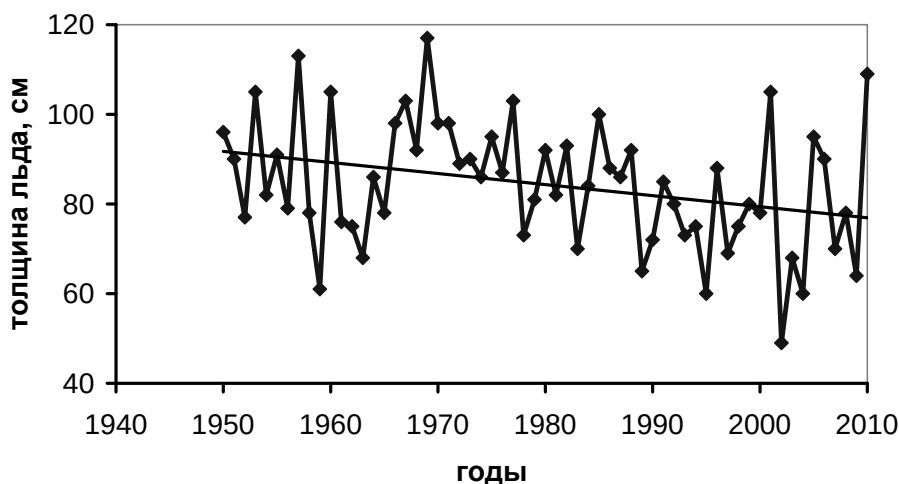


Рисунок 1. Изменения максимальной толщины ледового покрова у пирса в п. Листвянка, Южный Байкал.

Пространственные неоднородности прогрева озера способствуют генерации геострофических течений, скорость которых повышается в марте.

Неравномерный прогрев является причиной усиления течений в верхнем слое озера, в достаточно узких (шириной несколько километров) зонах, направленных вдоль границы снежного покрова. Этот процесс особенно важен в последний месяц перед вскрытием льда, так как может быть причиной появления тонкого льда и «пропарин», опасных для движения по льду. В 1996 году скорости течений вблизи границы заснеженности достигали 8.2 см/с [3]. Толщина льда в этом месте оказалась почти на 20 см меньше, чем в прилегающих районах озера. По заглублиению изотерм на разрезе через границу заснеженности была оценена геострофическая составляющая течений.

Систематические исследования льда Байкала, включающие непрерывный мониторинг его толщины совместно с измерениями метеорологических параметров, температуры в ледовом покрове и в подледном слое воды позволили получить данные, необходимые для разработки модели динамики толщины ледового покрова. Процессы роста, а также уменьшения толщины байкальского льда были описаны в рамках нелинейной многослойной модификации задачи Стефана для совокупности контактирующих сред «воздух – лед – вода» с существенно различающимися теплофизическими свойствами. Моделируемая система включает среду над ледовым покровом, толщу льда, пограничный водный микрослой на контакте с нижней поверхностью льда, ламинарный и турбулизированный слои подледной воды. Верификация и идентификация модели выполнены с использованием результатов инструментальных измерений. Данные одновременного мониторинга толщины ледового покрова, вертикальных профилей температуры в толще льда и в подледном слое воды позволили в рамках обратной задачи оценить величину коэффициента

теплопроводности, влияние проникающей радиации на суточный ход температуры, рассчитать потоки тепла в рассматриваемой системе. Результаты модельных экспериментов при разных значениях коэффициентов турбулентной теплопроводности в подледной воде согласуются с экспериментальными данными о пространственной изменчивости толщины ледового покрова в районе недавно обнаруженной кольцевой структуры, формирующейся на льду озера в процессе деградации льда.

В настоящее время спутниковые данные позволяют получать недоступную ранее информацию о состоянии ледового покрова по всей акватории Байкала. Снимки, сделанные из космоса, дают представление о формировании и разрушении ледового покрова. Они позволили обнаружить кольцевую структуру на поверхности льда в районе мыса Крестовский (Средний Байкал), образовавшуюся весной 2003 года. Анализ доступной спутниковой информации показал, что кольцевые структуры достаточно часто проявляются на поверхности льда озера перед его разрушением [4].

В 2009 г. подобные кольцевые структуры проявились в апреле в западной оконечности Южного Байкала и вблизи полуострова Святой Нос в Среднем Байкале (рис.2). Экспедиционные работы по изучению кольцевой структуры в западной части Южного Байкала позволили установить, что визуально лед в центре кольцевой структуры, на ее периферии и в районе «темного» кольца выглядел одинаково. Однако в районе «темного» кольца наблюдалось больше пропарин. Во время экспедиционного выезда на двух разрезах, пересекающих кольцевую структуру с севера на юг и с востока на запад, измеряли вертикальные профили температуры и электропроводности от поверхности до глубины 95 м с использованием CTD зонда SBE-19. На всех 19 станциях наблюдений измеряли толщину льда, отбирали и фотографировали керны льда. Фиксация направления и скорости перемещения трассеров подо льдом позволила получить информацию о подледных течениях.

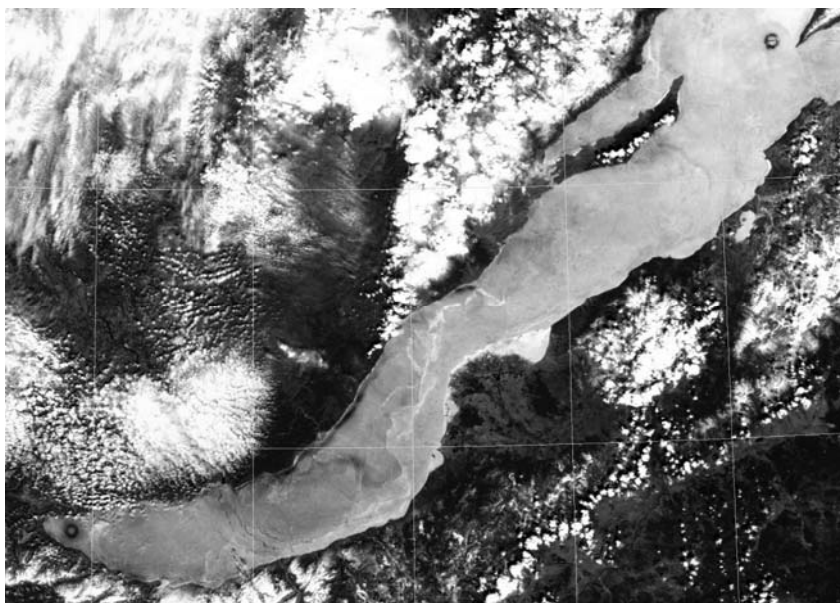


Рисунок 2. Кольцевые структуры на льду озера Байкал, апрель 2009 г.

Распределение температуры на разрезах свидетельствует о повышении подледной температуры более чем на $0,5^{\circ}\text{C}$ в центральной части кольцевой структуры. Толщина льда в районе работ изменялась от 37 до 74 см. Она была минимальной в южной части «темного кольца», на расстоянии 2 км от его центра. Несмотря на повышение температуры воды в центральной части кольцевой структуры, толщина льда здесь была близка к таковой за пределами структуры. Максимальные скорости течений зарегистрированы на расстоянии 2 км от центра структуры. Направ-

ление течений соответствовало антициклонической циркуляции. Вертикальное распределение температуры на разрезах, пересекающих кольцевую структуру, свидетельствует о заглублинии изотерм в центре структуры и, следовательно, о существовании геострофического антициклонического течения. Минимальные толщины ледового покрова отмечены в зоне максимальных течений.

Появление подобных кольцевых структур обусловлено генерацией круговых течений и, соответственно, уменьшением толщины льда в зоне их интенсификации. В зоне максимальных скоростей течений имеет место усиление вертикального обмена, которое ведет к уменьшению толщины и ускорению разрушения ледового покрова. На космических снимках видна круговая область, в которой толщина ледового покрова минимальна, лед более насыщен водой и наблюдается больше пропарин. Механизмом, обеспечивающим подъем вод, могут быть извержения грязевых вулканов, всплывание газовых гидратов или импульсные выходы больших объемов газа из донных отложений озера. Диаметр образующихся кольцевых структур определяется бароклинным радиусом деформации Россби.

Исследования последних лет показали, что на Байкале существуют глубоководные выходы газа, кроме этого обнаружены газовые гидраты в приповерхностном слое донных отложений, которые, при определенных условиях, могут всплывать и генерировать апвеллинги, и таким образом являются причиной образования колец.

Литература

1. Гранин Н.Г., Джусон Д., Гнатовский Р.Ю. и др. Турбулентное перемешивание вод озера Байкал в слое, непосредственно примыкающем ко льду, и его роль в развитии диатомовых водорослей // Докл. РАН. – 1999 – 366(6): 835-839.
2. Jewson D.H., Granin N.G., Zhdanov A.A., Gnatovsky R.Yu. Effect of snow depth on under-ice irradiance and growth of *Aulacoseira baicalensis* in Lake Baikal // Aquatic Ecology. – 2009; (43): 673-679.
3. Жданов А.А., Гранин Н.Г., Шимараев М.Н. Подледные течения Байкала (на основе новых экспериментальных данных). // География и природ. ресурсы. – 2002; (1): 79-83.
4. Гранин Н.Г. Окольцованный Байкал. // Наука из первых рук. – 2009; (3): 22-23.

РЕКОНСТРУКЦИИ ЕЖЕГОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И УРОВНЯ ГОРНЫХ ОЗЕР СИБИРИ ПО ГЕОХИМИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

*Калугин И.А., Дарьин А.В., Бабич В.В., Смолянинова Л.Г.,
Новосибирск, Институт геологии и минералогии СО РАН, ikalugin@uiggm.nsc.ru,
Вологина Е.Г., Иркутск, Институт земной коры СО РАН,
Птицын А.Б., Чита, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
Овчинников Д.В., Красноярск, Институт леса СО РАН,
Рогозин Д.Ю., Красноярск, Институт биофизики СО РАН*

RECONSTRUCTION OF CLIMATE AND LAKE LEVEL ANNUAL VARIABILITY FOR MOUNTAIN LAKES IN SIBERIA BY GEOCHEMISTRY OF BOTTOM SEDIMENTS

*Kalugin I.A., Daryin A.V., Babich V.V., Smolyaninova L.G.,
Novosibirsk, Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, ikalugin@uiggm.nsc.ru,
Vologina E.G., Irkutsk, Institute of Earth Crust SB RAS,
Ptitsyn A.B., Chita, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS,
Ovchinnikov D.V., Krasnoyarsk, Institute of Forest SB RAS,
Rogozin D.Yu., Krasnoyarsk, Institute of Biophysics SB RAS*

Анализ донных отложений Сибирских и Монгольских озер (Телецкое, Кучерлинское, Байкал, Шира, Арахлей, Телмен, Хотон-Нур) позволил реконструировать измеряемые параметры природной среды: температуру, количество атмосферных осадков, уровень озер, твердый сток, индекс прироста древесины, атмосферное давление, ветровой режим и т.д. на годичной шкале.

Study of bottom sediments from Siberian and Mongolian lakes (Teletskoye, Kucherla, Baikal, Shira, Arachlei, Telmen, and Hoton Nuur) allows reconstructing of measured environmental parameters such as air temperature, precipitation, lake level, runoff, tree ring growth index, pressure, wind direction and others on annual scale.

Высокоразрешающие реконструкции представляют собой временные ряды природных параметров на годичной шкале. Они пригодны для сравнения колебаний природной среды в прошлом с современными тенденциями в сопоставимом масштабе, давая, таким образом, возможность ближнего прогнозирования. В настоящее время исследования древесных колец, донных отложений озер и ледовых кернов дают согласованные реконструкции в континентальных районах Центральной Азии [4]. Озерные записи принципиально не ограничены по времени, их длина и детальность определяются уже техническими возможностями отбора и анализа керна. Современные методы субмиллиметрового анализа донных осадков позволяют получить исходные временные ряды содержания нескольких элементов, отражающих изменения среды [2]. Тем самым обеспечиваются необходимые условия для калибровки и вычисления эмпирических функций интересующих природных (целевых) параметров в зависимости от колебаний состава и свойств отложений. Схема количественной реконструкции, основанной на датировке осадочных слоев и калиброванной на интервале времени инструментальных измерений (calibration in time), состоит в следующем.

Исходные данные – элементный состав и рентгеновская плотность донных осадков, измеренные по керну *in situ* с шагом от 0.1 мм на стационарной установке РФА СИ в ИЯФ СО РАН [2]. Поддерживающими данными, проявляющими природу изменчивости элементного состава являются литологические, химические и физические характеристики, измеряемые, как правило, выборочно или в макропробах из нарезанного керна (с шагом 5-10 мм и более) [1, 3]. К ним относятся содержание влаги, углерода, азота, серы, валовый химический состав, рентгенофазовый минеральный состав, стабильные изотопы С и О, магнитная восприимчивость, гранулометрический состав, потери при прокаливании и др.

Построение временных рядов исходных данных – нормирование содержаний элементов, рентгеновской плотности, переход с линейной шкалы на временную через массовую скорость накопления с учетом плотности каждой пробы. Базовым условием для построений является корректная временная модель осадконакопления, которая создается по изотопным измерениям ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{14}C , по подсчету годовых слоев, по историческим сведениям о катастрофах и др. событиях, распознаваемых в осадках.

Инструментальные данные используются для калибровки т.н. трансферной функции для перевода геохимических данных в искомый (целевой) параметр. Обычно это помесечные и ежегодные временные ряды гидрометеорологических данных, взятые из литературных источников.

Калибровка – обучение с одинаковым предварительным сглаживанием исходных данных и инструментальных, в т.ч. климатических рядов. Результат – получение решающего правила, или трансферной функции, в виде уравнения множественной регрессии или более сложной функции с помощью искусственных нейронных сетей.

Построение реконструкции – экстраполяция решающего правила на всю длину измерений керна. Сравнение результатов, полученных разными методами. Проверка статистических гипотез о воспроизводимости и значимости (разброса) полученных результатов

Анализ периодичности и повторяемости – выявление трендов и периодических колебаний, в том числе на разных временных интервалах полной реконструкции: гармонический спектральный анализ, вейвлет-анализ, автокорреляция и др. Повторяемость событий, также как и обнаруженные периодичности служат для сопоставлений с другими территориями и для использования в моделях регионального и глобального климата.

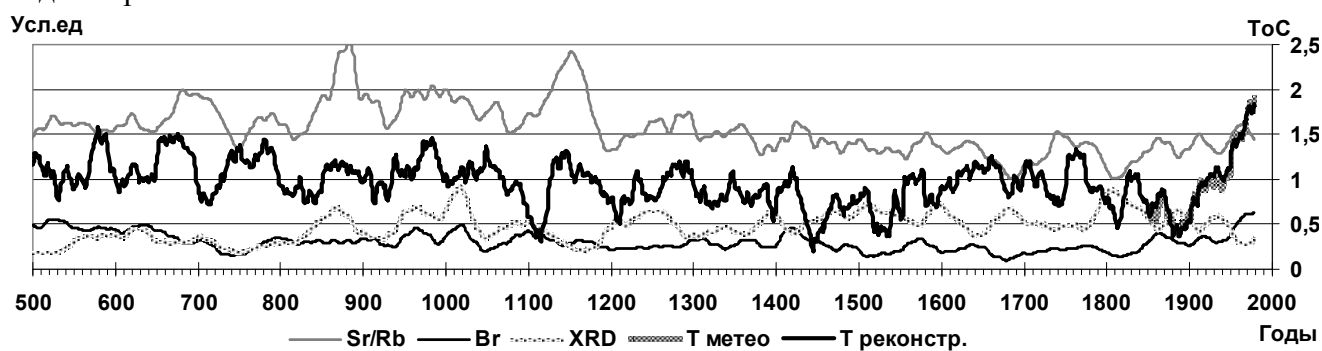


Рисунок 1. Реконструкция среднегодовой температуры воздуха (Т реконстр.) по донным осадкам Телецкого озера и исходные геохимические ряды (Sr/Rb, Br, XRD – рентгеновская плотность). Геохимические параметры осадка приведены в условных (нормированных) единицах.

Реконструкция годовых колебаний температуры приземного воздуха показана на примере донных осадков из глубоководной впадины Телецкого озера (Рис.1). Опробован керн станции Tel 02_04 с координатами 51° 42,9' СШ, 87° 39,5' ВД, глубина отбора 325 м. Шаг элементного анализа методом РФА СИ составил 0.2-1 мм. Для реконструкции палеотемпературы использовались

рентгеновская плотность осадка (XRD), Sr/Rb отношение и содержание Br. XRD отражает фоновый твердый сток реки Чулышман, дающей 70% водопритока в озеро. Sr/Rb отношение характеризует долю невыветрелой обломочной фракции в осадке и связано с температурой, определяющей динамику таяния снега в прибрежной высокогорной зоне. Содержание Br отражает биопродуктивность на водосборе и прямо связано с температурой [1]. Исходные данные были приведены к годичной временной шкале с использованием изотопных датировок по ^{137}Cs и ^{14}C (две точки 990 и 1600 лет до н.в.) и сглажены окном 25. Скорость осадконакопления принята в пределах 0,9-0,5 мм в год. Реконструкция выполнена методом искусственных нейронных сетей с обучением функции по метеоданным станции Барнаул за 1840-2004 гг.

Спектральный Фурье анализ сглаженного температурного профиля выявил периоды 336, 97, 70, 50 и 40 лет, а без сглаживания – также 33, 25, 20-22 года и более короткие периоды.

Корреляция исходных и реконструированных параметров показала значимый уровень связей (Табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции исходных и реконструированных параметров

	Sr/Rb	Br	XRD	Т метео*
Br	0,36	1		
XRD	-0,28	-0,39	1	
Т метео*	0,71	0,87	-0,84	1
Т реконстр	0,33	0,34	-0,42	0,98

Примечание. В полном ряду точек 1504, *для Т метео количество точек 126

По тем же исходным данным восстановлен уровневый режим Телецкого озера, контролирующий речной сток в верхнем течении р. Обь (Рис. 2). Принципиальная возможность использования одних и тех же аналитических данных для реконструкции различных параметров заключается в двойственной природе осадочной записи, контролируемой одновременно температурным и гидрологическим факторами [1].

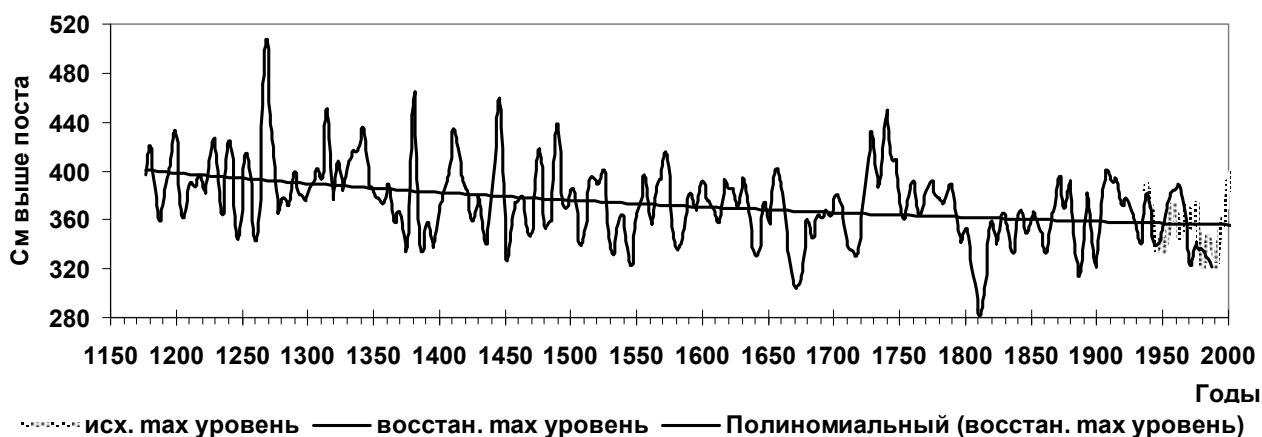


Рисунок 2. Реконструкция паводкового уровня Телецкого озера. Сглаживание окном 10. Вычислено уравнение множественной регрессии: тах уровень = $163,558\text{Sr/Rb} - 21,118\text{Br} - 861,436\text{XRD} + 317,58713$. Коэффициент корреляции с исходными данными на инструментальном интервале обучения 1930-2004 гг. $r = 0,50$

Спектральным анализом на уровневом профиле выявлены периоды 44, 35, 27, 23 и 16 лет.

Литература

1. *Калугин И.А., Гольдберг Е.Л., Федорин М.А., Дарьин А.В., Золотарев К.В., Воробьева С.С., Смолянинова Л.Г.* Высокора разрешающая хронология осадконакопления в Телецком озере за последние 800 лет - отклик на климатически обусловленные вариации твердого притока. Глава 6 в монографии “Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя Сибири”. Новосибирск. Изд-во Сиб. Отд. РАН. 2008. 373-405.
2. *A.V. Daryin, I.A. Kalugin, N.V. Maksimova, L.G. Smolyaninova, K.V. Zolotarev.* Use of a scanning XRF analysis on SR beams from VEPP-3 storage ring for research of core bottom sediments from Teletskoe Lake with the purpose of high resolution quantitative reconstruction of the last millennium paleoclimate. 2005. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 543 255–258.
3. *I. Kalugin, A. Daryin, L. Smolyaninova, A. Andreev, B. Diekmann, O. Khlystov.* 800 year long annual records of air temperature and precipitation over Southern Siberia inferred from high-resolution time-series of Teletskoye Lake sediments. Quaternary Research 67 (2007) 400-410
4. *M. Schwikowski, A. Eichler, I.Kalugin, D. Ovchinnikov, T. Papina,* Past climate variability in the Altai. PAGES News • Vol.17 • No 1 • January 2009. P. 44-45.

ЗАТОПЛЕНИЕ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ПОЛОВОДЬЯХ И ПАВОДКАХ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ ОБИ). СОПОСТАВЛЕНИЕ ПОДХОДОВ И МОДЕЛЕЙ

*Кошелев К.Б., Зиновьев А.Т., Шибких А.А., Голубева А.Б.
ИВЭП СО РАН, Барнаул, lgg-iwep@yandex.ru*

INUNDATION OF FLOODPLAIN AREAS AT HIGH WATER OF DIFFERENT INTENSITY (THE UPPER OB AS A CASE STUDY). COMPARISON OF APPROACHES AND MODELS

*Koshelev K.B., Zinoviev A.T., Shibkikh A.A., Golubeva A.B.
IWEP SB RAS, Barnaul, lgg-iwep@yandex.ru*

В докладе рассматриваются методические вопросы использования компьютерных моделей для оценки площадей затопления пойменных территорий для морфологически сложных участков рек. Приводятся примеры применения компьютерных моделей на основе одномерных и плановых уравнений Сен-Венана. Использование предлагаемых методов позволяет дать научно обоснованную оценку влияния антропогенного изменения морфологии руслового рельефа на затопление пойменных территорий.

The paper presents the methodical issues of computer models application for evaluation of floodplain areas at morphologically composite river sites. The examples of computer models use based on the one-dimensional and planned equation by Saint-Venan are given. The proposed methods make it possible to give a sound estimate of impact of man-made transformation of the channel relief morphology on inundation of floodplain lands.

Сосредоточение населения и материальных ценностей в долинах крупных рек создает постоянную угрозу социальных, экономических и экологических ущербов и ставит проблему обеспечения безопасности жизнедеятельности в условиях максимального стока. Весеннее повышение уровней воды в результате половодий или их подъем в результате дождевых паводков часто приводят к затоплению освоенных пойменных территорий. Научное обоснование строительства защитных инженерных сооружений, эффективность мер по своевременной эвакуации населения с затопляемых территорий во многом зависят как от своевременности прогнозов опасных уровней воды, так и точности прогнозов масштабов затопления пойменной территории при расходах малой обеспеченности.

При проектировании гидротехнических сооружений и расчете зон затопления в зависимости от объемов имеющейся информации (гидрологической, морфометрической и т.д.) по конкретному объекту и исследовательских задач можно использовать а) современные технологии компьютерного моделирования, основанные на решении уравнений мелкой вод, б) подходы на основе ГИС-технологий [1].

Авторами выполнены работы по развитию и использованию методов расчета площадей затопления для ряда водных объектов в Обь-Иртышском бассейне, в том числе на Верхней Оби. В докладе на конкретных примерах обсуждаются методические вопросы использования различных подходов для прогнозирования зон затопления при расходах малой обеспеченности. Рассматриваются результаты сопоставительных расчетов по затоплению пойменных территорий, выполненных разными методами.

В порядке увеличения сложности перечислим три используемых метода расчета: 1 – так называемое картографическое моделирование; 2 – решение нестационарных квазиодномерных (1DH) уравнений Сен-Венана; 3 – решение плановых уравнений (2DH) Сен-Венана. Каждый из перечисленных подходов имеет свою область применения. Картографический подход позволяет получить грубую, но зато очень быструю оценку, опираясь на информацию о рельефе речной долины. Решение системы одномерных уравнений, описывающей движение речного потока на длинных сравнительно узких слабо разветвленных участках рек, позволяет при наличии некоторого минимума эмпирической информации осуществить краткосрочный прогноз затопления протяженных участков пойменной территории. Решение плановых двумерных уравнений следует использовать для моделирования течений на отдельных ограниченных участках крупных рек со сложной морфологией.

Во всех используемых методах точность результатов вычислений в основном определяется точностью входной эмпирической информации. Важнейшей составной частью такой информации является цифровая модель рельефа (ЦМР). ЦМР речной долины можно условно разбить на две части – рельеф дна русла, постоянно покрытого водой, и рельеф прилегающего к руслу участка поймы. Если данные по пойменной части имеются в различных более или менее доступных источниках, то характеристики речного дна являются наименее изученными. Соответственно, возможности верификации компьютерной модели течения и достоверность результатов расчетов при малых расходах представляются наиболее проблематичными. Результаты численных экспериментов показали, что для создания ЦМР в целях прогнозирования площадей затопления нужно использовать для построения ЦМР пойменных территорий карты масштаба не мельче 1:25000. Для получения ЦМР рельефа дна при грубых оценках можно использовать лоцию. Естественно, что наиболее точные результаты дает использование результатов натурных измерений отметок высот. Для прогнозирования также необходимы данные наблюдений на гидрологических постах по расходам и уровням водной поверхности и сведения о шероховатости затапливаемой поверхности речной долины. Для участка реки между двумя водпостами можно оценить величину коэффициента шероховатости в предположении его малой изменчивости по длине рассматриваемого участка. Данные об уровне водной поверхности в начале расчетного участка являются избыточными для решения системы квазиодномерных уравнений, но их можно использовать для решения системы уравнений в том случае, когда коэффициент шероховатости является неизвестной величиной. В качестве примеров применения различных методов расчета рассмотрено затопление отдельных пойменных территорий на участке Верхней Оби у г. Барнаула.

Негативная гидрологическая ситуация на реке Обь в районе г. Барнаула обусловлена характером водного режима Оби как в течение года, так и в многолетних периодах. Ежегодное прохождение весенне-летних половодий и связанное с ними временное затопление прибрежных и пойменных территорий формирует частые (раз в 10-15 лет) экстремальные наводнения, носящие каждые 30-50 лет катастрофический характер (1937, 1969 годы). Одними из наиболее проблемных участков речной долины вблизи Барнаула являются постоянно подтапливаемые и затапливаемые территории поселков Затон и Ильича. Весеннее половодье 2010 г. с максимальным уровнем подъема воды 643 см над нулем графика водомерного поста вновь остро подняло проблему затопления п. Затон, в том числе вопросы по защите территории от наводнения, влиянию строительства нового автомобильного моста на увеличение ущербов от прохождения волны половодья и т.д.

Использование системы одномерных уравнений позволяет на основе информации с гидрологических постов р. Обь-с. Фоминское и р. Алей-г. Алейск с приемлемой точностью прогнозировать уровень водной поверхности в районе г. Барнаула. Даже полученные на основе сравнительно грубой ЦМР (построенной по современной лоцманской карте) результаты расчетов по 1DH-модели показывают ошибку в определении времени достижения максимального уровня воды менее суток. Погрешность расчета значения этого уровня - не более 0,5 м. Применение более

точной ЦМР русла увеличит точность расчета уровней воды и, возможно, поможет в повышении заблаговременности прогноза.

Расчеты показали, что для моделирования процесса затопления поселков Затон и Ильича в результате половодья целесообразно применять плановую (2DH) модель течения, поскольку для данных участков реки влияние морфологии рельефа поймы на структуру течения является значительным.

Для построения компьютерных моделей течения на данных участках реки Обь можно использовать различным способом построенную ЦМР участка речной долины. Естественно, наиболее точной является ЦМР, полученная с использованием актуальных крупномасштабной карты и лоции, или построенная по результатам проведения соответствующих геодезических изысканий. Численный эксперимент показал, что для получения предварительных оценок можно использовать данные космического зондирования. Открытым источником такой информации являются данные Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), в частности, полученные с использованием системы Google Earth. В дальнейшем, используя построенную таким образом ЦМР как базовую модель рельефа, можем с использованием упомянутых выше методов последовательно ее уточнять. Для проведения расчетов по затоплению п. Затон использовалась ЦМР, построенная по данным SRTM размером 15,55 км х 9,33 км с шагом 10 м. Моделирование участка реки вблизи п. Ильича проводилось с использованием ЦМР, полученной путем оцифровки карты масштаба 1:25000 и лоции в области размером 12,66 км х 8,29 км с шагом 10 м.

Для прогноза наводнений необходима информация о максимальных расходах различной обеспеченности. Используемая информация о расходах р. Оби у г. Барнаула приведена ниже в таблице. Расчет уровней различной обеспеченности в период половодья был выполнен с использованием программы «Гидростатистика» [2] (таблица 1) в соответствии со СП 33-01-2003 «Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик».

Таблица 1

Частота превышения расчетного уровня

	Обеспеченность					
Р (частота), %	1	5	10	25	50	70
Н (уровень), см	799.69	682,52	653.65	588.96	533.07	500.22

Уровни обеспеченностью более 70% в рассмотрение не принимались, т.к. они меньше опасного уровня воды у г. Барнаула (521 см) (таблица 2).

Таблица 2

Уровни воды при различных расходах.

Р, %	Уровень, см	Расход, м ³ /с
1	799.69	9800
5	682,52	6700
10	653.65	6300
25	588.96	5000
50	533.07	4500

Эмпирический коэффициент шероховатости в случаях больших рек часто полагают в русле равным 0,025, а на пойме – 0,05.

Построенная 2DH компьютерная модель течения на рассматриваемом участке позволяет также оценить влияние изменения рельефа речной долины вследствие антропогенного воздействия (в частности, в результате строительства нового автомобильного моста через р. Обь) на увеличение площади зоны затопления в районе п. Затон при половодьях различной обеспеченности. На

рисунке 1 представлены линии тока и глубины течения для расхода $3000 \text{ м}^3/\text{с}$, рассчитанные для случаев а) до строительства, б) после строительства автомобильного моста. Видно, что площадь затопления поймы при наличии моста значительно больше, а уровень водной поверхности в районе п. Затон при данном расходе приблизительно на 1 м превышает уровень поверхности воды до строительства моста.

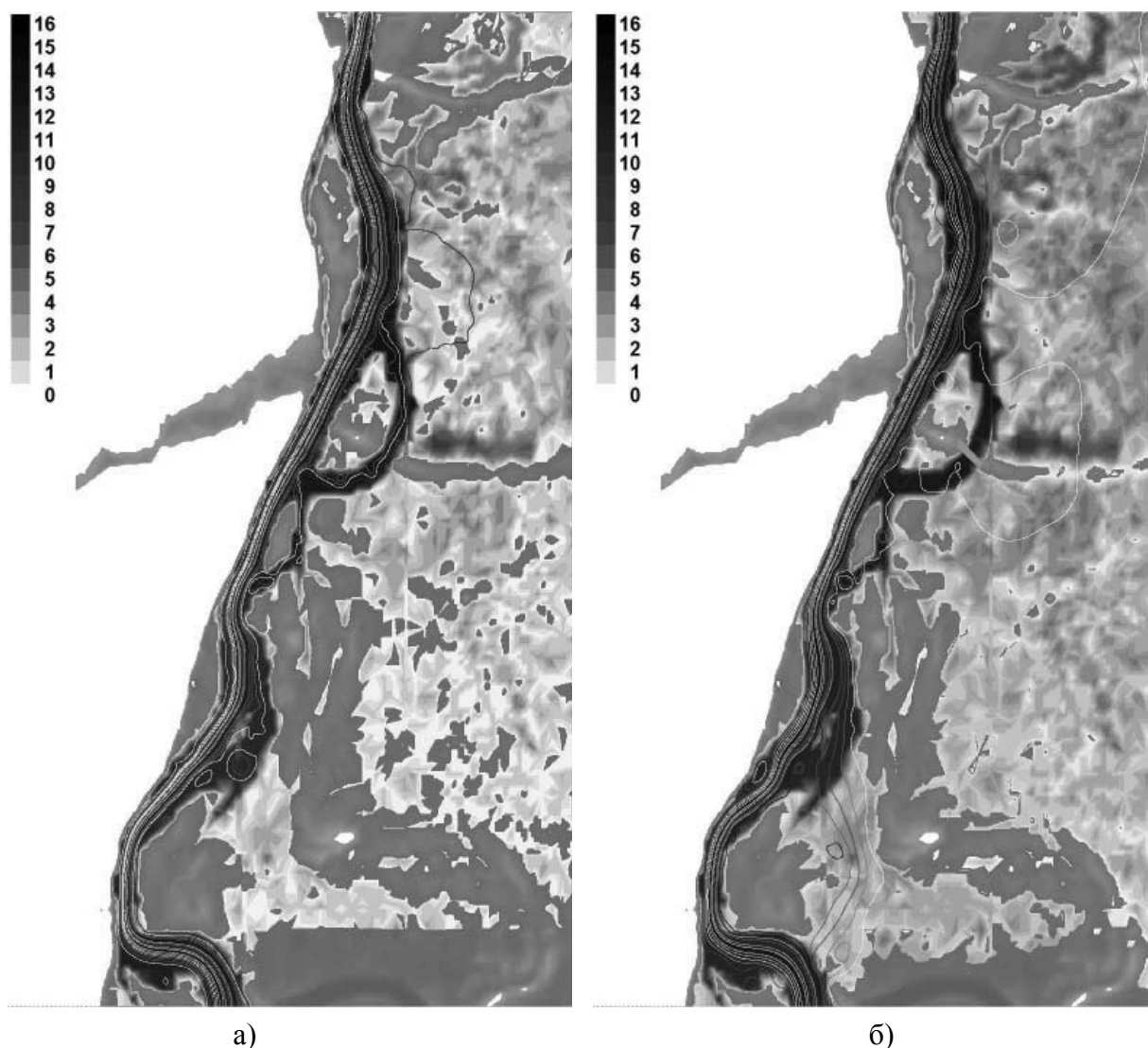


Рисунок 1. Рассчитанные линии тока и глубина воды участка р. Обь около г. Барнаула вблизи п. Затон при расходе $3000 \text{ м}^3/\text{с}$:

а) до строительства нового автомобильного моста, б) после строительства моста

Также выполнен расчет течения на участке р. Обь около п. Ильича для меженного и максимального (50% обеспеченности) расходов. При меженном расходе рельеф русла определяется только данными лоции. При данном расходе расчеты выявили достаточно большую разницу (около 0,5 м) в расчетном и измеренном уровнях водной поверхности у гидрологического поста р. Обь-г. Барнаул. Это подтверждает проблематичность использования только лоцманских карт при построении ЦМР русла для расчетов течений при малых расходах воды. Для расчетов течения при высоком расходе воды расхождение расчетного и измеренного уровней водной поверхности в районе водомерного поста составило менее 0,3 м. Уменьшение ошибки связано со значительно более точными картографическими данными для пойменной части рельефа рассматриваемого

участка реки и относительным уменьшение роли участка русла, высотные отметки которого заданы с погрешностями.

Этот пример наглядно демонстрирует, что только наличие качественной исходной информации о рельефе речной долины может быть серьезным основанием для привлечения сложных математических моделей с целью определения границ зон затопления. Для использования методов, основанных на решении уравнений Сен-Венана (1DH- и 2DH-модели) требуется много дополнительной информация: помимо точной ЦМР нужны сведения о расходах воды во входных створах, коэффициентах шероховатости, данные о структуре течения в выходном сечении (например, уклон водной поверхности или ее уровень) и др. При наличии только грубых ЦМР для предварительных оценок достаточно использовать метод картографического моделирования. Результат применения данного метода для ориентировочной оценки территории затопления п. Затон при расходах различной обеспеченности показан на рисунке 2.



Рисунок 2. Изолинии границ зон затопления в районе п. Затон для половодий различной обеспеченности

Работа выполнена в рамках Проекта СОРАН IV.31.2.12 «Разработка проблемно-ориентированных ГИС и информационно-моделирующих комплексов для изучения водных объектов Сибири на основе новых методов интеграции пространственных междисциплинарных данных».

Литература

1. Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т. Математическое моделирование русловых процессов с использованием ГИС-технологий для повышения социальной, экономической и экологической безопасности // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2008. - № 3. – С. 82-89.

1. Жоров В. А., Воробьев Е. К., Ловцкая О.В., Яковченко С. Г. Расчет аналитических кривых обеспеченности» («Гидростатистика»). Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 200060667. Заявка № 2000610563; дата поступления 13 июня 2000 г. Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 20.07.2000. – 1 с.

ЛЕДОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НИЖНИХ БЬЕФАХ ГЭС И ГИДРОУЗЛОВ. МОДЕЛИ, ПРОГНОЗЫ И ОЦЕНКИ

Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Кудишин А.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, lgg-iwep@yandex.ru

ICE-THERMAL PROCESSES IN THE TAIL WATER OF HPS AND WATER -ENGINEERING SYSTEMS: PREDICTION AND ASSESSMENT

Atavin A.A., Zinoviev A.T., Koshlev K.B., Kudishin A.V

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, lgg-iwep@yandex.ru

Для изучения водно-экологических последствий создания крупных водохранилищ в условиях Сибири используется IDH-модель гидроледотермических процессов на зарегулированном участке реки. На ее основе исследуется влияние строительства Эвенкийской ГЭС на ледотермический режим реки Нижняя Тунгуска на участке нижнего бьефа. Приведены результаты численных расчетов температуры воды и длины полыньи при разных расположениях створа плотины на разных этапах заполнения Эвенкийского водохранилища. На примере расчетов ледотермического режима действующего Новосибирского гидроузла рассматриваются вопросы точности применяемых для прогнозирования моделей.

One-dimensional horizontal model of hydroicothermal processes in the regulated river site is used for studying water-ecological consequences of large and deep-water reservoirs construction in Siberia. On the bases of this IDH model, the effects of Evenk HPS construction on the ice-thermal regime of R.Nizhnaya Tungus in the tail-water site are studied. The results of numerical calculations of water temperature and length of unfrozen patch of water under different position of a dam site at different stages of the Evenk reservoir filling are given. The accuracy of the applied prediction models is considered by the example of calculation of ice-thermal regime of the operating Novosibirsk water -engineering system.

Строительство высоконапорных ГЭС ведет к существенным изменениям гидрологического режима рек и показателей качества воды на участках водохранилищ и нижних бьефов [1-3]. Природные условия Сибири делают эти изменения еще более масштабными. Возобновление интереса к развитию гидроэнергетики в северо-восточных районах страны, реки которых имеют сложный ледовый режим, обусловленный суровыми климатическими условиями региона, определяет необходимость продолжения всестороннего изучения ледовых процессов на зарегулированных участках рек. К числу важных водохозяйственных и экологических аспектов крупных водохранилищ в условиях Сибири относятся вопросы прогнозирования состояния водной среды на зарегулированном участке реки ниже створа плотины. Изменения гидроледотермического режима зарегулированной реки приводят к появлению незамерзающей полыньи в нижних бьефах высоконапорных ГЭС, в летние месяцы снижается температура воды. Данные последствия воздействия гидростроительства на окружающую среду могут носить негативный характер и требуют предварительной оценки их масштабов и направленности. В частности, изменения ледотермического режима реки и условий газообмена существенно влияют на речную флору и фауну и самоочищающую способность реки [4].

Эти проблемы нашли свое отражение в вопросах, связанных с созданием Эвенкийского водохра-

нилища. Гидроузел планируется строить на р. Нижняя Тунгуска – правом притоке Енисея. Климат региона строительства резко континентальный; среднегодовая температура воздуха в районе строительства минус 8,5 °С, ее минимальные зимние значения - до минус 63 °С, максимальные летние – до плюс 37 °С. Строительство уникального водохранилища длиной 1200 км только по основному руслу реки и объемом 409 куб. км может вызвать серьезные специфические изменения ледотермического режима реки в нижнем бьефе. Рассматриваются два варианта положения створа плотины: 1 вариант – створ 120 км и 2 вариант – створ 59,5 км от устья р. Нижняя Тунгуска.

Для количественных оценок изменений ледотермического режима р. Нижняя Тунгуска использован пакет прикладных программ «Гидроледотермика-1ДН (Полынья)» [4], построенный на основе комплекса одномерных нестационарных моделей, включающего гидравлическую модель «мелкой воды» для описания движения речного потока с учетом наличия ледяного покрова, модель температурного режима реки, модель шугообразования, модели динамики толщины сплошного покрова льда и движения кромки льда

При построении компьютерной модели гидроледотермических процессов в нижнем бьефе Эвенкийской ГЭС использованы данные гидрологических наблюдений на рассматриваемом участке реки по водпосту факт. Большой Порог и данные метеорологических наблюдений по м.ст. факт. Большой Порог. Гидравлические параметры рассматриваемого участка р. Нижняя Тунгуска характеризуются в целом относительно небольшим уклоном водной поверхности $1,6 \cdot 10^{-4}$ и узким руслом. Большой гидравлический радиус речного потока в нижнем бьефе обуславливает достаточно высокие скорости течения, равные 1,5-2 м/с при расходе 3000 м³/с, и малый теплообмен с атмосферой.

Для расчетов взята метеорологическая информация для среднего по температурным условиям года. Объемы поступающей в нижний бьеф воды задавались в соответствии с графиками заполнения и проектной эксплуатации Эвенкийского водохранилища. Значения теплового стока из водохранилища определялись по результатам расчетов его многолетнего ледотермического режима [5].

Из результатов расчетов температуры воды в устье реки в период заполнения водохранилища следует, что максимальные летние температуры воды в устье реки с определенного момента заполнения водохранилища не превысят 6 °С. В естественных условиях дата перехода температуры воды весной через 0,2 °С по длине реки происходит в период с 13 по 28/V; осенью охлаждение реки на вторую декаду октября [Ресурсы ..., 1973]. При 1-м варианте положения створа плотины (120 км от устья) дата перехода температуры воды в устье реки через 0 °С весной придется на 1 декаду мая, а осенью – на конец ноября–начало декабря. Для 2-го варианта положения створа (59,5 км от устья) почти весь год, за исключением января и февраля, температура воды на участке нижнего бьефа будет выше температуры замерзания (0 °С). При этом максимальная температура воды в устье реки в летний период уменьшится на 15 °С (рисунок 1). Здесь и ниже по оси абсцисс указан текущий год с начала заполнения водохранилища.

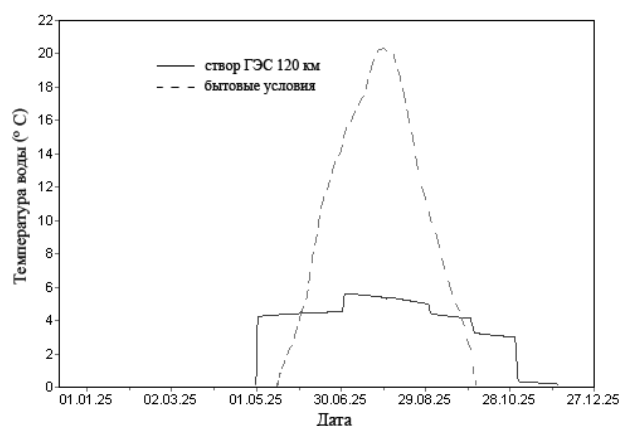


Рисунок 1. Температура воды в устье р. Нижняя Тунгуска. В бытовых условиях и при заполнении водохранилища. Створ плотины в 120 км от устья.

Согласно результатам расчетов, в зимние месяцы при заполнении водохранилища ниже створа плотины образуется полынья. На 2-3 годы заполнения водохранилища движение кромки сплошного ледяного покрова приобретет вид, показанный на рисунке 2. Минимальная длина полыньи для 1-го варианта положения створа плотины – около 45 км. При 2-м варианте положения створа зимой при заполнении водохранилища река будет замерзать только в районе устья. Если сравнивать с бытовыми условиями, то при 1-м положении створа плотины (120 км от устья) ледостав начнется на один месяц позже (начало декабря), а река освободится ото льда на месяц раньше (в начале мая) (рисунок 3).

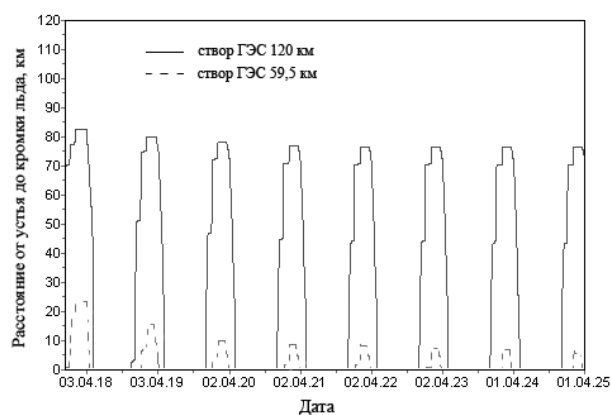


Рисунок 2. Замерзание р. Нижняя Тунгуска выше устья при заполнении водохранилища.

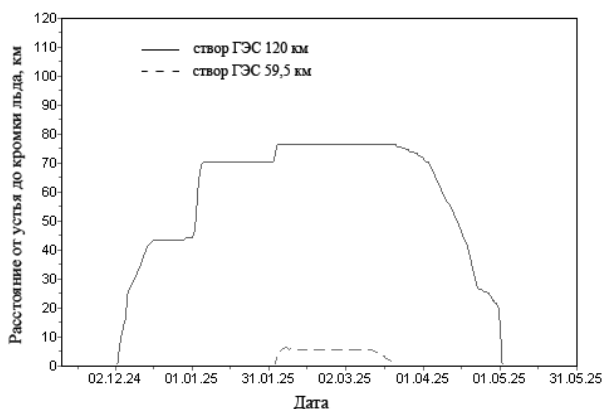


Рисунок 3. Замерзание р. Нижняя Тунгуска выше устья при заполнении водохранилища (детализация).

Прогнозируемые размеры полыньи в нижнем бьефе при заполнении водохранилища обусловлены низкими зимними расходами воды. После заполнения водохранилища увеличатся зимние расходы сбрасываемой в нижний бьеф воды и, соответственно, возрастут значения теплового стока. Река Нижняя Тунгуска на участке нижнего бьефа вплоть до устья замерзать не будет. Рассчитанные температуры воды в устье реки в течение зимы для двух положений створа плотины (НПУ 200 и 110 м БС) приведены на рисунке 6.

Таким образом, в процессе заполнения водохранилища в нижнем бьефе образуется полынья. По расчетам минимальная длина полыньи при расположении створа плотины в 120 км от устья – 45 км. При этом по сравнению с бытовыми условиями существенно сократятся сроки ледостава. Для расположения створа на 59,5 км от устья появление сплошного ледяного покрова прогнозируется только в районе устья. По сравнению с бытовыми условиями для створа 120 км существенно сократятся сроки ледостава в устье реки.

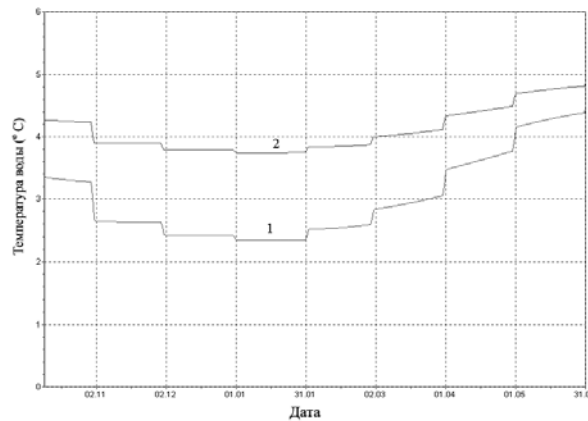


Рисунок 4. Прогноз температуры воды в устье р. Нижняя Тунгуска после заполнения водохранилища: 1 - створ 120 км; 2 – створ 59,5 км.

В режиме эксплуатации водохранилища участок р. Нижняя Тунгуска ниже плотины до устья реки будет свободен ото льда в течение всего года. После заполнения водохранилища при положении створа плотины в 120 км от устья положительные значения температуры воды в устье р. Нижняя Тунгуска в пределах 2-3 °С в зимние месяцы определяют наличие полыньи вдоль правого берега р. Енисей ниже устья Нижней Тунгуски. Однако тяжелых последствий в месте сопряжения Нижней Тунгуски с Енисеем ожидать не следует. Прежде всего, потому, что соотношение расходов Нижней Тунгуски и Енисея при их слиянии равно 1 к 7. Можно считать, что вода Нижней Тунгуски будет выходить вдоль правого берега Енисея ниже Туруханска и формировать струю на 1/7 ширины Енисея. Все ледовые затруднения будут приурочены к этой зоне. При положении створа плотины в 120 км от устья следует ожидать появление полыньи вдоль правого берега р. Енисей размером 20-40 км. При положении створа плотины на 59,5 км от устья длина полыньи будет примерно в 1,5 раза больше.

Для прогноза гидротермических процессов на зарегулированном участке реки Н.Тунгуска в районе нижнего бьефа ЭГЭС использована компьютерная 1ДН-ледотермическая модель на основе комплекса одномерных (продольных) математических моделей теплопереноса. При необходимости более детального изучения ледотермических процессов и наличии соответствующей морфометрической информации могут быть построены компьютерные 2ДН-модели на основе двумерных (плановых) уравнений. Сопоставительный анализ результатов расчетов по этим моделям позволяет оценить точность используемого для прогнозов 1ДН-приближения. Такой анализ был выполнен на результатах расчетов температурного режима участка р. Обь в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС по 1ДН- и 2ДН-моделям на одном и том же массиве гидрологических и метеорологических данных. При выполнении сопоставительных расчетов по 1ДН- и 2ДН-моделям для задания входной морфометрической информации использовалась ЦМР русла реки в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла.

Для построения компьютерной 2ДН-модели разработаны численные конечно-разностные схемы второго порядка точности по пространственным и временным переменным. Численная реализация плановой задачи позволяет проводить расчеты с общим количеством ячеек пространственной области более миллиона. Для моделирования течения на рассматриваемом участке реки использовалась пространственная сетка 1200*1600 с шагом 20 м.

По двум компьютерным моделям (1ДН- и 2ДН-) рассчитаны квазистационарные гидротермические режимы участка реки Обь в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС; получены распределения скорости течения, глубины и температуры воды. Проведенное сравнение показало удовлетво-

рительное совпадение численных результатов по интегральным характеристикам. Отмечено наличие заметных локальных расхождений в областях рециркуляционных зон. Анализ результатов сопоставительных расчетов позволяет говорить о приемлемой точности выполненных по 1ДН-модели расчетов ледотермического режима нижнего бьефа Эвенкийской ГЭС.

Литература

1. Готлиб Я.Л., Донченко Р.В., Пехович А.И., Соколов И.И. Лед в водохранилищах и нижних бьефах ГЭС. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 200 с.
2. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
3. Бузин В.А., Зиновьев А.Т. Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах. Методы математического моделирования и опыт их реализации для практических целей (обзор современного состояния проблемы). – Барнаул: Изд-во ООО «Пять плюс», 2009. – 168 с.
4. Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). - Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 152 с.
5. Зиновьев А.Т., Кудишин А.В., Атавин А.А. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006611428 «Гидроледотермика-1ДН (Полынья) // Заявка № 2006610634. Дата поступления 03.03.06. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 26.04.06.
6. Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б. Численный прогноз качества воды в водохранилище Эвенкийской ГЭС / А.Т. Зиновьев, К.Б. Кошелев // Мир науки, культуры, образования. – 2009. - № 2 (14). – С. 33-35.

АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ

Мирошник Н.В.

г. Ханты-Мансийск, Филиал ФГУ «ЦЛАТИ по Уральскому ФО» по ХМАО,

e-mail: mira_nv@mail.ru

ANTHROPOGENOUS FACTORS OF FORMATION OF A CHEMICAL COMPOUND OF A SURFACE WATER HUNTS-MANSIJSKOGO OF AUTONOMOUS REGION – JUGRY

Miroshnik N.V.

Khanty-Mansiysk, Branch of federal state establishment "The Center of the laboratory analysis and technical measurements" on the Ural federal district on Khanty-Mansiysk,

e-mail: mira_nv@mail.ru

В статье рассмотрены некоторые антропогенные факторы формирования химического состава поверхностных вод и представлены данные экологического мониторинга о загрязнении водосборных бассейнов на территории Югры.

The article deals with some man-made factors of the chemical composition of surface water and provides data environmental monitoring of pollution of watersheds in the territory of Ugra.

Особенности химического состава и анализ состояния водных объектов на территории Югры отражены во многих работах (Д.В. Московченко и др., 2007; Е.Г. Нечаева, 2003; А.Г. Бабушкин и др., 2007; Е.А. Шорникова, 2006). Результаты исследований свидетельствуют о том, что проблемы водных ресурсов на севере Западной Сибири стоят весьма остро. В отличие от южных регионов, где существует недостаток воды, в Ханты-Мансийском автономном округе - Югре главной проблемой является низкое качество поверхностных вод, несоответствие их экологическим нормативам по ряду параметров. Реки автономного округа характеризуются значительными концентрациями углеводов, хлоридов и некоторых тяжелых металлов. Основными факторами, негативно влияющими на состояние поверхностных вод, является воздействие жилищно-коммунального хозяйства и нефтегазодобывающего комплекса.

Одной из причин неблагоприятного экологического состояния водных объектов является низкий уровень решения проблем эффективной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод. Так, в 2009 году из централизованной системы водоотведения в водные объекты автономного округа было сброшено 117,3 млн. м³ сточных вод, из них более 27% сточных вод ненормативного качества [2]. Существующая в округе система очистки сточных вод сегодня не справляется с объемами. Это связано с высокой степенью износа сооружений и технологического оборудования, а также с несоответствием спроектированных сооружений качеству и объему очищаемых сточных вод. Именно поэтому около 70% очистных сооружений в настоящее время являются неэффективными.

Велика доля сброса сточных вод, поступающих без очистки, в поверхностные воды от объектов нефтедобычи. По отчетным данным недропользователей в 2008 г. объем водоотведения составил около 4,8 млн. м³, из них приблизительно 250 тыс. м³ сточных вод, сброшенных без очистки. Причем наибольшее количество таких сбросов приходится на Нижневартовский район [4].

Помимо загрязнения рек и озер сточными водами, ситуацию осложняют аварийные разливы нефти, обусловленные большой протяженностью и низкой технической надежностью внутри- и межпромысловых нефтяных и водоводных линий. Динамика аварийности за 10-летний период демонстрирует стабильный рост аварийных случаев на нефтепромыслах и магистральных трубопроводных системах. По данным Департамента охраны окружающей среды и экологической безопасности ХМАО-Югры наибольшее количество аварий и площадь загрязнения были зарегистрированы в 2007 году. Значительная масса загрязняющих веществ, попавших в окружающую среду, отмечается в 2005 г. – более 27 тыс. тонн и в 2006 г. – более 20 тыс. тонн (таблица) [5].

Таблица

Аварийность на нефтепромыслах Ханты-Мансийского автономного округа - Югры

Годы	Количество аварий, шт.	Площадь загрязнения, га	Масса загрязняющих веществ, тонн
1998 г.	1633	149,9	9877,5
1999 г.	1585	58,15	2112,01
2000 г.	1412	166,7	6712,9
2001 г.	1598	437,8	1638,4
2002 г.	1771	72,2	2499,4
2003 г.	2235	167,1	2188,3
2004 г.	3631	218,1	14233,4
2005 г.	4311	256,2	27906,8
2006 г.	4718	285,7	20173,2
2007 г.	5480	890,9	10381,4
2008 г.	5007	294,7	5622,8
2009 г.	4797	229,6	5781,4

Высокий уровень аварийности наблюдается на месторождениях ООО «РН-Юганскнефтегаз», ОАО «Томскнефть ВНК» и ОАО «Самотлорнефтегаз». Основной причиной нефтеразливов в большинстве случаев является коррозия труб (около 98%).

Территориально наиболее подвержены загрязнению нефтью и минерализованной водой Нижневартовский, Сургутский и Нефтеюганский районы. Именно на эти административные районы приходится наибольшее количество лицензионных участков по добыче углеводородного сырья и самая высокая техногенная нагрузка на экосистемы. Согласно бассейновой организации территории часть районов приурочена к Пимскому, Аганскому и Салымскому водосборным бассейнам. Полученные данные по результатам локального экологического мониторинга лицензионных участков в 2006-2008 гг. в границах указанных бассейнов отражают сложную гидроэкологическую ситуацию и фиксируют превышения по некоторым загрязняющим веществам, в частности, по содержанию аммонийного азота, нефтепродуктов, хлоридов, железа и марганца.

Анализ проб по содержанию аммонийного азота в водах Аганского, Пимского и Салымского бассейнов показал, что превышение предельно допустимой концентрации для рыбохозяйственных водоемов (далее ПДК_{вр}) – 0,5 мг/дм³ отмечается в 51,2% исследованных образцов. Максимальные значения концентрации загрязняющего вещества выявлены в реках: р. Кинчях (11,2 ПДК_{вр}), р. Пывьях (14,2 ПДК_{вр}), р. Рязанский Еган (12,3 ПДК_{вр}) и р. Пим (10,2 ПДК_{вр}). Повышенные концентрации соединений азота в таежных реках могут быть связаны с особенностями почвенно-геохимических процессов данной территории. Также высокое его содержание может объясняться загрязнением вод бытовыми стоками. Подтверждением сказанному является обнаружение значительных концентраций ионов аммония в поверхностных водах вблизи населенных пунктов: г. Нефтеюганск, поселков Болчары, Лемпино, Шапша, Салым, Угут и др. [1].

Содержание железа и марганца повышено во всех исследуемых водосборных бассейнах. Средние значения концентрации железа превышают норматив от 9,3 (Пимский бассейн) до 28,3 ПДК_{вр}

(Салымский бассейн), а марганца от 2,9 (Пимский бассейн) до 283 ПДК_{вр} (Салымский бассейн). Подобные значения, как отмечают Д.В. Московченко и др. (2007) являются нормой и связаны с природными ландшафтно-геохимическими условиями - высокой подвижностью железа в условиях кислой среды и контрастных окислительно-восстановительных условиях таежных почв [3].

Уровень концентрации углеводородов в водных объектах за исследуемый период отличался высокой изменчивостью, средние значения показателя составили 0,03-0,25 мг/дм³. Для Аганского и Салымского бассейнов характерно распределение большинства проб в интервалах <0,05 мг/дм³ и 0,05-0,1 мг/дм³, тогда как в Пимском бассейне максимальное количество образцов в 2006-2007 гг. приходится на диапазон 0,15-0,2 мг/дм³.

Как отмечают многие исследователи, высокий уровень нефтяных углеводородов в поверхностных водах ХМАО-Югры обусловлен как природными, так и техногенными факторами. Отсутствие регионального норматива по содержанию нефтепродуктов вызывает трудности в определении порогового значения между природными и техногенными факторами формирования состава поверхностных вод и не позволяет сделать однозначный вывод об источниках загрязнения. В работе А.Г. Бабушкина и др. (2007) при определении уровня концентрации углеводородов в природных водах округа, обусловленного антропогенными факторами, использовались методы математической статистики. Так при расчете среднеквадратичного отклонения был сделан вывод о том, что при концентрациях, превышающих ПДК_{вр} в 9 раз и более, поступление нефтепродуктов в реки связано с фактором аварийности на объектах нефтедобычи [1].

Согласно данным расчетам, антропогенное загрязнение имеют некоторые водные объекты Аганского и Салымского бассейнов, в частности, р. Ван-Еган, р. Вандрас, р. Большой Салым, р. Малый Салым, р. Ай-Тыкипонымьга, р. Малый Валысьях.

Особую актуальность имеет исследование содержания хлоридов вследствие того, что ионы хлора являются индикаторами поступления минерализованных пластовых вод при бурении.

Анализ концентрации хлоридов показал, что относительно стабильная ситуация наблюдается на территории Пимского бассейна, здесь все пробы воды находились в пределах нормы. Ухудшилась ситуация в Салымском бассейне, где в 2008 г. зафиксировано превышение норматива в 1,2-1,3 раза на р. Малый Салым и р. Малый Валысьях, протекающих по территории Приразломного месторождения. Высокий уровень солевого загрязнения наблюдается в водах Аганского бассейна, где концентрация хлоридов в некоторых образцах достигала 5,3 ПДК_{вр}. Полученные результаты могут свидетельствовать о техногенной причине загрязнения водотоков.

Таким образом, оценка гидроэкологической ситуации некоторых водосборных бассейнов позволяет сделать вывод о существенном влиянии антропогенных факторов на химический состав поверхностных вод территории Югры.

Литература

1. Бабушкин А.Г. Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / А.Г. Бабушкин, Д.В. Московченко, С.В. Пикунов. – Новосибирск: Наука. – 2007. – 152 с.
2. Водоснабжение и водоотведение / www.admhmao.ru/socium/gkh/index.htm
3. Московченко Д.В., Пуртов В.А., Завьялова И.В. Гидрохимическая характеристика водосборных бассейнов Ханты-Мансийского автономного округа // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2007. – №8. – С. 141-148.
4. Отчет о техногенной нагрузке нефтедобывающих предприятий на окружающую среду за 2008 год / www.admhmao.ru/socium/ekologiya/tehnno_2008
5. Природопользование и охрана окружающей среды / www.admhmao.ru/socium/ekologiya/frame.htm

ГЕОИНФОРМАЦИОННО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БАСЕЙНА ОБИ: ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ

Ротанова И.Н., Ведухина В.Г., Кузник Я.Э.
ИВЭП СО РАН, Барнаул, rotanova@iwep.asu.ru

GEOINFORMATION-CARTOGRAPHICAL HYDROECOLOGICAL ANALYSIS OF THE OB BASIN: ISSUES AND APPROACHES

Rotanova I.N., Vedukhina V.G., Kuznyak Ya.E.
IWEPS SB RAS, Barnaul, rotanova@iwep.asu.ru

Геоинформационно-картографический гидроэкологический анализ бассейна Оби включает несколько основных направлений и позволяет решать информационно-справочные и аналитико-оценочные задачи при изучении состояния водных объектов в системе «водные объекты – водосборные бассейны – антропогенное воздействие – водно-экологические проблемы – гидроэкологическая безопасность». Для выполнения пространственного анализа создаются водно-экологические карты на основе данных тематических блоков ГИС. Основные проблемы при выполнении анализа связаны с наличием информации и методиками ее обработки. Элементы анализа реализованы на примере рек Обского бассейна.

Geoinformation-cartographical hydroecological analysis of the Ob basin involves a number of basic lines and allows the solution of information-reference and analytical-evaluating problems when studying water objects in “water objects – catchment areas – anthropogenic impact – water-ecological problems – hydroecological safety” system. To carry out the spatial analysis the water-ecological maps are constructed using the data from the GIS thematic blocks. Here, the major problems are associated with the availability of information and the processing techniques. The analysis elements are implemented on the Ob basin rivers as a case study.

Геоинформационно-картографический гидроэкологический анализ включает ряд основных направлений, таких как: анализ антропогенной нагрузки на водные объекты и их водосборные бассейны, анализ условий и факторов самоочищения поверхностных вод и условий выноса загрязняющих веществ с водосборных территорий в водные объекты, анализ водоохранных мероприятий и организации водопользования и др. Названные направления в комплексе позволяют решать информационно-справочные и аналитико-оценочные задачи при изучении гидроэкологического состояния водных объектов в системе «водные объекты – водосборные бассейны – антропогенное воздействие – водно-экологические проблемы – гидроэкологическая безопасность». В основу геоинформационно-картографического гидроэкологического анализа (ГЭА) положены единый методологический подход к созданию водно-экологических карт с учетом научного обобщения существующего опыта, объектно-картографическая структура организации геопространственных данных, тематический контент водно-экологических блоков ГИС. Методологический подход определяется не только уровнем научного знания в области гидроэкологических проблем и программно-технического потенциала, но и значительной доступностью визуального восприятия человеком информации в наглядном изображении, в сочетании с атрибутивными данными дающего возможность пространственного анализа

территориальных структур различного рода, в том числе водно-бассейновых структур. Основопологающим при этом является выбор объекта и субъекта, целевой ориентации; критериев объективности информации; преимущества тематического содержания картографических материалов, используемых при ГЭА. Так, при разработке легенд, структуры и содержания карт первоначально определяются основные природно-антропогенные факторы формирования гидроэкологической обстановки, которые включают характеристики физико-географических особенностей территории, показатели по источникам прямого и опосредованного воздействия на поверхностные воды, нормативы, регламентирующие процессы выноса загрязняющих веществ в водные объекты, параметры условий самоочищения поверхностных вод и т.д. Для ГЭА используются данные стационарных наблюдений и экспедиционных исследований, которые затем обрабатываются в соответствии со стандартными или авторскими методиками. Данные анализируются с применением различных моделей обработки информации. Такой подход, основанный на комбинации нескольких источников информации и способов ее обработки, связан, в частности, с сокращением сети стационарных гидрологических и гидрохимических постов регулярных наблюдений, эпизодической периодичностью экспедиционных обследований, несовершенством используемых математико-картографических моделей. Применение методов интерполяции и экстраполяции для геоинформационно-картографического анализа и визуализации информации неизбежно связано с принятием определенных ограничительных условий и допусков, связанных с репрезентативностью обеспечения объекта ГЭА геопространственными данными. Методика геоинформационно-картографического ГЭА включает, в первую очередь, выбор основных показателей для создания карт. Картографические материалы ГЭА подразделяют на ситуационные (аналитико-инвентаризационные), оперативные, оценочные (проблемные) и прогнозно-рекомендательные.

В настоящее время для территории бассейна Оби на основе метода объектно-картографической организации информации созданы тематические базы данных, а также фонд картографических материалов (в растровом и векторном форматах), содержащие значительные по объему статистические, эмпирические, фактические сведения, позволяющие охарактеризовать и оценить состояние водных объектов обширного региона на разном уровне детальности. Тем самым создана основа для проведения геоинформационно-картографического ГЭА.

Обской бассейн объединяет территории с различной орографией и обширным биоклиматическим разнообразием. Сложность строения водосборной поверхности требует дифференцированного подхода к изучению и оценке условий формирования стока и учету всех особенностей пространственной структуры территории. Поэтому при выборе единиц (объектов) ГЭА учитываются принципы их приемлемой представительности. В качестве единиц ГЭА могут быть приняты как ареалы в естественно-природных границах (речной бассейн, физико-географическая/ландшафтная дифференциация), так и в административно-территориальном делении (муниципальные образования, областное деление и др.). Непременным условием при выборе единиц ГЭА является их востребованность в практическом отношении и репрезентативность. Этим качествам отвечают гидрографические и водохозяйственные единицы (объекты), согласованные с Водным реестром [1, 2]. Так, границы гидрографических единиц проходят по водоразделам речных бассейнов – географической границе между смежными водосборами. Картограммы гидрографического районирования служат основой для составления схем размещения постов государственного мониторинга в Обском бассейне – гидрологического, гидрохимического и метеорологического [1]. Для оценки воздействия на водные объекты используются водохозяйственные единицы. Таковыми служат водохозяйственный район/участок – часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить параметры использования водного объекта [2]. Выделение водохозяйственных участков основано

на гидрографо-географическом и экономико-географическом подходах к районированию территорий. Бассейново-ландшафтный подход обеспечивает выявление прямых и косвенных связей при воздействии на водные объекты, а также анализ водных проблем, возникающих при водопользовании, на региональном и локальном уровнях ГЭА.

Гидрографические и водохозяйственные единицы иерархично структурированы. Так, главными реками приняты Обь и Иртыш. Согласно ряду критериев определены реки, входящие в категории больших (Тобол, Ишим, Чулым, Северная Сосьва, Кеть, Тавда, Тура, Вах, Конда, Томь, Васюган, Катунь, Исеть, Омь, Бия – всего 15), а также средних и малых, которых значительно больше.

На региональном уровне ГЭА выполняется на основе карт региональной физико-географической структуры (уровень гидрографических единиц главных и больших рек). На территорию Обского бассейна имеется схема физико-географического районирования [3], которая положена в основу анализа фонового качества поверхностных вод.

Созданное геоинформационно-картографическое среднемасштабное ландшафтное обеспечение, включающее соответствующие базы тематических атрибутивных данных, содержит количественные аналитические показатели для оценки и ранжирования по антропогенной нагрузке на водные объекты и их водосборные бассейны, по потенциалу выноса загрязняющих веществ в водные объекты и т.д. с созданием карт соответствующего содержания. В основу ландшафтно-водноэкологических построений положен кластерный анализ и группировка ландшафтов по гидрографическим, гидрометрическим, морфометрическим характеристикам, сведениям о степени эродированности почв, залесенности, типам водного и геохимического режимов, условиям самоочищения вод, дренированности, преобладанию выноса или аккумуляции подвижных химических элементов, уровню техногенного воздействия и пр. Принятый подход позволяет проводить комплексный ландшафтно-ГЭА с целью выделения бассейновых структур водных объектов с наиболее острой водно-экологической обстановкой. Он представляет собой алгоритм и методику среднемасштабного водно-экологического картографирования. Его реализация осуществлена в серии карт на модельный бассейн р. Алей, в качестве единиц картографирования взяты бассейны (подбассейны) 25-ти его притоков. Результаты исследования позволили сформулировать принципы создания комплексной картографической модели территориальных систем с позиций иерархической схемы ландшафтной организации и водной составляющей [4, 5].

Ситуационные карты в системе ГЭА представляют собой комплект, включающий топографическую основу, ландшафтную карту, карту фоновых параметров качества воды, карты водохозяйственного районирования и т.д. Содержание оценочных карт отражает синтезированное преобразование данных ситуационных карт, показывая пространственные особенности оценки антропогенного воздействия на поверхностные воды и природные условия выноса загрязняющих веществ с территории водосбора в водные объекты и т.д. Данный комплект включает: карты антропогенной преобразованности водосборных территорий; карты экологического состояния водных объектов и др. Оценочные карты наиболее полно представлены для бассейнов рек Томь и Алей.

Объектом крупномасштабного ГЭА являются поверхностные и подземные воды в административных границах населенных пунктов или в границах бассейнов малых рек. Для урбанизированных территорий на примере г. Барнаула созданы базы данных двух классов: адресно-инвентаризационного и показателей для оценки качества поверхностных вод. Разработанные карты вошли в Научно-справочный атлас г. Барнаула [6].

Геоинформационно-картографическое обеспечение ГЭА, визуализирующее оценку состояния водных объектов, является не просто набором картографических произведений, а проблемно-ориентированной ГИС, обеспечивающей отображение отдельных показателей и пространственный анализ. Оно рассматривается как элемент системы поддержки принятия управленческих

водохозяйственных решений в Обском бассейне. Создание ГИС, цифровое картографирование отнесены к фундаментально значимым мероприятиям при разработке комплексных программ и систем экологического мониторинга, направленных на сохранение и восстановление водных объектов, обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственных систем и достижение целевых показателей по предотвращению негативного воздействия вод. Данный подход связан с необходимостью обеспечения единства, системности и непрерывности информационного пространства в сфере водопользования и водоохраных мероприятий.

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 09-05-00920.

Литература

1. Приказ МПР России от 25.04.2007 № 112. Об утверждении Методики гидрографического районирования территории РФ, зарегистрирован Минюстом России 23.05.2007, регистрационный № 9538.
2. Методика водохозяйственного районирования территории РФ (утв. приказом МПР РФ от 25.04.2007 г. № 111).
3. Винокуров Ю.И., Цимбaley Ю.М. Региональная ландшафтная структура Сибири: монография. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2006.
4. Ротанова И.Н., Вагнер А.А., Ведухина В.Г., Цимбaley Ю.М. Гидроморфно-экологический анализ бассейново-ландшафтной системы. // Проблемы региональной экологии. 2008. - № 6. – С. 27-33.
5. Ротанова И.Н., Ведухина В.Г., Цимбaley Ю.М. Водно-экологическое картографирование на основе ГИС-технологий // Мир науки, культуры, образования. – 2009. № 2 (14). – С. 23-26.
6. Барнаул. Научно-справочный атлас. – Изд. второе, испр., ФГУП «ПО Инжгеодезия» Роскартографии. Новосибирск, 2007.

ОЦЕНКА ВЫНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ВОДОСБОРА РЕКИ ОБИ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА

Семенова И.В.¹, Коноплев А.В.¹, Попов В.Е.¹

Марков М.Л.²

¹г. Обнинск, ГУ «НПО «Тайфун», irina.semenova@gmail.com,

²г. Санкт-Петербург, ГУ «ГГИ»

ASSESSMENT OF THE CONTAMINANTS WASH-OFF FROM THE WATERSHEDS OF THE RIVER OB' UNDER THE POSSIBLE CLIMATE CHANGES

Semenova I.V.¹, Konoplev A.V.¹, Popov V.E.¹

Markov M.L.²

¹Obninsk, State Institution "Research Production Association "Typhoon",

irina.semenova@gmail.com

²St Petersburg, State Institution "State Hydrological Institute "

Разработана методика прогноза изменений смыва загрязняющих веществ и проведена оценка их выноса с водосбора реки Оби под влиянием возможных изменений климата в будущем.

The methodology for predicting the wash-off of contaminants was developed and their transport from the rivers Ob' under the possible future climate changes was estimated.

Река Обь – одна из крупнейших рек в мире, занимает первое место в России по водосборной площади и третье по стоку, а водосборную зону р.Обь можно отнести к числу территорий, испытывающих значительную антропогенную нагрузку. Загрязняющие вещества (ЗВ), такие как устойчивые органические соединения, радионуклиды и соединения тяжелых металлов, переносимые в Арктику из других регионов, оцениваются как одна из основных нагрузок на окружающую среду, взаимодействующих с изменением климата. Наблюдающаяся тенденция изменения климата под воздействием естественных и антропогенных факторов влияет на речной сток. А существенные изменения гидрологического режима рек обусловят изменения условий накопления и смыва ЗВ на их водосборах, что может привести к изменениям концентрации и выноса ЗВ с водами рек, а также распространения этих загрязняющих веществ в прибрежной зоне морей Северного Ледовитого океана.

На основании анализа литературных данных по содержанию ЗВ в воде рек бассейна Оби и в верхнем слое почвы водосбора Оби в качестве приоритетных загрязняющих веществ были выбраны радионуклиды ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs, тяжелые металлы – медь, цинк, свинец, хром, кадмий, ртуть, хлорорганические соединения – ДДТ и сумма ГХЦГ.

Прогноз изменения климатических условий и водного режима сделан на основе анализа разработанных в крупнейших мировых научных центрах климатических сценариев. По данным модельных расчетов применительно к территории России были определены средние за 2011-2030 гг. и 2030-2050 гг. (прогнозный период) и 1981-2000 гг. (базовый период) величины метеорологических параметров в узлах регулярной сетки. Далее рассчитаны их изменения для прогнозного периода относительно базового. По этим данным строились и анализировались карты аномалий среднегодовых и сезонных слоев стока (в мм).

В целом по территории бассейна, отмечается увеличение годовых сумм осадков и, соответ-

ственно, рост значений слоев стока, наблюдается повышение среднегодовых температур воздуха в период с 2011 по 2030 и некоторое уменьшение сумм осадков за теплый период в следующий расчетный период (с 2031 по 2050 гг.). К середине столетия в бассейне Оби предполагается дальнейший рост осадков в среднем до 25-27 мм, максимально до 56 мм. В соответствии с оценками изменений приземной температуры воздуха, полученными по ансамблю из пяти МОЦАО, в 2011-2030 гг. среднегодовая температура будет на 0,6-1,2 °С выше, чем в 1981-2000 гг.

В результате этих изменений стокоформирующих факторов во внутригодовом распределении стока можно отметить, в первую очередь, увеличение его за теплый сезон, которое имеет несколько более интенсивный характер, чем за холодный период (табл. 1). Но анализ полученных материалов позволяет прийти к основному выводу о том, что в ближайшие 10-15 лет нет оснований ожидать каких-либо значительных изменений водных ресурсов реки Оби в результате потепления климата. Даже крайние оценки лежат лишь в диапазоне от -2 до +7% для годового стока, т.е. в пределах его естественной изменчивости, поскольку ранее за период инструментальных наблюдений отклонения значений слоев стока от нормы за отдельные многолетние периоды времени превышали упомянутые значения.

Таблица 1

Изменение годового и сезонного стока (в мм) в первой половине XXI столетия на водосборе реки Оби по отношению к значениям для базового периода 1981-2000 гг.

Модель	A2						B1					
	2011 – 2030 гг.			2031 – 2050 гг.			2011 – 2030 гг.			2031 – 2050 гг.		
	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный	Год	Теплый	Холодный
ESCHAM5-OM	15	5	10	23	12	11	14	8	7	4	-2	6
GFDL CM2.0	21	15	6	-1	-8	7	-5	-10	5	16	5	10
CGCM 2.3.2	14	13	1	19	19	0	4	2	2	18	15	3
Ансамбль моделей	17	11	6	14	8	6	5	0	5	12	6	6

Для оценки и прогноза выноса загрязняющих веществ с водосборов рек был использован подход, основанный на параметризации коэффициента смыва. В поверхностном стоке ЗВ могут находиться как в растворе, так и на взвешенных частицах. Доля от общего запаса ЗВ на водосборе, смытая на частицах, называется коэффициентом «твердого» смыва (КТВ), смытая в растворенном состоянии – коэффициентом «жидкого» смыва (КЖ) [4].

Поделив $K_{Ж}$ на слой стока, а $K_{ТВ}$ на массу взвеси, смытую с единицы поверхности почвы, получим нормированные коэффициенты «жидкого» и «твердого» смыва, равные отношению соответствующей средневзвешенной концентрации и средней плотности загрязнения на водосборе:

$$K_{Ж}^* = \frac{K_{Ж}}{h} = \frac{K_{Ж} S}{V} = \frac{\overline{C_w}}{C_s}, \quad K_{ТВ}^* = \frac{K_{ТВ}}{g} = \frac{K_{ТВ} S}{M} = \frac{\overline{C_a}}{C_s},$$

где $\overline{C_w}$ – средневзвешенная концентрация ЗВ или радионуклида в растворе, мг/дм³ или Бк/дм³; $\overline{C_a}$ – средневзвешенная концентрация ЗВ или удельные активности радионуклида на взвешенных частицах, мг/кг или Бк/кг; M – общая масса взвешенных частиц, кг; V – общий объем стока, л; C_s – поверхностная плотность загрязнения, усредненная по водосбору, г/м² или Бк/м²; S^o – площадь водосбора, км²; h – слой стока с водосбора, мм; g – масса взвеси, смытая с единицы

площади водосбора, г.

Произведения ожидаемого слоя стока на $K_{ж}^*$ и ожидаемого выноса взвешенного материала на $K_{ТВ}^*$ могут быть использованы в качестве прогностических оценок поступления ЗВ в реки в растворенном состоянии и на взвесах соответственно. Основываясь на этом, произведены оценки выноса тяжелых металлов с водосбора Оби в настоящее время и к 2050 году (табл. 2.).

Таблица 2

**Результаты оценки выноса тяжелых металлов
с водосбора Оби в настоящее время и к 2050 году**

ТМ	$\bar{C}_w$, мкг/дм ³	$\bar{C}_s$, г/м ²	М, тыс. т	$K_{ж}^*$, мм ⁻¹	$K_{ТВ}^*$, м ² /г	Q _ж , т	Q _{ТВ} , тыс. т
Cu	5,8	3,44	717	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	1667/1872 ¹ (978-3920) ²	5,20/5,78 ¹
Zn	20,9	2,82	589	$7,4 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	6008/6748 (1700-15200)	4,27/4,75
Pb	3,1	2,34	488	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	891/1001 (120-3900)	3,54/3,94
Ni	2,3	3,87	806	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	661/742 (348-1850)	5,85/6,50
Co	0,1	1,72	358	$5,8 \cdot 10^{-8}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	28,7/32,3	2,60/2,89
Cr	3,7	9,06	1890	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	1064/1195 (971-3620)	13,7/15,2
Hg	0,002	0,011	2,21	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,57/0,65	0,016/0,018
Cd	0,35	0,035	7,21	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	100/113	0,052/0,058

Примечание: ¹ – в числителе вынос ТМ в 2009 г., в знаменателе ожидаемый вынос ТМ в 2050 г.; ² – действительный вынос растворенных форм ТМ за период 1990-2006 гг. [2]

Полученные результат хорошо согласуются с опубликованными данными по выносу растворенных форм тяжелых металлов реками Российской Арктики, рассчитанными по результатам гидрохимических и гидрологических наблюдений сети Росгидромета [2].

По прогнозам увеличение стока будет неодинаковым для различных фаз водного режима, причем минимальным в половодье, когда с водосбора смывается основная часть большинства ТМ. Поэтому увеличение выноса ТМ будет несколько меньшим, чем увеличение суммарного годового стока.

На основании литературных данных был рассчитан вынос ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs за счет «жидкого» и «твердого» смыва в настоящее время и на период 2050 года (табл. 3). Средние концентрации ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в поверхностном слое почвы водосбора Оби и воде рек Обь и Иртыш обобщены по литературным данным [1, 3]. Современные значения коэффициентов смыва ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs оценены на основании экспериментальных данных [3] и составляют 0,1% для ⁹⁰Sr и 0,005% для ¹³⁷Cs.

Таблица 3

Результаты оценки выноса ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs с водосбора Оби в настоящее время и к 2050 году

	$\bar{C}_w$, мБк/дм ³	$\bar{C}_s$, Ки/км ²	М, ТБк	$K_{ж}^*$, мм ⁻¹	$K_{ТВ}^*$, м ² /г	Q _ж , ТБк	Q _{ТВ} , ТБк
¹³⁷Cs	0,44	0,048	4100	$3,62 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	0,20/0,11 ¹	8,86/4,25 ¹
⁹⁰Sr	5,9	0,029	2235	$7,25 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	2,24/1,29	1,96/1,05

Примечание: ¹ – в числителе вынос радионуклидов в 2009 г., в знаменателе ожидаемый вынос радионуклидов в 2050 г.

По экспериментальным данным [3] сток ^{90}Sr с водами Оби в 2007-2008 гг. составил 2,4 ТБк, что близко к значениям стока, рассчитанным на основе смыва ^{90}Sr с поверхности почв водосборных территорий (табл. 3).

В таблице 4 представлены результаты расчета выноса хлорорганических соединений (ХОС) с водосбора реки Оби в настоящее время и к 2050 году. В расчетах также было учтено, что период полуразложения (T_{50}) ГХЦГ в почвах севера ЕТР в среднем составляет 600 дней, а ДДТ – 10 лет.

Эффект влияния повышения температуры на скорость разложения органических ЗВ может быть значительным. При существующем прогнозе роста температуры скорости химического разложения ЗВ в бассейне р. Оби должны увеличиться на 20–40%, что приведет к соответствующему снижению смыва ЗВ с водосбора и выноса в океан.

Таблица 4

Результаты оценки выноса хлорорганических пестицидов с водосбора Оби в настоящее время и к 2050 году

ХОС	$\bar{C}_w$, мкг/дм ³	C_s , мг/кг	M , тыс. т	$K^*_{ж}$, мм ⁻¹	$Q_{ж}$, т	$Q_{ТВ}$, т
ДДТ	0,00478	0,005	1,94	$5,14 \cdot 10^{-6}$	1,37/0,60 (0-7,90)	1,40/0,60
ДДЕ	0,00284	0,005	1,94	$3,05 \cdot 10^{-6}$	0,81/0,35 (0,07-3,91)	1,40/0,60
α - ГХЦГ	0,0079	0,002	0,775	$2,12 \cdot 10^{-5}$	2,27/0 (0-6,6)	0,56/0
γ - ГХЦГ	0,00516	0,002	0,775	$1,39 \cdot 10^{-5}$	1,48/0 (0,8-4,97)	0,56/0

Примечание: ¹ – в числителе вынос ЗВ в 2009 г, в знаменателе ожидаемый вынос ЗВ в 2050 г; ² – действительный вынос растворенных ЗВ за период 1995-2006 гг. [2]

Таким образом, по предварительным оценкам, вынос в океан тяжелых металлов в 2050 г. будет составлять 90–110% настоящего уровня. Для органических ЗВ этот показатель может составить 50–110%. Вынос в океан ^{90}Sr и ^{137}Cs при прогнозируемом потеплении климата и изменении стока может снизиться на 40–50 %.

Литература

1. Болтнева Л.И., Израэль Ю.А., Ионов В.А., Назаров И.М. Глобальное загрязнение цезием-137 и стронцием-90 и дозы внешнего облучения на территории СССР // Атомная энергия. – 1977. – т.42. – вып.5. – С. 355-360.
2. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2000-2006 гг. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2004-2008.
3. Никитин А.И., Чумичев В.Б., Валетова Н.К. и др. Современное содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ и трития в воде речной системы Тобол-Иртыш (от устья р.Исеть до слияния с р.Обь) // Известия вузов (Ядерная энергетика). – 2005. – №.3. – С. 26-34.
4. Garcia-Sanchez L., Konoplev A.V. Watershed wash-off of atmospherically deposited radionuclides: a review of normalized entrainment coefficients // J. Environ. Radioactivity. – 2009. – V.100. – N6. – P. 774–778.

ПРОБЛЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕГИОНАХ СИБИРИ

Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В.,

г. Барнаул, ИВЭП СО РАН, irina@iwep.asu.ru, stoyash@mail.ru

WATER USE PROBLEMS IN REGIONS OF SIBERIA

Rybkina I.D., Stoyashcheva N.V.,

Barnaul, IWEP SB RAS, irina@iwep.asu.ru, stoyash@mail.ru

В статье анализируются проблемы водопользования в регионах Сибири – дефицит и качество питьевых вод, их нерациональное использование. Авторами выполнена оценка водообеспеченности населения субъектов РФ в разрезе муниципальных образований, расположенных в пределах Обь-Иртышского речного бассейна. Выделены вододефицитные территории с уровнем водопотребления ниже нормативных значений.

The paper considers the issues of water tenure in Siberia, i.e. the deficit and quality of drinking water, and its irrational use. The authors evaluated the water supply of population in the RF subjects separately for municipalities within the Ob-Irtysh river basin. The territories distinguished by the lack of water and low water consumption are specified.

В последние годы пристальный интерес общества, учёных и представителей власти вызывают проблемы водопользования и водообеспечения населения России. Не случайно на федеральном уровне уже предприняты первые шаги по их преодолению. В частности, в 2009 году вступила в действие Водная стратегия, разработанная в целях водно-ресурсного обеспечения реализации Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года.

В регионах Сибири, в целом характеризующихся высоким водно-ресурсным потенциалом, эти проблемы актуальны для отдельных муниципальных образований, что само по себе только усложняет их решение по причине недостаточного финансирования и ограниченности возможностей местных бюджетов. Среди множества проблем водопользования нами выделены и рассмотрены те из них, которые непосредственно связаны с хозяйственно-питьевым водоснабжением, наличием и качеством питьевых вод, нерациональным использованием водных ресурсов.

Изучение и оценка проблем водопользования проводились на примере субъектов РФ, расположенных в пределах Обь-Иртышского речного бассейна (всего 12 субъектов¹), на основе материалов государственной статистической отчетности 2-тп «водхоз», предоставленных Верхне-Обским БВУ. Данные анализировались за период 1990-2007 годы.

К территориям, малообеспеченным водой по природным условиям, нами отнесены Омская и Курганская области, некоторые административные районы Тюменской и Новосибирской областей, Алтайского края. Эти субъекты характеризуются неравномерным распределением ресурсов поверхностных и подземных вод, что проявляется в наличии проблем количественного дефицита питьевых и технических вод.

В других регионах, где в силу природных факторов водообеспеченность в целом соответствует потребностям населения и хозяйства, неблагоприятная водохозяйственная обстановка складывается под воздействием высоких техногенных нагрузок (например, в Кемеровской, Свердловской, Челябинской областях) и проявляется в проблемах качества питьевых вод.

¹Алтайский край, Кемеровская, Курганская, Новосибирская, Омская области, Республика Алтай, Свердловская, Томская, Тюменская области, Ханты-Мансийский АО (ХМАО), Челябинская область, Ямало-Ненецкий АО (ЯНАО).

Одной из причин неудовлетворительного водообеспечения населения качественной питьевой водой является неразвитость централизованных систем водоснабжения (так, 30 % жителей Алтайского края и около 40 % населения Республики Алтай вынуждены использовать воду из децентрализованных источников [1, 2]), а также высокий процент износа инженерных сооружений и сетей водоснабжения и водоотведения.

На фоне существующих проблем вододефицита и качества питьевых вод отмечается их нерациональное использование. Высока доля потребления воды питьевого качества на производственные нужды (более 20 %) в пределах Алтайского края, Курганской, Омской и Свердловской областей.

В целом по бассейну на хозяйственно-питьевые цели, в 2007 г. было использовано 1703,94 млн. м³, при этом по регионам этот показатель существенно различался – от 4,3 (Республика Алтай) до 331,7 (Свердловская область) млн. м³.

В удельных показателях на одного жителя Обь-Иртышского бассейна в 2007 г. было израсходовано 222,0 л воды в сутки, что практически соответствует среднероссийскому уровню (224,7 л/сут/чел). Наиболее высокими значениями характеризуются Кемеровская (312,9), Челябинская (289,3), Новосибирская (250,7) и Свердловская (240,2 л/сут) области; наименьшими – Республика Алтай (56,6 л/сут) и Курганская область (85,6 л/сут/чел) (рис. 1).

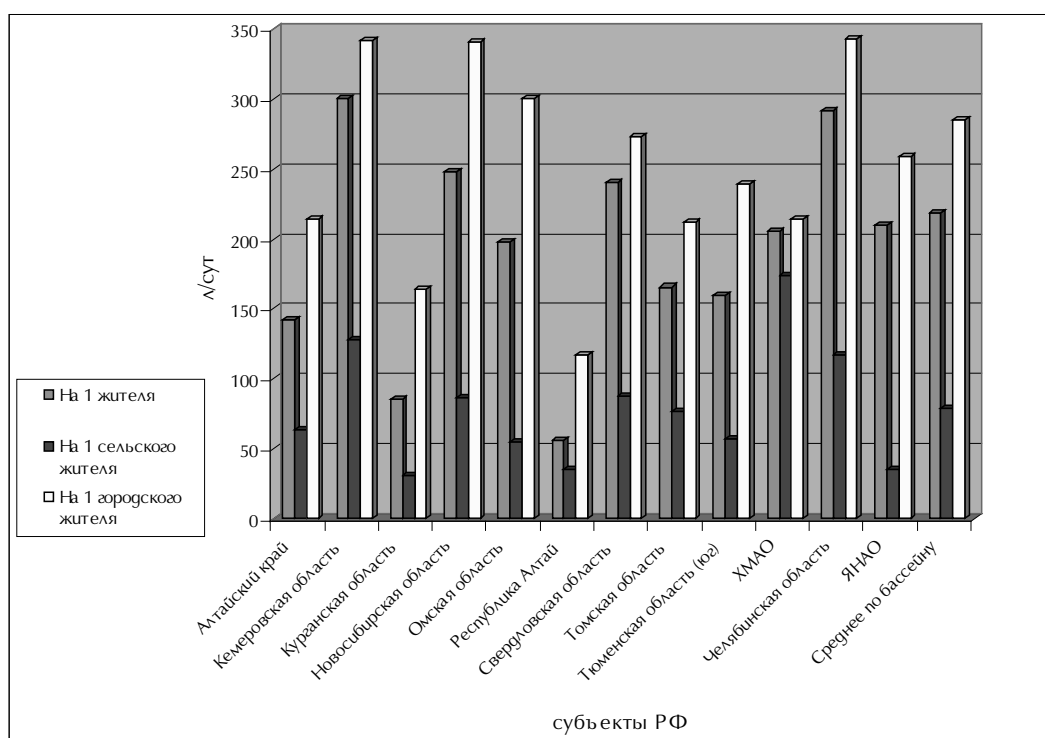


Рисунок 1. Удельное хозяйственно-питьевое водопотребление в субъектах РФ Обь-Иртышья, на одного жителя, среднесуточное (данные на 2007 г.)

В селах обеспеченность водой для хозяйственных нужд колеблется от 30-36 л/сут на человека (Курганская область, Республика Алтай, ЯНАО) до 120-130 л/сут (Кемеровская и Челябинская области), составляя в среднем 78,8 л/сут, что значительно ниже, чем в целом по РФ – 93,0 л/сут.

В городах низкий уровень удельного водопотребления отмечается в Курганской области (164,2 л/сут) и Республике Алтай (117,1 л/сут) при среднем для регионов бассейна значении 285,0 л/сут.

Между тем, существуют законодательно утвержденные нормативы водообеспечения населения

в зависимости от категории населенного пункта и степени благоустройства районов жилой застройки (СНиП 2.04.02-84 [3]). В малых селах минимальное пороговое значение составляет 30-50 л/сут/чел, в населенных пунктах, оборудованных внутренним водопроводом – 125-160 л/сут/чел. На одного жителя крупного села (райцентр) или малого города должно приходиться не менее 160-230 л/сут. В крупных городах этот показатель составляет 230-350 л/сут.

Оценка обеспеченности населения субъектов РФ, лежащих в пределах Обь-Иртышского бассейна, водой питьевого качества показала, что объем фактически потребляемой воды в целом находится в пределах нормы, согласно СНиП (104 % от нормативных значений). При этом горожане обеспечены водой на 107 %, селяне – на 83 %. Вместе с тем, четвертая часть жителей бассейна потребляет менее 30 л/сут воды, что ниже минимального нормативного значения, и, таким образом, находится в ситуации, близкой к кризисной.

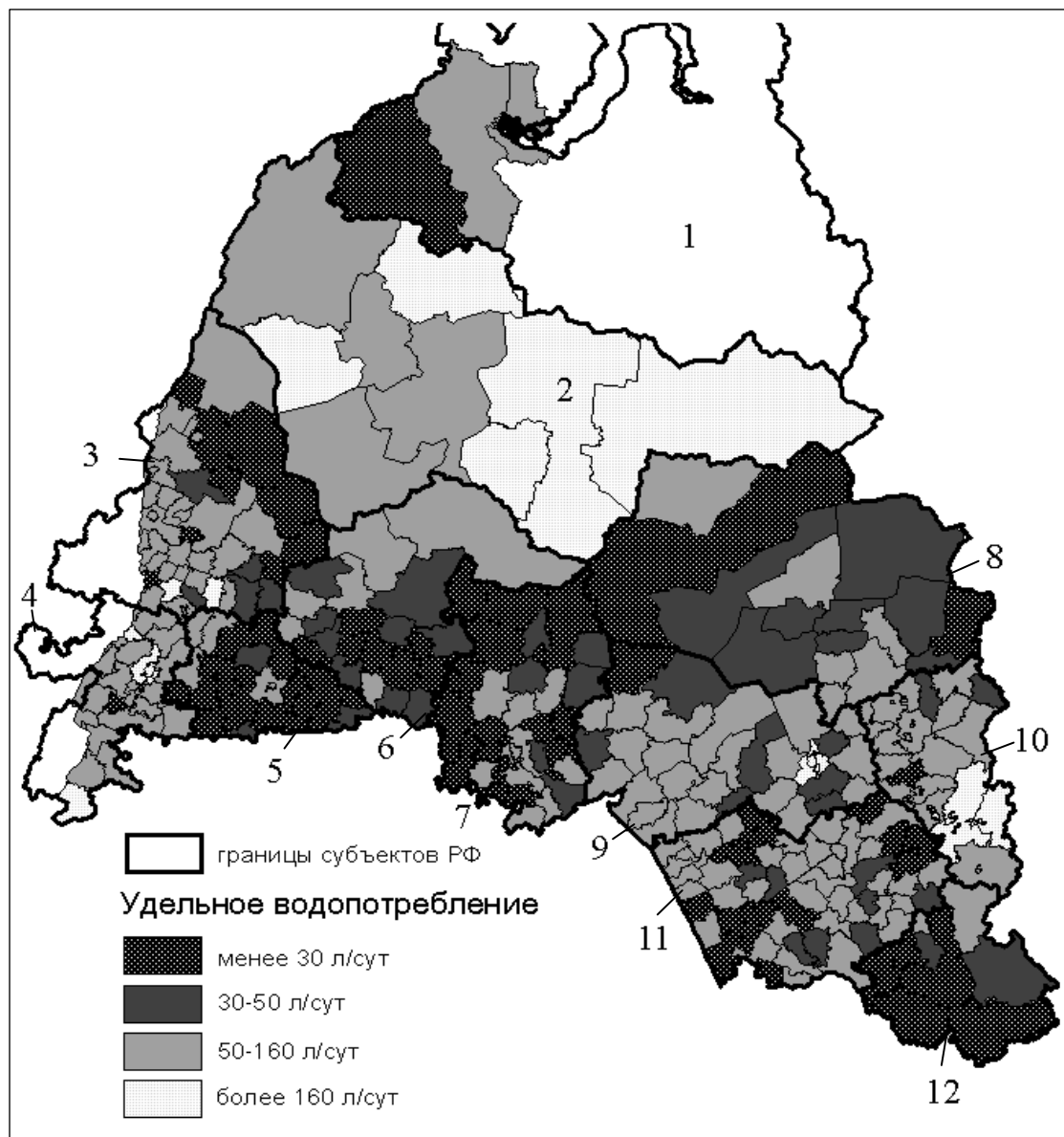


Рисунок 2. Удельное хозяйственно-питьевое водопотребление в муниципальных образованиях субъектов РФ Обь-Иртышского бассейна (1 – ЯНАО, 2 – ХМАО; области: 3 – Свердловская, 4 – Челябинская, 5 – Курганская, 6 – Тюменская (юг), 7 – Омская, 8 – Томская, 9 – Новосибирская, 10 – Кемеровская; 11 – Алтайский край, 12 – Республика Алтай)

В ХМАО, Омской и Свердловской областях в 2007 г. объёмы водоснабжения на 100 % соответствовали нормативным показателям; в ЯНАО, Кемеровской, Новосибирской и Челябинской областях существующая водообеспеченность превышала законодательно утверждённые значения на 30-40 %. Недостаток в воде был замечен в Тюменской (объём потребленной воды составил 85 % от нормативного), Томской (76 %) областях, Алтайском крае (75 %). Наиболее сложная водохозяйственная ситуация наблюдалась в Курганской области (51 %) и Республике Алтай (47 %).

Половина муниципальных районов и два городских округа Курганской области имеют уровень удельного водопотребления ниже минимального нормативного значения, предусмотренного СНиП (рис. 2). Еще в трех районах хозяйственное водоснабжение находится на минимально допустимом уровне (30-50 л/сут). Таким образом, водоснабжение почти 90 % населения этого региона не соответствует уровню законодательно установленных норм.

В Республике Алтай удельное хозяйственно-питьевое водопотребление ниже пороговых значений (30 л/сут для села и 160 л/сут для города) характерно для 70 % населения – это жители единственного городского округа и шести муниципальных районов из десяти. Еще в двух районах данные показатели находятся на минимально допустимом уровне.

Выполненные анализ и оценка водообеспеченности населения позволили провести ранжирование территории и выделить наиболее вододефицитные регионы с набором характерных проблем хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Регионы, где дефицит воды обусловлен низким качеством питьевых вод из-за высокого техногенного загрязнения, с уровнем водопотребления в пределах и выше нормативных значений, с развитой системой централизованного водоснабжения: индустриально развитые Кемеровская, Свердловская, Челябинская области.

Регионы с высоким водно-ресурсным потенциалом, низкой инженерно-инфраструктурной обеспеченностью и уровнем водопотребления ниже нормативных значений (например, Республика Алтай).

Наиболее вододефицитные территории, отличающиеся недостатком ресурсов поверхностных и подземных вод питьевого качества и требующие незамедлительных капиталовложений на подготовку и транспортировку питьевых вод: практически все муниципальные образования Курганской области, большая часть Омской, частично Тюменской (юг) областей, а также Алтайского края.

Литература

1. Доклад о состоянии и об охране окружающей природной среды Республики Алтай в 2007 году. – Горно-Алтайск, 2008.
2. Материалы к ежегодному изданию доклада «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2007 году». – Барнаул, 2008. – 168 с.
3. СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абакумова В.Ю., 328
Абасов Н. В., 25, 489
Авдюшкина Е.И., 237
Алексеевский Н.И., 4
Андреева Д.В., 146
Анисимов А.П., 253
Анисимова Л.Е., 520
Антохина Е.Н., 520
Асламов И.А., 583
Атавин А.А., 504, 596

Б

Бабич В.В., 130
Баженова О.П., 7
Баландович Б.А., 247
Балдаков Н.А., 527
Балыкин Д.Н., 204
Балыкин С.Н., 204, 448
Барabanова Е.А., 332, 355
Башенхаева Н.В., 14
Безматерных Д.М., 18, 137, 504
Белецкая Н.П., 493
Беликов В.В., 496, 500
Белолипецкий В.М., 22
Бережных Т.В., 25
Блинов В.В., 29
Бобров В.А., 167
Болгов М.В., 33, 34
Болсуновский А.Я., 38
Больбух Т.В., 237
Борисова Н.М., 496
Бортников В.Ю., 253
Брагин И.В., 289, 292
Бугаец А.Н., 42
Букатый В.И., 335

В

Васильев О.Ф., 46
Васильева Е.С., 496
Вах Е.А., 50
Ведухина В.Г., 604

Веретенникова Е.Э., 54
Вершинин Д.А., 117
Ветрова В.В., 25
Виноградов В.Ю., 117
Винокуров Ю.И., 335, 339, 504
Воистинова Е.С., 59
Вологина Е.Г., 587
Воропаева О.Ф., 46
Вторушин М.Н., 508

Г

Гагаринова О.В., 343
Галахов В.П., 347
Гарцман Б.И., 351
Генова С.Н., 22
Георгиади А.Г., 355, 358
Гнатовский Р.Ю., 29, 583
Головацкая Е.А., 369
Голубев В.Н., 361
Голубева А.Б., 591
Горбачев И.В., 204
Горгуленко В.В., 67
Готовцев А.В., 72, 78
Гранин Н.Г., 583
Григорьева И.Л., 82
Губарева Т.С., 86
Гузиватый В.В., 190
Гусев М.Н., 512
Гусева Н.В., 276

Д

Данилов-Данильян В.И., 78
Дарьин А.В., 130
Двуреченская С.Я., 553
Дегерменджи А.Г., 22
Дикунец В.А., 516
Долгов С.В., 366
Долматова Л.А., 90
Домышева В.М., 93, 198
Дрюккер В.В., 97
Дюкарев Е.А., 369

Е

Егоркина Г.И., 101
Егоров А.Н., 372
Егорова И.А., 204
Еловский Е.В., 292
Ельчиногова О.А., 204
Ермолаева Н.И., 105, 137

Ж

Жданов А.А., 583
Жижаев А.М., 38
Жукова О.Н., 18

З

Зайцева И.С., 332, 366
Замана Л.В., 108
Зарубина Е.Ю., 113
Захарова Е.А., 141
Земцов В.А., 117, 141, 516
Зилитинкевич С.С., 121
Зиновьев А.Т., 504, 591, 596
Золотов Д.В., 448
Зуев В.В., 376

И

Иваненко Н.В., 124
Иванов В.Г., 299
Игнатов А.В., 377
Ильичева Е.А., 343, 382
Инишев Н.Г., 117
Инишева Л.И., 127

К

Калугин И.А., 130
Кашутина Е.А., 358
Ким Г.В., 113
Киприянова Л.М., 134
Кириллов В.В., 113, 137, 504
Кириллова Т.В., 113, 137
Кирпотин С.Н., 141
Кирста Ю.Б., 387

Киселев Д.В., 117
 Кислицина Ю.В., 204
 Кичигина Н. В., 391
 Клиорин Н., 121
 Козлов В.В., 583
 Колмакова М.В., 141
 Колотилина Л.С., 407
 Кондратьева Л.М., 146, 150
 Коноплев А.В., 233, 608
 Копылова Г.Н., 276
 Копылова Ю.Г., 395
 Коробкина Е.А., 399
 Коронкевич Н.И., 332, 355, 366
 Коротышный Л.М., 404
 Космаков И.В., 407
 Котовщиков А.В., 113, 137, 253
 Кочетков В.В., 496
 Кочеткова М. Ю., 413
 Кошелев К.Б., 591, 596
 Кошелева Е.Д., 154
 Красноярова Б.А., 339, 504
 Крыленко И.Н., 500, 520
 Кудишин А.Н., 596
 Кузнецов С.Ю., 220, 224
 Кузнецов Р., 121
 Кузник Я.Э., 604
 Куимова Л.Н., 299
 Кулаков В.В., 292, 417
 Куликов Е.В., 7
 Куликова Е.В., 7
 Кураев А.В., 141
 Кураков С.А., 376
 Курбацкая Л.И., 158
 Курбацкий А.Ф., 158
 Кусковский В.С., 420, 426
 Кучер К.М., 583

Л

Ла А.Ю., 247
 Ланцова И.В., 524
 Левит-Гуревич Л.К., 162
 Леонова Г.А., 167
 Лепихин А.П., 171
 Литвиненко З.Н., 176
 Лиходумова И.Н., 493
 Ловцкая О.В., 387, 527

М

Магаева Л.А., 430
 Макагонова М.А., 391, 432
 Маликова И.Н., 249
 Малолетко А.В., 436
 Марков М.Л., 608
 Марусин К.В., 527
 Марченко О.Ю., 25
 Матрошилова О.Ю., 176
 Медведева Е.В., 407
 Мельникова Н.М., 240
 Мешкинова С.С., 204
 Милюкова И.П., 355
 Мирошник Н.В., 601
 Митрофанова Е.Ю., 180
 Моньяр Н.М., 141
 Мотовилов Ю.Г., 530
 Мусаев А.И., 183, 186

Н

Науменко М.А., 190
 Нестерюк П.И., 335
 Никаноров А.М., 78
 Никитина Н.В., 496
 Никифоровская В.С., 194
 Новороцкий П.В., 441

О

Овчинников Д.В., 587
 Онищук Н.А., 93
 Осипчук Е.Н., 489

П

Панченко М.В., 198
 Папина Т.С., 257, 312, 504
 Парфенова Г.К., 59
 Пестунов Д.А., 198
 Платонова С.Г., 533
 Плюснин А.М., 292
 Попов В.Е., 233, 608
 Попов П.А., 201
 Попова Н.Ю., 445

Птицын А.Б., 587
 Пузанов А.В., 204, 213, 504
 Пурдик Л.Н., 448
 Пушистов П.Ю., 508, 516, 536
 Пушкин С.Г., 566

Р

Резников В.Ф., 208, 544
 Рогачевский И., 121
 Рогозин Д.Ю., 22, 587
 Рождественская Т.А., 204, 213
 Романенко Р.Д., 516
 Ротанова И.Н., 476, 504, 604
 Рыбкина И.Д., 612
 Рыкова В.В., 540

С

Савичев О.Г., 216
 Савкин В.М., 549, 553
 Сакирко М.В., 93, 198
 Салтыков А.В., 204
 Самохин М.А., 520
 Сапрыкина Я.В., 220, 224
 Саттаров М.А., 228
 Сейтказиев А.С., 557
 Семенов В.А., 237, 451
 Семенова И.В., 233, 237, 608
 Сенцова Н.И., 34
 Скрипкина Л.А., 247
 Смирнов М.П., 240
 Смирнов С.В., 376
 Смирнова Е.М., 240
 Смолянинова Л.Г., 130
 Соколова М.И., 113
 Сороковинова Л.М., 97
 Сотникова Л.Ф., 562
 Стоящева Н.В., 612
 Страховенко В.Д., 249
 Суторихин И.А., 247, 253
 Сухоруков Ф.В., 38
 Счастливец Е.Л., 566

Т

Третьякова Е.И., 137, 257

У

Ульзетуева И.Д., 261

Усков Т.Н., 257

Устинов М.Т., 249

Ф

Финк А.В., 247

Фишер Н.К., 150, 264

Форина Ю.А., 305

Фролов Д.М., 361

Х

Хажеева З.И., 267, 270

Харанжевская Ю.А., 63, 455

Харитонов Н.А., 289

Харламова Н.Ф., 460

Хахинов В.В., 261

Хващевская А.А., 276

Химченко О.В., 466

Хорошевская В.О., 280

Ц

Цветова Е.А., 285

Цимбалей Ю.М., 476, 504

Ч

Чекмарева Н.А., 413

Челноков Г.А., 289

Чембарисов Э.И., 570

Черных Г.Г., 46

Чернышкова К.В., 18

Чечель А.П., 572

Чудаев О.В., 292, 296

Чудаева В.А., 292, 296

Ш

Шаазизов Ф.Ш., 575

Шапоренко С.И., 476

Шварцев С.Л., 480

Шевцова Э.Ю., 540

Шевченко А.А., 508

Шерстянkin П.П., 299

Шерфединов Л.З., 579

Шестеркина В.П., 296, 305, 308

Шестеркина Н.М., 305, 308

Шибких А.А., 591

Шимараев М.Н., 93

Шинкеева Н.А., 127

Ширшова Е.В., 176

Шлычков В.А., 316

Шумова Н.А., 484

Шунькова Н.Н., 146

Э

Эзау И., 121

Эйрих А.Н., 312

Эльперин Т., 121

Ю

Юкина Н.И., 566

Юрченко С.Г., 320

Я

Яныгина Л.В., 137, 324

THE AUTHOR'S INDEX

В

Baumert Helmut Z., 11

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
 Секция 1. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОЛОГИИ, ГИДРОФИЗИКИ, ГИДРОХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ	
Алексеевский Н.И. МАСШТАБНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ПОТОК-РУСЛО ПО ДЛИНЕ РЕК	4
Баженова О.П., Куликов Е.В., Куликова Е.В. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ БУХТАРМИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	7
Baumert. H. Z. TURBULENCE AT HIGH REYNOLDS NUMBERS AND THE HYDROTHERMODYNAMICS OF NATURAL AND MAN-MADE SURFACE WATERS	11
Башенхаева Н. В. О САМООЧИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОД РЕКИ СЕЛЕНГИ	14
Безматерных Д. М., Чернышкова К.В., Жукова О.Н. СОСТАВ И СТРУКТУРА ЗООБЕНТОСА КАК ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ЧАНЫ...	18
Белолипецкий В.М., Генова С.Н., Рогозин Д.Ю., Дегерменджи А.Г. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОДОВОЙ ДИНАМИКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОДЫ В ОЗЕРЕ ШИРА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ	22
Бережных Т.В, Абасов Н.В, Марченко О.Ю., Ветрова В.В. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПРИТОКОВ В АНГАРСКИЙ КАСКАД ГЭС В ЗАДАЧАХ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ.....	25
Блинов В.В., Гнатовский Р.Ю. СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ МАСС БАЙКАЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА T, S – АНАЛИЗА.....	29
Болгов М.В. О ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВОДНОЙ СТРАТЕГИИ РФ ДО 2020Г.....	33
Болгов М.В., Сенцова Н.И. ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕЧНЫХ СИСТЕМ БАСЕЙНА ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ.....	34
Болсуновский А.Я., Сухоруков Ф.В., Жижаев А.М. РАДИОНУКЛИДЫ В ВОДЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ	38
Бугаец А.Н. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО МГНОВЕННОГО ЕДИНИЧНОГО ГИДРОГРАФА ОСНОВАННОЙ НА УРАВНЕНИИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ РЕК ЮГА ПРИМОРЬЯ	42
Васильев О.Ф., Воропаева О.Ф., Черных Г. Г., ДИНАМИКА ЛОКАЛЬНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ОБЛАСТЕЙ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ СРЕДЕ.....	46
Вах Е.А. ГЕОХИМИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОРОДАХ И В ВОДАХ БЕРЕЗИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	50
Веретенникова Е.Э. ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВ БОЛОТНЫХ ВОД ЛИГОТРОФНОГО ЛАНДШАФТА ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	54
Воистинова Е.С., Парфёнова Г.К. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД	59
Воистинова Е.С., Харанжевская Ю.А. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОД ВЕРХОВОГО БОЛОТА	63
Горгуленко В.В. ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДЫ И ДОННЫХ	

ОТЛОЖЕНИЙ Р. ОБЬ У Г. БАРНАУЛА И НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ	67
Готовцев А. В. МОДЕЛЬ ОДНОМЕРНОГО СТАЦИОНАРНОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ	72
Готовцев А.В., Данилов-Данильян В.И., Никаноров А.М. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА БПК.....	78
Григорьева И.Л. ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ	82
Губарева Т.С. ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАВОДКОВ РЕК И ИХ РЕГИОНАЛИЗАЦИЯ В УМЕ-РЕННОМ КЛИМАТЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ	86
Долматова Л. А. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ЧУМЫШ В РАЙОНЕ ГОРОДА ЗАРИНСКА ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ.....	90
Домышева В.М., Сакирко М.В., Онишук Н.А., Шимараев М.Н. ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КИСЛОРОДА В ВОДЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ.....	93
Дрюккер В.В., Сорокикова Л.М. ПРОГНОЗ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНЫХ СЕВЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИ МАСШТАБНОМ ГИДРОСТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПРИМЕРЕ ЭВЕНКИЙСКОГО (ТУРУХАНСКОГО) ВОДОХРАНИЛИЩА	97
Егоркина Г.И. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ АРТЕМИИ	101
Ермолаева Н.И. ВЛИЯНИЕ НОВОСИБИРСКОГО ГИДРОУЗЛА НА ЗООПЛАНКТОН НИЖНЕГО БЬЕФА	105
Замана Л.В. ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТАРЫХ ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ.....	108
Кириллов В.В., Зарубина Е.Ю., Ким Г.В., Кириллова Т.В., Котовщиков А.В., Соколова М.И. ЗНАЧИМОСТЬ ЛИТОРАЛЬНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА	113
Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г., Киселев Д.В., Виноградов В.Ю. ИЗУЧЕНИЕ СТОКА НАНОСОВ НА СЛОЖНЫХ УЧАСТКАХ РУСЛОВОЙ СИСТЕМЫ РЕКИ ТОМЬ: МЕТОДОЛОГИЯ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	117
Зилигинкевич С. С., Эльперин Т., Клиорин Н., Рогачевский И., Эзау И., Кузнецов Р. ПРОБЛЕМА ТУРБУЛЕНТНОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЙ: ТЕОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОД ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	121
Иваненко Н.В. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЧВ В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК ПРИХАНКАЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ.....	124
Инишева Л.И., Шинкеева Н.А. ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БОЛОТНЫХ ВОД	127
Калугин И.А., Дарьин А.В., Бабич В.В., Смолянинова Л.Г., РЕКОНСТРУКЦИИ ЕЖЕГОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И УРОВНЯ ГОРНЫХ ОЗЕР СИБИРИ ПО ГЕОХИМИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ.....	130
Киприянова Л.М. ВОДНАЯ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА)	134

Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Яныгина Л.В., Третьякова Е.И., Кириллова Т.В. Котовщиков А.В., Ермолаева Н.И.	
ФАКТОРЫ И ПОКАЗАТЕЛИ САМООЧИЩЕНИЯ РЕКИ ОБИ	137
Колмакова М.В., Кураев А.В., Захарова Е.А., Земцов В.А., Кирпотин С.Н., Моньяр Н.М. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И КАЧЕСТВА ВОД В КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	141
Кондратьева Л.М., Шунькова Н.Н., Андреева Д.В. ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ АМУР	146
Кондратьева Л.М., Фишер Н.К. РЕЧНОЙ ЛЕД КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА	150
Кошелева Е.Д. ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА РЕКИ ОБИ В СТВОРЕ Г. БАРНАУЛА ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА	154
Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л.И. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЯХ	158
Левит-Гуревич Л.К. КАЛИБРОВКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕКИ МЕТОДОМ МНОГОМЕРНОГО ПОИСКА ФИБОНАЧЧИ	162
Леонова Г.А., Бобров В.А. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ ПЛАНКТОНА КАК УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРЕДСТАВИТЕЛЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА ГИДРОСФЕРЫ	167
Лепихин А.П. К АНАЛИЗУ СТАТИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ	171
Матрошилова О.Ю., Ширшова Е.В., Литвиненко З.Н. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НАФТАЛИНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ	176
Митрофанова Е.Ю. СОСТАВ, ОБИЛИЕ И ЗНАЧИМОСТЬ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПЕЛАГИАЛИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ, РОССИЯ)	180
Мусаев А.И. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОРОСИТЕЛЬНЫХ ВОД ПО ВОДОРОДНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ	183
Мусаев А.И. ГОРОДСКИЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА И ИХ ЭКОЛОГО-ИРРИГАЦИОННАЯ ОЦЕНКА	186
Науменко М.А., Гузиватый В.В. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА	190
Никифоровская В.С. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ В ВОДОТОКАХ И ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ	194
Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А., Сакирко М.В.	
УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ В СИСТЕМЕ «АТМОСФЕРА-ВОДА» НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ	198
Попов П. А. ФОРМИРОВАНИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИХТИОЦЕНОЗОВ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ СИБИРИ И КАЗАХСТАНА	201
Пузанов. А.В., Рождественская Т.А., Балыкин С.Н., Балыкин Д.Н., Салтыков А.В., Ельчиногова О.А., Горбачев И.В., Егорова И.А., Мешкинова С.С., Кислицина Ю.В.	
ОЦЕНКА ДИФфуЗНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)	204
Резников В.Ф. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	208

Рождественская Т.А., Пузанов А.В. ФОСФОР В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ АЛТАЯ.....	213
Савичев О.Г. ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ И ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СИБИРИ.....	216
Сапрыкина Я.В., Кузнецов С.Ю. КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ШТОРМОВЫХ ВОЛН В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ.....	220
Кузнецов С.Ю., Сапрыкина Я.В. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ АНОМАЛЬНО ВЫСОКИХ ШТОРМОВЫХ ВОЛН.....	224
Саттаров М. А. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОСРЕДНЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА В ТРУБАХ.....	228
Семенова И.В., Коноплев А.В., Попов В.Е. ОЦЕНКА ВЫНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ВОДОСБОРА РЕКИ ОБИ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА.....	233
Семёнова И.В., Семёнов В.А., Больбух Т.В., Авдюшкина Е.И. РОЛЬ ВЫСОТНО-ЛАНДШАФТНЫХ, КЛИМАТИЧЕСКИХ, ЭНДОГЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ГОРНОГО АЛТАЯ.....	237
Смирнов М.П., Мельникова Н.М, Смирнова Е.М. ЗАВИСИМОСТЬ СТОКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ЛАНДШАФТНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЙ В БАСЕЙНАХ РЕК ОБЬ, СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ, ВОЛГА, УРАЛ.....	240
Суторихин И.А., Баландович Б.А., Финк А.В., Ла А.Ю., Скрипкина Л.А. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДЫ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	247
Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Устинов М.Т. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМЕ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ ЯРОВОЕ.....	249
Суторихин И.А., Бортников В.Ю., Анисимов А.П., Котовщиков А.В. ИЗМЕРЕНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ.....	253
Третьякова Е.И., Папина Т.С., Усков Т.Н. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ Р. НИЖНЯЯ ТУНГУСКА.....	257
Ульзетуева И. Д., Хахинов В.В. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОД БАСЕЙНА РЕКИ СЕЛЕНГА В УСЛОВИЯХ ТРАНСГРАНИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 2008 Г.).....	261
Фишер Н.К. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ АМУР В 2009 ГОДУ.....	264
Хажеева З.И. БИОГЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В РЕЧНОЙ ВОДЕ БАСЕЙНА СЕЛЕНГИ (РОССИЙСКИЙ УЧАСТОК).....	267
Хажеева З.И. СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ГАЗОВЫЙ РЕ-ЖИМ РЕЧНЫХ ВОД БАСЕЙНА СЕЛЕНГИ (РОССИЙСКИЙ УЧАСТОК).....	270
Хажеева З.И. ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ГЛАВНЫХ ИОНОВ РЕЧНЫХ ВОД БАСЕЙНА СЕЛЕНГИ (РОССИЙСКИЙ УЧАСТОК).....	273
Хвощевская А.А., Копылова Ю.Г., Гусева Н.В. ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА, ИСПОЛЪЗУЕМЫЕ	

ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ДОСНАБЖЕНИЯ	276
Хорошевская В.О. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И СТОКА РЕК ПРИАЗОВЬЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЗОНЕ СМЕЩЕНИЯ «РЕКА-МОРЕ» ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА	280
Цветова Е.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	285
Челноков Г.А., Харитонов Н.А., Брагин И.В. ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИБРЕЖНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЮГА ПРИМОРЬЯ	289
Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В., Еловский Е.В., Кулаков В.В., Плюснин А.М. ГЕОХИМИЯ АЗОТНЫХ ТЕРМ ДАЛЬНОГО ВОСТОКА РОССИИ И ЗАБАЙКАЛЬЯ.....	292
Чудаева В.А., Шестеркин В.П., Чудаев О.В. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ВОДАХ БАССЕЙНА РАМУР.....	296
Шерстянкин П.П., Иванов В.Г., Куимова Л.Н. О КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСНОВАХ МЕЗОТЕРМИЧЕСКОГО МАКСИМУМА ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ГЛУБОКИХ ПРЕСНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ.....	299
Шестеркина Н.М., Шестеркина В.П., Фокина Ю.А. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД НА ГАРЯХ СЕВЕРНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ.....	305
Шестеркина В.П., Шестеркина Н.М. ТРАНСГРАНИЧНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АМУРА.....	308
Эйрих А.Н., Папина Т.С. ЭКОАНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ Р. ОБЬ.....	312
Шлычков В.А. НОВОСИБИРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ: МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	316
Юрченко С.Г. ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ВОДАХ НА СТАДИИ ИХ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОТ ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДО ПОТРЕБИТЕЛЯ	320
Яныгина Л.В. РАЙОНИРОВАНИЕ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО СТРУКТУРЕ МАКРОЗООБЕНТОСА	324

Секция 2. РОЛЬ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Абакумова В.Ю. К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НЕКОТОРЫХ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНОЙ СЕТИ	328
Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Коронкевич Н.И. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ И ИХ ДИНАМИКА	332
Букатый В.И., Винокуров Ю.И., Нестерюк П.И. СРАВНЕНИЕ ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ И ПРИРОДНЫХ ВОД, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ.....	335
Винокуров Ю.И., Краснаярова Б.А. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СИБИРСКИХ РЕГИОНОВ.....	339
Гагаринова О.В., Ильичева Е.А. ВОЗМОЖНОСТИ ИНДИКАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ В ОПРЕДЕЛЕНИИ СТОКА НЕИЗУЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	343
Галахов В.П. ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	347
Гарцман Б.И. СТРОЕНИЕ, ДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ РЕЧНЫХ СИСТЕМ: НАПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	351

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Барабанова Е.А. ПОДХОДЫ К СЦЕНАРНОЙ ОЦЕНКЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В КРУПНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ	355
Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ И ПРОГНОЗНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЧВЕННЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ...	358
Голубев В.Н., Фролов Д.М. ТРЕНДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ СНЕГОЗАПАСОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	361
Долгов С.В., Зайцева И.С., Коронкевич Н.И. О СООТНОШЕНИИ РОЛИ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ В ИЗМЕНЕНИИ РЕЧНОГО СТОКА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	366
Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А, МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА	369
Егоров А.Н. ГЕЛИОТЕРМАЛЬНЫЕ ОЗЕРА МИРА	372
Зуев В.В., Кураков С.А., Смирнов С.В. СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА	376
Игнатов А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСЯЧНОГО СТОКА С ВОДОСБОРА (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ КУДЫ).....	377
Ильичёва Е.А. ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ В ПЕРИОД ИСКУССТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ОЗЕРА БАЙКАЛ...	382
Кирста Ю.Б., Ловцкая О.В. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ПРОГНОЗ КЛИМАТА РОССИИ ДО 2020 ГОДА	387
Кичигина Н.В., Макагонова М.А. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД НА ОСНОВЕ ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	391
Копылова Г.Н. О ВЛИЯНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД	395
Коробкина Е.А. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОДОВОГО СТОКА РЕК СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	399
Корытный Л.М. ПРОБЛЕМНОЕ ВОДНО-РЕСУРСНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ АЗИИ	404
Космаков И.В., Колотилина Л.С., Медведева Е.В. КЛИМАТ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ЕНИСЕЯ	407
Кочеткова М.Ю., Чекмарева Н.А. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИТОКОВ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	413
Кулаков В.В. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАССЕЙНА АМУРА	417
Кусковский В.С. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОБЬ-ИРТЫШСКОМ БАССЕЙНЕ	420
Кусковский В.С. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ХАНТЫ-МАНСКИЙСКА ...	426
Магаева Л.А. ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ НОВОСИБИРСКОГО ПРИОБЬЯ.....	430
Макагонова М.А. ДИНАМИКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СТОКА В ОБЛАСТИ ВОСТОЧНО-АЗИТСКОГО МУССОНА	432
Малолетко А.В. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ЗИМНЕГО СТОКА ПО ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕЙ И СРЕДНЕЙ ОБИ.....	436
Новороцкий П.В. СООТНОШЕНИЕ СТОКА СУНГАРИ И АМУРА.....	441
Попова Н.Ю. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАССЕЙНОВОГО ИСПАРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	445

Пурдик Л.Н., Золотов Д.В., Балыкин С.Н. МЕТОД КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ В ИЗУЧЕНИИ ЛАНДШАФТОВ ДОЛИНЫ НИЖНЕЙ ТУНГУСКИ	448
Семёнов В.А. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ РОССИИ	451
Харанжевская Ю.А. ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. ЧАЯ)	455
Харламова Н.Ф. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНЕЙ ОБИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА	460
Химченко О.В. ПРОБЛЕМА МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК ОБЬ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ	466
Цимбалей Ю.М., Ротанова И.Н. ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ	476
Вод в ОБСКОМ БАССЕЙНЕ	
Шапоренко С.И. АНАЭРОБНЫЕ УСЛОВИЯ В ГИДРОСФЕРЕ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	480
Шварцев С.Л. ВОДА И ГЛОБАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ	480
Шумова Н.А. О ВЛИЯНИИ МУЛЬЧИРОВАНИЯ ПОЧВЫ НА ИСПАРЕНИЕ С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ	484

Секция 3. ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Абасов Н.В., Осипчук Е.Н. ПРИМЕНЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РИСКОВ	489
Белецкая Н.П., Лиходумова И.Н. ПЕРЕХОД НА БАССЕЙНОВЫЙ ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В КАЗАХСТАНЕ	493
Беликов В.В., Борисова Н.М., Васильева Е.С., Кочетков В.В., Никитина Н.В. ПРИ ЗАСТРОЙКЕ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ДОЛИНЫ НИЖНЕГО ДОНА	496
Беликов В.В., Крыленко И.Н. ПРОБЛЕМА БЕРЕГОВОЙ ЭРОЗИИ НА КРУПНЫХ РЕКАХ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ	500
Винокуров Ю.И., Пузанов А.В., Атавин А.А., Безматерных Д.М., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Красноярова Б.А., Папина Т.С., Ротанова И.Н., Цимбалей Ю.М. НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА БАССЕЙНОВ КРУПНЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА)	504
Вторушин М. Н., Шевченко А. А., Пушистов П. Ю. ОБЗОР МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СОСТАВЕ СППР УПРАВЛЕНИЯ РЕЧНЫМ БАССЕЙНОМ	508
Гусев М. Н. РЕКА АМУР НА УЧАСТКЕ ОТ УСТЬЯ Р. ЗЕЯ ДО ХИНГАНСКОГО УЩЕЛЬЯ: НАПРАВЛЕННОСТЬ РУСЛОФОРМИРОВАНИЯ, ЕЁ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЧЕРТЫ И СВОЕОБРАЗИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА	512
Дикунец В.А., Пушистов П.Ю., Земцов В.А., Романенко Р.Д., ИССЛЕДОВАНИЕ	

ОСУЩЕСТВИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО СОХРАНЕНИЮ УНИКАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ РЕКИ СЕВЕРНАЯ СОСЬВА ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОМ ГОРНО-ПРОМЫШЛЕННОМ И ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОСВОЕНИИ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА	516
Крыленко И.Н., Антохина Е.Н., Анисимова Л.Е., Самохин М.А. ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОСВОЕННЫХ УЧАСТКОВ РЕЧНЫХ ДОЛИН	520
Ланцова И.В. ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОД ВОДОХРАНИЛИЩ	524
Ловцкая О.В., Марусин К.В., Балдаков Н.А. ГИС “РЕЕСТР ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОБЪ-ИРТЫШСКОГО БАСЕЙНА”	527
Мотовилов Ю.Г. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ БАСЕЙНОВ РОССИИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ЕСОМАГ	530
Платонова С.Г. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАСЕЙНЕ Р. ИШИМ	533
Пушистов П.Ю. ОБЗОР МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЧНЫМ БАСЕЙНОМ	536
Рыкова В.В., Шевцова Э.Ю. ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ВОД ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: АНАЛИЗ ДОКУМЕНТОПОТОКА ИЗ БД СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ГПНТБ СО РАН	540
Резников В.Ф. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	544
Савкин В.М. СОЗДАНИЕ НОВЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ В СИБИРИ КАК ОДНО ИЗ РЕШЕНИЙ ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК.....	549
Савкин В.М., Двуреченская С.Я. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	553
Сейтказиев А.С. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНО- ДРЕНАЖНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	557
Сотникова Л.Ф. ПРОБЛЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРАНСГРАНИЧНЫХ БАСЕЙНАХ РОССИИ	562
Счастливец Е.Л., Юкина Н.И., Пушкин С.Г. ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОПРИРОДНЫХ ВОД КУЗБАССА	566
Чембарисов Э. И. ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ	570
Чечель А.П. ВОПРОСЫ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕАМУРСКОГО РЕГИОНА	572
Шаазизов Ф.Ш. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ ГИДРОУЗЛОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН.....	575
Шерфединов Л.З. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КВОТИРОВАНИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	579
Гранин Н.Г., Блинов В.В., Гнатовский Р.Ю., Жданов А.А., Козлов В.В., Кучер К.М., Асламов И.А. ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОДО ЛЬДОМ БАЙКАЛА	583

Калугин И.А., Дарьин А.В., Бабич В.В., Смолянинова Л.Г., Вологина Е.Г., Птицын А.Б., Овчинников Д.В., Рогозин Д.Ю. РЕКОНСТРУКЦИИ ЕЖЕГОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА И УРОВНЯ ГОРНЫХ ОЗЕР СИБИРИ ПО ГЕОХИМИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ	587
Кошелев К.Б., Зиновьев А.Т., Шибких А.А., Голубева А.Б. ЗАТОПЛЕНИЕ ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ПОЛОВОДЬЯХ И ПАВОДКАХ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ ОБИ). СОПОСТАВЛЕНИЕ ПОДХОДОВ И МОДЕЛЕЙ	591
Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Кудишин А.В. ЛЕДОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НИЖНИХ БЬЕФАХ ГЭС И ГИДРОУЗЛОВ. МОДЕЛИ, ПРОГНОЗЫ И ОЦЕНКИ	596
Мирошник Н.В. АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ	601
Ротанова И.Н., Ведухина В.Г., Кузник Я.Э. ГЕОИНФОРМАЦИОННО- КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БАСЕЙНА ОБИ: ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ	604
Семенова И.В., Коноплев А.В., Попов В.Е., Марков М.Л. ОЦЕНКА ВЫНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ВОДОСБОРА РЕКИ ОБИ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА	608
Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В. ПРОБЛЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕГИОНАХ СИБИРИ	612

«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДЫ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ»

**Материалы Третьей всероссийской конференции
с международным участием
24-28 августа 2010 г.**

Формат 60x84 1/8
Гарнитура Times New Roman.
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 73,01. Тираж 350 экз.
Заказ № 1202.

ООО «А.Р.Т.» – Барнаул, ул. Телефонная, 28-а