

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ОНЗ РАН «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ»
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
СЕВЕРА КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**Научное обеспечение реализации
«Водной стратегии Российской Федерации
на период до 2020 г.»**

06-11 июля 2015 г.

Сборник научных трудов

Петрозаводск

2015

УДК 556.5.01: 628.1: 504.4.06

ББК 26.22Я5

Н 34

Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» – Сборник научных трудов в двух томах. Петрозаводск: РИО КарНЦ РАН, 2015.
Т.2 – 157 с.

В настоящий сборник вошли доклады, представленные на Всероссийскую научную конференцию «Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» (г. Петрозаводск, 06–11 июля 2015 г.), проведенную Научным советом Отделения наук о Земле РАН «Водные ресурсы суши», Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН), Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом водных проблем Севера Карельского Научного центра Российской академии наук (ИВПС КарНЦ РАН).

Организация конференции и издание сборника осуществлены при финансовой поддержке Федерального агентства научных организаций, Российской академии наук, Федерального агентства водных ресурсов, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-05-20465-г), Открытого акционерного общества «РусГидро».

Редакционная группа:

д.т.н. В.Г. Пряжинская – ответственный редактор

д.ф.-м.н. А.Н. Гельфан

к.т.н. М.И. Степанова

Р.И. Бедная

Ю.Е. Казаков

ISBN _____ Н

- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук, 2015
- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук, 2015
- © Авторы докладов, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Том II.	
Секция IV. РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ВОДОСБОРЫ.....	6
<i>Бориц С.В., Бураков Д.А., Жабина И.И., Леонтьева Е.А., Симонов Ю.А., Степанов Ю.А., Христофоров А.В., Юмина Н.М.</i> Система прогнозирования и раннего предупреждения об угрозе наводнений на реках бассейна р. Амур.....	6
<i>Бугаец А.Н., Мотовилов Ю.Г., Беликов В.В., Гельфан А.Н., Гончуков Л.В., Дод Е.В., Калугин А.С., Крыленко И.Н., Морейдо В.М., Норин С.В., Румянцев А.Б., Сазонов А.А.</i> Построение интегрированной системы гидрологического моделирования с применением стандарта OpenMI для задач управления риском наводнений (на примере среднего Амура)	12
<i>Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Дьяченко А.В., Коломейцев А.А.</i> Прогнозирование и натурные наблюдения в период прохождения экстремального дождевого паводка на Алтае в 2014 г.....	20
<i>Осипова Н.В.</i> О выборе метода оценивания параметров распределений максимального паводочного стока на примере р. Адагум – г. Крымск.....	25
<i>Попова Н.О.</i> Оценка возможных максимальных жидких осадков и предельно возможных расходов паводкового стока для речных бассейнов Европейской территории России и Приморья.....	30
<i>Румянцев А.Б., Беликов В.В.</i> Оценка рисков воздействия экстремальных гидрометеорологических явлений и техногенных паводков на объекты повышенной опасности.....	38
<i>Семенов В.А.</i> Гидролого-климатические основы и география рисков опасных наводнений и маловодий на реках России.....	44

	Стр.
Фролова Н.Л., Гельфан А.Н., Киреева М.Б., Рец Е.П., Телегина Е.А. Анализ экстремальных гидрологических явлений в пределах бассейнов равнинных рек Европейской территории России	51
Чеснокова И.В., Борсукова О.В., Сергеев Д.О. Развитие неблагоприятных природных процессов в различных геокриологических условиях	58
Шаликовский А.В. Система численных показателей уровня риска для наводнений различного генезиса	64
Секция V. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ И ВОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИМЕНительно К ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ, КЛИМАТИЧЕСКИМ, ЭКОЛОГИЧЕСКИМ, ЭКОНОМИЧЕСКИМ И СОЦИАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ РОССИИ	71
Болгов М.В., Коробкина Е.А., Митина Н.Н., Малащенко Б.М., Вишневская И.А. Водохозяйственные проблемы Западных подstepных ильменей	71
Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Комплекс математических моделей согласования региональных интересов в долгосрочном планировании водопользования	78
Демин А.П., Болгов М.В., Филиппова И.А. Изменение нагрузки на водные ресурсы бассейна реки Оки под влиянием климатических и антропогенных факторов	86
Жукова С.В. К вопросу об изменении политики управления водными ресурсами отдельных водохранилищ в бассейне р. Дон	94
Игнатьева Н.В. Научно-обоснованный подход к разработке природоохранных и оздоровительных мероприятий на водоемах урбанизированных территорий	99
Красов В.Д. Стратегия управления речным стоком в условиях его нестационарности	106
Курбатова И.Е. Использование геоинформационных технологий для оценки влияния создаваемых водохранилищ на окружающую среду в криолитозоне (на примере Нижне-Богучанского водохранилища)	113

	Стр.
Левит-Гуревич Л.К., Болгов М.В. Методология обоснования приоритетных мероприятий рационального использования водных ресурсов (на примере водохозяйственного комплекса Нижней Волги).....	121
Розенталь О.М. Риск-ориентированный мониторинг качества вод как условие обеспечения достоверной водно-экологической информации.....	130
Сивохин Ж.Т. Проблемы и перспективы интегрированного управления водными ресурсами в странах Евразийского экономического союза.....	136
Щеголькова Н.М., Веницианов Е.В. Новые подходы к оценке водохозяйственных и водоохраных мероприятий	143
Эльпинер Л.И., Шаповалов А.Е. Предупреждение негативных последствий для здоровья населения при принятии водохозяйственных управленческих решений.....	149

**Секция IV. РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ И ТЕХНОЛОГИЙ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА
В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И
АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ВОДОСБОРЫ**

**СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И РАННЕГО
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ УГРОЗЕ НАВОДНЕНИЙ
НА РЕКАХ БАССЕЙНА р. АМУР**

Борщ С.В.¹, Бураков Д.А.², Жабина И.И.¹,
Леонтьева Е.А.¹, Симонов Ю.А.¹, Степанов Ю.А.¹,
Христофоров А.В.^{1,3}, Юмина Н.М.^{1,3}

¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва

²Красноярский государственный аграрный университет,
г. Красноярск

³МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет,
г. Москва
simonov@mecom.ru

Введение. Последние несколько десятилетий ознаменовались интенсивным развитием наблюдательных средств за параметрами окружающей среды – автоматизированные технологии сбора, передачи и мониторинга данных внедряются повсеместно и позволяют получить детальное представление о состоянии природных объектов. Такие системы [6] отличаются полной или частичной автоматизацией, содержанием сложных расчетных и прогнозных схем, а также развитым компонентом подготовки информационно-аналитической и прогностической продукции для последующего принятия эффективных управленческих решений, нацеленных на снижение ущерба от природных бедствий. Наводнения на реках, без сомнения, относятся к наиболее опасным стихийным бедствиям. Согласно выводам экспертов ООН по исследованию рисков природных бедствий [7], наводнения на реках занимают лидирующую позицию среди всех природных бедствий с точки зрения экономического ущерба и угрозы человеческим жизням. Последние данные свидетельствуют об учащении случаев экстремальных наводнений

во многих регионах земного шара, в том числе и в России. В связи с этим в последнее десятилетие в Гидрометцентре России проводятся исследования по созданию и внедрению в оперативную практику автоматизированных систем гидрологического прогнозирования (СПН). В статье представлена структура, основные компоненты и особенности реализации автоматизированной системы краткосрочного гидрологического прогнозирования, разработанной для выпуска краткосрочных прогнозов паводкового стока на реках бассейна р. Амур – СПН «АМУР».

Архитектура СПН. Типовая структурная схема системы СПН отражает общий вид схемы выпуска краткосрочных прогнозов. Система состоит из трех основных компонентов: информационного, вычислительного и визуализации и доведения прогнозов до пользователей. Представленная структура является обобщенной – каждый из компонентов включает в себя ряд блоков, функционал которых направлен на выполнение тематических задач. Рассматриваемые компоненты схемы в том или ином виде присутствуют во всех СПН, однако их конфигурация и характеристики могут значительно различаться. Информационный компонент представляет собой информационную основу системы – он аккумулирует в себе все исходные оперативные гидрометеорологические данные, необходимые для составления и выпуска краткосрочных прогнозов паводкового стока, а также непосредственно результаты прогнозирования. Вычислительный компонент является расчетным ядром системы прогнозирования. Он включает в себя процедуры гидрологического прогнозирования, а также коррекцию прогнозов расходов (уровней) воды. Блок визуализации и доведения прогнозов до конечных пользователей включает процедуры графического представления прогностической информации в удобном виде, а также их передачи пользователям с помощью современных средств связи.

Информационная основа прогнозирования. Информационное обеспечение СПН «АМУР» определялось требованием методик краткосрочного гидрологического прогнозирования (см ниже), реализованных в рамках СПН, и включило в себя наблюдения за водным режимом рек бассейна р. Амур, наблюдением на синоптических станциях, данными наблюдений за снежным покровом и метеорологическим прогнозом температур воздуха и осадков. Процесс оперативного информационного обеспечения является комплексным и сложным ввиду разнообразия типов, номенклатуры и харак-

теристик исходной информации (различное время поступления данных, разный временной шаг измерений и др.), большого объема поступлений, возможных пропусков в поступлении данных и т.д.

В связи с этим процесс информационного обеспечения СПН «АМУР» является многокомпонентным – при его решении были задействованы программно-вычислительные ресурсы системы информационного обеспечения ГМЦ РФ, которая развивается на протяжении последних 30 лет [5]. Основными составляющими информационного блока СПН «АМУР» являются оперативная гидрометеорологическая бассейновая база данных (БД), база данных для визуализации, а также средства управления потоком данных.

Бассейновая БД СПН «АМУР» состоит из трех наборов данных прямого доступа (файлов), используемых для хранения описаний типов записей, экземпляров записей разных типов и системной информации. Размещение и доступ к экземплярам записи в бассейновой БД осуществляется с помощью программ, входящих в состав библиотеки системы СУБД. Для управления потоками исходной гидрометеорологической информации используются технологический комплекс ПРОМЕТЕЙ [3] и автоматизированная технология АСООИ Гидрометцентра России [5]. Круглосуточно в автоматическом режиме выполняется: сбор и контроль поступающей первичной информации, обработка (раскодирование) информации, накопление информации в бассейновой БД и БД визуализации, обеспечение доступа к информации, заполнение пропусков в случае отсутствия входной информации.

Прогноз уровней воды и притока воды к Зейскому водохранилищу. Для построения методик прогноза уровней воды на р. Амур использовались суточные данные наблюдений за уровнем воды на 16 постах сети Росгидромета, расположенных непосредственно на реке Амур, и на 2 постах, расположенных в замыкающих створах основных притоков Амура – реках Зея и Уссури. В расчетах были использованы данные за период с 2008 по 2010, 2013 гг., включающие как маловодный год (2008), так и многоводные годы (2009, 2013). Способы получения прогнозных связей различались в зависимости от условий формирования стока на конкретном участке реки.

На бесприточных или слабoprиточных участках реки уровень воды $H_H(t + \tau)$ в нижнем створе на момент времени $t + \tau$ прогнозируется по его статистической связи со значением уровня в верх-

нем створе $H_B(t)$, соответствующего той же фазе прохождения паводка, и от значения уровня воды в нижнем створе $H_H(t)$ за предшествующий момент времени t , характеризующего инерционный прогноз. При этом время добегания соответственных уровней воды на данном участке τ рассчитывается по его зависимости от $H_B(t)$.

При наличии значительного притока его водность учитывается дополнительно, а схема прогноза усложняется [4]. Для двух выбранных участков использована прогностическая зависимость вида:

$$H_H(t) = a_0 + a_1 H_B(t - \tau_1) + a_2 H_H(t - \tau_1) + a_3 H_{II}(t - \tau_2), \quad (1)$$

где H_B – уровень воды на верхнем посту, H_H – уровень воды на нижнем посту, H_{II} – уровень воды на притоке, τ_1 – расчетное время добегания от верхнего поста до нижнего поста, τ_2 – расчетное время добегания от поста на притоке до нижнего поста, a_i – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов. Зависимость такого вида учитывает не только колебания уровней воды на верхних постах основной реки и притока, но и содержит в себе инерционный прогноз. Погрешность методики прогноза уровней воды оценивалась на независимом материале для 15 створов р. Амур [4]. Для этого с использованием рассчитанных параметров зависимостей выпускались проверочные прогнозы уровня для лет, данные которых не использовались для расчета параметров прогностических зависимостей. Показатели качества разработанных методик [1] позволяют использовать их для выпуска оперативных прогнозов уровня воды на гидрологических постах Амура.

Для осуществления выпуска краткосрочных прогнозов притока воды в Зейское водохранилище адаптирована концептуальная модель формирования стока на водосборе водохранилища [2]. Модель состоит из подмоделей, в блоках которых для высотных зон каждого района проводятся расчеты снегонакопления, снеготаяния, водоотдачи талой и дождевой воды, склонового притока и руслового добегания. Модель использует как метеорологическую информацию, так и данные наблюдений за уровнями воды в речной системе. Запасы воды в руслах рассчитываются по наблюдениям ежедневных уровней за 8 и 20 час. Влияние русловых запасов на прогнозируемый расход (уровень) возрастает вниз по течению реки.

Отрезки времени, в течение которых суточное поступление воды на поверхность бассейна превышает суточное испарение и про-

сачивание, образуют последовательные паводкообразующие периоды. Для каждых суток паводкообразующего периода рассчитывается водоотдача высотных зон по схеме Е.Г. Попова. В качестве показателей увлажнения на момент начала дождя использовался уровень воды одного из притоков, либо индекс предшествующих осадков.

В основе подмодели динамичной составляющей склонового притока в русловую сеть $q(t)$ лежит концепция динамичного (гравитационного) запаса воды $W(t)$ на склонах, связанного с $q(t)$ в общем случае не линейно [2]:

$$W(t+1) = W(t) + \varphi(t) \cdot (h - Z - I)_{t+1} - q(t+1) \quad (2)$$

$$q(t) = \alpha \{0.50[W(t+1) + W(t)]\}^p \quad (3)$$

где t – время; $\varphi(t)$ – относительная действующая площадь, в пределах которой происходит пополнение динамичного запаса воды (изменяется от нуля в состоянии высыхания бассейна, до $(1-\omega)$ при насыщении почвы водой); ω – доля постоянно бессточной площади в бассейне; h – слой подачи дождевой (талой) воды за расчётный интервал; Z – испарение; I – впитывание, связанное с пополнением базисного стока и определяемое по расходу воды $Q_{\min}$ в конце кривой истощения ($I = 86.4 Q_{\min} / F$, мм/сут); α – переменный коэффициент, учитывающий гидравлические условия и другие факторы; p – показатель степени (в первом приближении $p=1$); F – площадь водосбора.

В период поступления воды на водосбор $\varphi(t)$ определяется по ёмкостной модели водопоглощения Е.Г. Попова, параметр поглощения дождевых или талых вод (максимальные потери) – по эмпирической зависимости от косвенных показателей предшествующего увлажнения бассейна. В период истощения склонового стока, когда $(h - Z - I)_t < 0$, учитывается процесс снижения действующей площади $\varphi(t)$ по мере истощения запасов воды на склоне. Русловая трансформация склонового притока рассчитывается с помощью интеграла свертки

$$Q(t+\Delta t) = \left[\sum_{i=1}^n \int_0^{\Delta t} q_i(t+\Delta t-\tau) f_{q_i}(\tau) d\tau \right] + Q_w(t+\Delta t) + Q_{\min}, \quad (4)$$

где $Q(t+\Delta t)$ – расход воды в замыкающем створе; t – дата выпуска прогноза; Δt – заблаговременность прогноза; n – число ландшафтно-гидрологических районов, на которые разбит речной бассейн; $q_i(t)$ –

суммарный приток в русловую сеть с i -ого района; $f q_i(\tau)$ – кривая добегания бокового притока с i -ого района (функция влияния), рассматриваемая как плотность распределения времени добегания элементарных объемов воды в гидрологической системе [2, 4]; $Q_w(t+\Delta t)$ – составляющая расхода воды, обусловленная истощением начального (на момент t) запаса воды в русловой сети; $Q_{\min}$ – устойчивое (базисное) питание реки.

Выразив запас воды в русловой сети в зависимости от высот уровней воды $H_i(t)$ в пунктах наблюдений речной системы, получим следующее уравнение [2]:

$$Q(t+\Delta t) = [c_0 \sum_0^{\Delta t} q_i(t+\Delta t-\tau) f_{qi}(\tau) d\tau + \sum c_i (H_i(t) - H_{\min})^{y1} + \sum c_{i+n} (H_i(t) - H_i(t-1))]^{1/y2} + Q_{\min} \quad (5)$$

где: $Q(t+\Delta t)$ – прогнозируемый расход (уровень) воды в замыкающем створе (или приток воды в водохранилище); c_i , $y1$, $y2$ – коэффициенты; $H_{i \min}$ – минимальный уровень воды в i -том пункте речной системы, принятый за условный нуль отсчета; $Q_{\min}$ – то же в замыкающем створе. Параметры формул отдельных блоков модели определяются методами оптимизации и линейной регрессии.

Доведение прогнозов до конечных пользователей. Компонент подготовки прогностической продукции СПН «АМУР» на основе использования ГИС-технологий в автоматическом режиме формирует карты фактической и прогностической гидрологической обстановки на реках бассейна р. Амур, ход уровней воды на гидрологических постах и притока воды в водохранилище, а также табличную информацию. Подготовленная информация поступает потребителям прогнозов по сети Интернет.

Литературы

1. *Бориц С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В., Юмина Н.М.* Краткосрочное прогнозирование уровней воды на реке Амур // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 357. – С. 104–121.
2. *Бураков Д.А., Кареева Е.Д., Шайдулов В.В.* Математическое моделирование стока: теоретические основы, современное состояние, перспективы // Вестник Крас. ГУ. – 2006. – № 4. – С. 3–19.
3. *Пурина И.Э., Жабина И.И., Недачина А.Ю., Дегтярева Н.В., Маковская И.В.* Развитие информационных технологий в локальной

сети CRAY // 80 лет Гидрометцентру России. – М., ТРИАДА ЛТД – 2010. – С. 423-434.

4. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 245 с.

5. Степанов Ю.А., Жабина И.И. Новая версия автоматизированной технологии АСООИ на выделенном сервере Гидрометцентра России // М.: Труды Гидрометцентра России. –2011. – Вып. 346. – С. 146-169.

6. *Golnaraghi M.* Institutional Partnerships in Multy-Hazards Early Warning Systems: A compilation of Seven National Good Practices and guiding Principles. Springer, 2012 – 350 p.

7. Manual on Flood Forecasting and Warning. // World Meteorological Organization - No. 1072, Geneva, 2011. –138 p.

**ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАНДАРТА OpenMI
ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ НАВОДНЕНИЙ
(на примере среднего Амура)**

Бугаец А.Н.^{1,2}, Мотовилов Ю.Г.³, Беликов В.В.³, Гельфан А.Н.³,
Гончуков Л.В.⁴, Дод Е.В.⁵, Калугин А.С.³, Крыленко И.Н.^{3,4},
Морейдо В.М.³, Норин С.В.³, Румянцев А.Б.³, Сазонов А.А.³

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

²Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт, г. Владивосток

³Институт водных проблем РАН, г. Москва

⁴Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

⁵ОАО «РусГидро», г. Москва
hydrowpi@mail.ru

Возможности повышения эффективности управления риском наводнений – осуществления мер, позволяющих минимизировать наносимый наводнениями социально-экономический и экологический ущербы, – связаны, в значительной степени, с развитием методов оценки опасности, риска и возможных размеров будущих наводнений с учетом природных и антропогенных изменений, повышением заблаговременности и точности прогнозов формирования и

развития наводнений в реальном времени. Развитие перечисленных неструктурных мер защиты от наводнений создает основу для поддержки решений о выборе, повышении надежности и экономической эффективности структурных мероприятий — строительства водохранилищ, защитных дамб, изменения морфометрии русел и т.п., которые направлены на обеспечение необходимого уровня безопасности населения, социальных и производственных объектов.

В экономически развитых странах информационное обеспечение поддержки принятия решений по управлению риском наводнений осуществляется с использованием современных математических моделей формирования речного стока на водосборе и распространения паводковых волн в речных системах, моделей гидрогеологических процессов и русловых деформаций, моделей функционирования водохозяйственных систем и экологического риска, мезомасштабных метеорологических моделей и др. Выбор и объединение в действующую систему большого числа моделей, разнородных по структуре, детальности, требованиям к исходной информации — нетривиальная проблема, решение которой усложняется постоянным усовершенствованием старых и появлением новых моделей, развитием вычислительной техники, средств передачи информации, технологий измерений, сетевых ресурсов и т.п., появлением новых управленческих задач (например, при планировании гидротехнического строительства). Возможности решения этой проблемы связаны с созданием компьютерных технологий, инвариантных по отношению к особенностям используемых моделей, средств хранения и передачи данных, что позволяет интегрировать эти модели и средства в одну систему и сравнительно легко менять компоненты системы по мере разработки, например, более совершенных моделей, появления новых задач и объектов. Применение такой технологии — стандарта OpenMI — для разработки интегрированной системы информационной поддержки управления риском наводнений путем объединения современных гидрологических моделей (физико-математической модели формирования стока ECOMAG [1], одномерной гидродинамической модели MIKE 11 [2] и двумерной гидродинамической модели STREAM-2D [3]) продемонстрировано в настоящей статье на примере оценки влияния Зейского водохранилища на снижение опасности затопления в районе г. Благовещенска.

Интеграция моделей в системе OpenMI. Основой создания интегрированной системы является открытый стандарт моделиро-

вания OGC OpenMI 2.0 (OpenModellingInterface, www.openmi.org), разработанный консорциумом ведущих европейских институтов и коммерческих организаций в области гидроэкологии [4,5]. OpenMI – современный протокол обмена данными, позволяющий объединять численные модели, созданные на разных вычислительных платформах, имеющие разные требования к составу и пространственно-временному разрешению исходной информации и взаимодействующие с разными базами данных, средствами визуализации и т.п. OpenMI-совместимые модели могут объединяться в комбинированные системы по принципу plug&play (автоматического распознавания совместимости) и осуществлять обмен данными непосредственно в оперативной памяти компьютера без дополнительного программирования.

В ходе преобразования к стандарту OpenMI вычислительные ядра моделей ECOMAG (FORTRAN) и STREAM-2D (C++) были выведены в динамические библиотеки, предоставляющие внешним приложениям функции инициализации, выполнения расчетного шага и завершения. Модели могут работать как в своем обычном режиме, так и в системе OpenMI. Модель MIKE 11 имеет встроенную производителем поддержку OpenMI. Компонент ECOMAG может предоставлять данные о боковом и русловом притоке в любой точке (или на участке) раstra русловой сети. В процессе инициализации на основе данных, полученных из собственной БД компонента, создается необходимое количество портов обмена и физическое описание их содержимого. Компонент STREAM-2D на основе собственной пространственной структуры создает порты ввода, в которых ожидает данные о русловом и боковом стоке от ECOMAG и MIKE 11.

Для составления цепи расчетных элементов и соединения портов обмена данными использован графический интерфейс пользователя OpenMI (рис.1).

Соединения между моделями создаются указанием модели-источника данных и модели-потребителя, корректность соединения определяется пользователем.

В процессе расчетов компонент STREAM-2D запрашивает данные на своих верхних входных границах у ECOMAG и MIKE 11. Они выполняют соответствующее количество расчетных шагов до тех пор, пока не достигнут указанного в запросе времени. После этого STREAM-2D запрашивает и получает данные из соответст-

вующих портов вывода компонентов-поставщиков данных, передает их непосредственно на верхние границы и выполняет расчет. После завершения всех расчетов, пользователь может просмотреть результаты работы каждой модели, используя их собственные пользовательские интерфейсы.

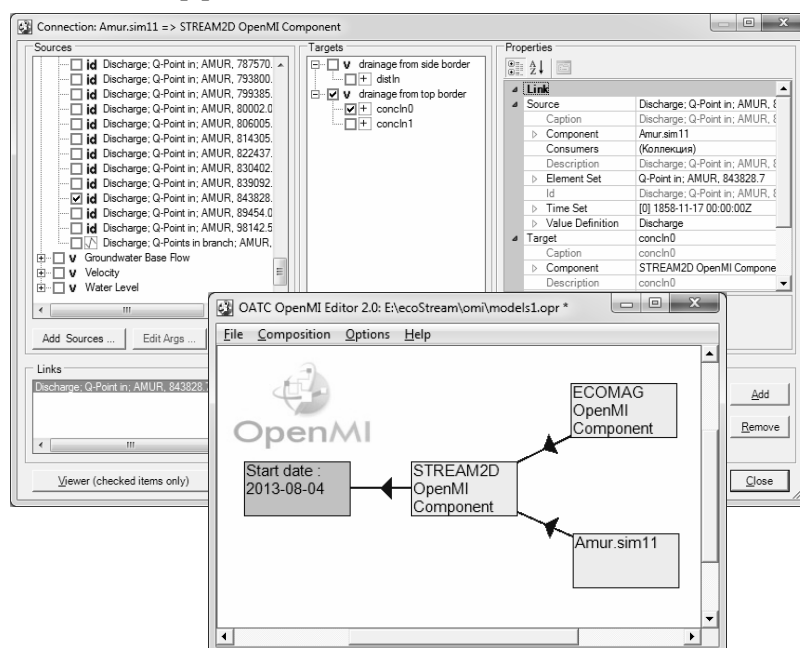


Рис. 1 – Компоненты интегрированной системы моделирования в окне конфигулятора GUI OpenMI

Описание численных экспериментов и результатов применения интегрированной системы гидрологического моделирования для оценки риска наводнений в бассейне Среднего Амура. Влияние регулирования Зейским водохранилищем катастрофического паводка 2013 г. на водный режим Среднего Амура впервые оценено с использованием моделей ECOMAG и MIKE 11 в [6,7]. В рассматриваемой работе численные эксперименты проведены на основе описанной выше интегрированной системы, включающей, помимо указанных, двумерную гидродинамическую модель STREAM-2D, также применявшуюся ранее для моделирования течений р. Амур в районе г. Благовещенска [8].

Для моделирования прохождения паводочной волны 2013 г. был выбран участок долины р. Амур вблизи г. Благовещенска, включая нижнее течение р. Зеи (рис.2).

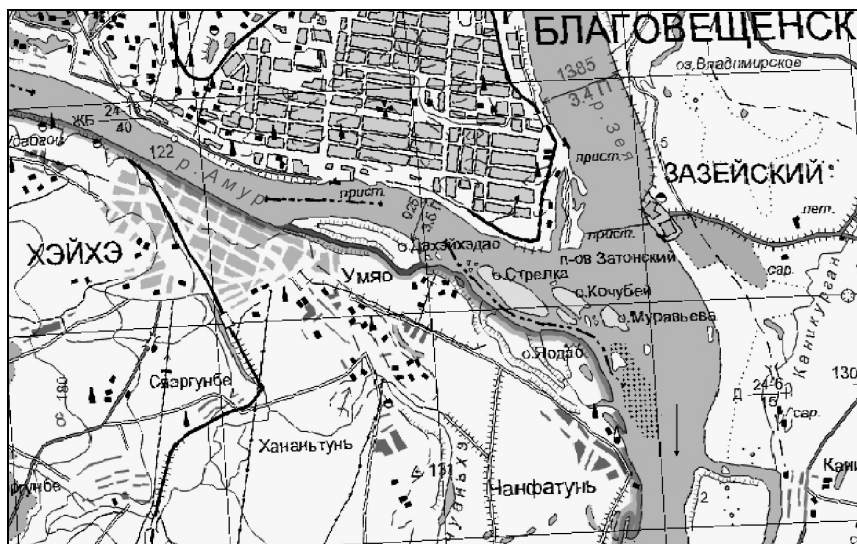


Рис. 2 – Карта района исследований вблизи г. Благовещенска

Расчеты стока в бассейне р. Зеи проводились по модели ЕСОМАГ. Калибровка параметров модели для водосбора р. Зеи и результаты независимых испытаний модели описаны в [6,7]. Одномерная гидродинамическая модель движения паводковой волны в речном русле на основе уравнений Сен-Венана MIKE 11 построена для 850-километрового участка Среднего Амура от г/п Кумара до впадения р. Сунгари с привлечением стандартной морфометрической и гидрометрической информации [6,7] и использована для задания граничных условий в модели STREAM-2D. Эта модель применена для расчётов параметров течения на участке вблизи г. Благовещенска. В основу модели заложена двумерная нестационарная система уравнений мелкой воды, описывающая движение жидкости в горизонтальной плоскости.

В качестве исходных данных для построения рельефа дна использовались результаты инженерно-гидрографической съемки участков русел рек Амур и Зея протяженностью более 23 км, выполненной в июле 2011 г., а также цифровая модель рельефа (ЦМР), полученная по стереопаре снимков спутника WorldView-1 (США)

22.09.2011 [8]. Расчетная область схематизировалась триангуляционным методом. По всему участку поверхности было получено сгущение по граням треугольников с шагом в 10 м. Массив точек, полученных сгущением по поверхности, использовался при интерполяции рельефа на расчетную сетку модели. Для расчёта использовалась треугольная сетка нерегулярной структуры со сгущением в русле рек. Для увеличения производительности количество ячеек в модели было снижено до 10000 (при стандартном значении для подобных объектов ~50000). Данное огрубление влияет на локальные особенности потока, но позволяет адекватно описать картину течений в общем на исследуемом участке.

Для задания верхних границ при расчете течений на участке вблизи г. Благовещенска, модель STREAM-2D с помощью соединений OpenMI управляет работой моделей MIKE 11 и ECOMAG, получая от них, соответственно, расчетные гидрографы рек Амур и Зея.

На нижней границе расчетного участка задавалась зависимость $Q=f(H)$ для г/п Гродеково. Результаты расчетов затопления на 14.08.2013 г. были совмещены с оцифрованными по космоснимку на эту дату границами затопления местности (рис. 3).

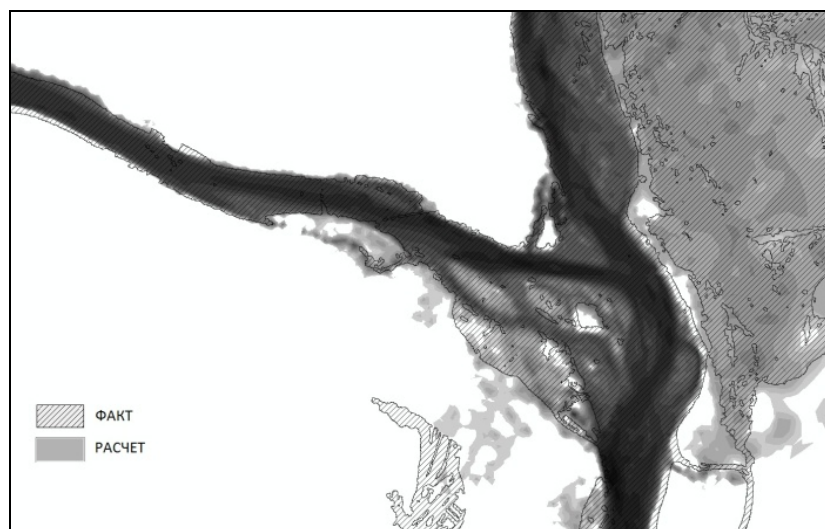


Рис. 3 – Фактические и расчетные границы затопления территории вблизи г. Благовещенска на 14.08.2013 г.

Как видно из рис. 3, разработанная моделирующая система позволила с удовлетворительной точностью оценить границы затопления у г. Благовещенска на пике экстраординарного паводка 2013 года.

При оценке противопаводковой функции Зейского водохранилища в первом эксперименте моделирование гидрографа стока в устье р. Зеи выполнялось с учетом фактических сбросов из водохранилища; во втором – в створе Зейского г/у в качестве сбросов задавался гидрограф притока воды к водохранилищу, т.е. задавался гипотетический сценарий отсутствия Зейского водохранилища. Срезка пика максимального притока 11.7 тыс. м³/с в водохранилище Зейским г/у на 1 августа составила ~ 10 тыс. м³/с. Разница в расходах воды р. Амур ниже слияния с р. Зеей, рассчитанных по двум сценариям, на 7 августа составила около 7.5 тыс. м³/с (рис.4). Срезка расхода воды р. Амур ниже слияния с р. Зеей при прохождении основного пика гидрографа 20 августа вследствие совпадения по времени повышенных сбросов из Зейского водохранилища и прохождения пика волны паводка на р. Селемдже составила свыше 2.3 тыс. м³/с.

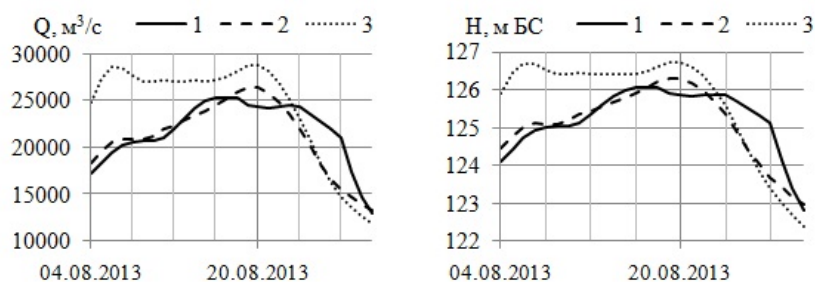


Рис. 4 – Фактические (1) и рассчитанные с учетом фактических сбросов из Зейского водохранилища (2) и при отсутствии регулирования стока водохранилищем (3) расходы и уровни воды р. Амур в 2013 г. в районе г. Благовещенска

Результаты расчетов границ и глубин затопления территории вблизи г. Благовещенска по двум сценариям представлены на рис. 5. Эти эксперименты показали, что регулирование стока Зейским водохранилищем существенно ослабило последствия наводнения на участке Среднего Амура в районе г. Благовещенска. В частности, расчеты трансформации волны паводка по гидродинамической модели показали, что отсутствие регулирующей емкости Зей-

ского водохранилища могло привести к росту уровней воды на подъеме волны паводка (7 августа) в районе г. Благовещенска на 1.5 м, а в пик паводка на р. Амур (20 августа) – к росту уровней на 0.45 м (рис. 4).

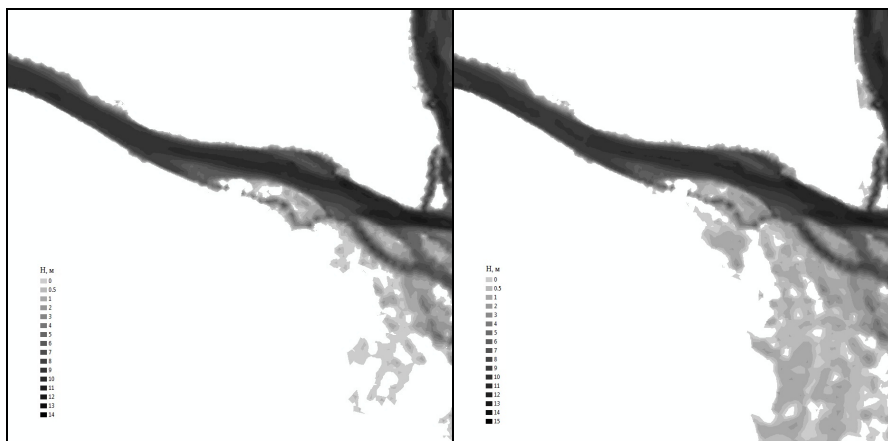


Рис. 5 – Расчетные с учетом фактических сбросов из Зейского водохранилища (слева) и при отсутствии регулирования стока водохранилищем (справа) глубины затопления территории вблизи г. Благовещенска на 14.08.2013 г.

Таким образом, регулирование стока Зейским водохранилищем позволило не только значительно снизить максимальные уровни на рассматриваемом участке р. Амур, но и в 2 раза сократить время стояния высоких вод.

Литература

1. Motovilov Yu.G., Gottschalk L., Engeland L., Rodhe A. Validation of a distributed hydrological model against spatial observation // Agricultural and Forest Meteorology. 1999. V.98-99. P.257-277.
2. <http://www.mikepoweredbydhi.com/>
3. Belikov V.V., Semenov A.Yu. A Godunov's Type Method Based on an Exact Solution to the Riemann Problem for the Shallow-Water Equations // Proc. 4 Eur. Comp. Fluid Dyn. Conf. (ECCOMAS 98). WILEY, New York, 1998. V.1. Part 1. P.310-315.
4. Бугаец А.Н. Применение стандарта OpenMI для создания интегрированных систем гидрологического моделирования // Метеорология и гидрология. 2014. №7. С.93-105.

5. Gregersen J.B., Gijsbers P.J.A., Westen S.J.P. OpenMI: Open modelling interface // Journal of Hydroinformatics. 2007. V.9(3). P.175–191.

6. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования // Водные ресурсы. 2014. Т.41. №2. С.111-122.

7. Мотовилов Ю.Г., Данилов-Данильян В.И., Дод Е.В., Калугин А.С. Оценка противопаводкового эффекта действующих и планируемых водохранилищ в бассейне Среднего Амура на основе физико-математических гидрологических моделей // Водные ресурсы. 2015. Т.42. №3. С.1-15.

8. Беликов В.В., Глотко А.В., Белоусова И.В., Завадский А.С. Применение численного гидродинамического моделирования для решения проблем пограничных водных объектов Сибири // Тр. Всеросс. научн. конф. с междунар. участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии», Барнаул, 2012. Т.1. С.7-15.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ПЕРИОД ПРОХОЖДЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ДОЖДЕВОГО ПАВОДКА НА АЛТАЕ В 2014 ГОДУ

Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б.,
Дьяченко А.В., Коломейцев А.А.

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

В связи с аномальными гидрометеорологическими условиями – экстремальными дождевыми осадками в предгорьях Алтая в конце мая – начале июня этого года возникла чрезвычайная гидрологическая ситуация, связанная с прохождением дождевого паводка по системе русел бассейна Верхней Оби. Были затоплены и подтоплены большие пойменные территории, имелись человеческие жертвы. Результаты выполненных исследований по прогнозированию и натурным наблюдениям паводковой ситуации на Верхней Оби в 2014 г. обсуждаются ниже.

Физико-географические и климатические предпосылки экстремального паводка на Верхней Оби следующие. Поверхность водосборного бассейна Верхней Оби имеет форму ступенчатого амфитеатра, открытого на север и постепенно понижающегося от горно-

го обрамления (с высотами до 3000–4000 м и выше – на Алтае) к равнинным территориям (до 150 м и менее). Река Обь, образующаяся в результате слияния рек Бия и Катунь, стекающих с Алтайских гор, является типичной равнинной рекой. Однако ее водный режим формируется не только на равнине, но и в горных условиях. В верхнем течении р. Обь (от места слияния Бии и Катунь до г. Новосибирска) отмечаются две волны половодья: одна – в начале, другая – в конце периода высоких вод. Первая волна обусловлена таянием снега на равнинной части водосбора и в предгорьях Алтая и получает значительное пополнение за счет впадающих в Обь рек Песчаная, Ануй, Чарыш, Алей, Чумыш и др. Ее максимум наблюдается в середине апреля – начале мая. Вторая волна формируется при таянии горных снегов и ледников и образуется преимущественно за счет вод Катунь, Бии, Чарыша и проходит в июне-июле. Вследствие этих особенностей весенне-летний гидрограф стока Верхней Оби имеет пилообразный вид с преобладанием двух четко выраженных максимумов [1].

Прогноз гидрологического режима р. Обь в период половодья является основой для подготовки вероятных сценариев затопления ее пойменных территорий. Этот прогноз опирается на данные о климатических условиях на территории бассейна в зимний период. Накопление снега за зимние месяцы предопределяет и общую для всей изучаемой территории многоводную фазу водного режима – весенне-летнее половодье. В зимние месяцы 2013-2014 гг. на равнинных водосборах Верхней Оби наблюдалось выпадение весьма незначительного количества твердых осадков. Снегозапасы в предгорьях Алтая также не сыграли существенной роли в формировании весеннего стока реки, так как этой зимой снега выпало 70% от среднемноголетней нормы. При раннем весеннем потеплении первая волна половодья, вызванная таянием снега на равнинах, прошла вообще незаметно. Прогнозировались соответственно небольшие расходы и для второй волны половодья. Причиной внезапного увеличения расходов р. Обь в период прохождения второй волны половодья 2014 г. стал экстремальный дождевой паводок – за неделю в предгорьях Алтая выпала двухмесячная норма осадков.

Анализ синоптической ситуации, обусловившей выпадение осадков в предгорьях Алтая в последнюю декаду мая 2014 г., показал следующее. В первой половине мая над югом Алтайского края и Республикой Алтай наблюдалась малооблачная погода без осадков.

В отдельные дни второй декады местами отмечались кратковременные ливневые дожди. В третьей декаде на Западную Сибирь сместился глубокий циклон, в системе которого циркулировал влажный атлантический воздух. К этому времени он достиг максимального развития (давление у поверхности земли 990мб, на высоте АТ500 - 524гПа), имел квазивертикальную пространственную ось и, практически, прекратил дальнейшее смещение на восток. Районы Алтайского края и Горного Алтая оказались на южной периферии глубокого циклона в зоне широтно расположенного малоподвижного полярного фронта с волнами. Большой контраст температур в прифронтовой полосе и влияние орографии способствовали при приближении к горам резкому усилению вертикальных токов воздуха на высоте 3-5 км. (до 200-300 см/сек.) и, соответственно, формированию мощной кучево-дождевой облачности.

В отдельные дни последней пятидневки мая местами метеостанции Республики Алтай отмечали осадки, имеющие 1-2% обеспеченность. В результате в течение третьей декады мая в северных районах Горного Алтая осадков выпало до 1,5-2 месячных норм, а местами в Шебалинском и Турочакском районах их сумма превысила месячную норму в 3-3,5 раза. Такое явление за период инструментальных наблюдений в Республике Алтай отмечено впервые. В начале июня произошла перестройка атмосферных процессов, осадки ослабели, хотя 4-5 июня 2014 г. при прохождении очередного холодного фронта местами ещё отмечались ливневые дожди.

Для расчетов волн половодий и паводков в системах русел в ИВЭП СО РАН разработаны оригинальные программные комплексы [2]. На их основе построены компьютерные модели для расчета течений в системе рек Верхней Оби. Это позволило с использованием методов математического моделирования по данным о подъеме уровней воды в р. Обь на г/п Фоминское ниже г. Бийска дать с заблаговременностью до 3-5 дней прогноз максимальных уровней у городов Барнаула и Камень-на-Оби.

Наряду с прогностическими расчетами расходов и уровней на Верхней Оби в период пика паводка выполнены инструментальные гидрологические наблюдения в нескольких репрезентативных створах с применением аппаратно-программного комплекса Sontek River Surveyor Live, в том числе у г. Барнаула.

Как отмечалось выше, на основе разработанной компьютерной 1DH-модели течений в системе русел Верхней Оби [2] выполнены

прогностические расчеты по моделированию катастрофического дождевого паводка на р. Обь в июне 2014 г. Следует отметить, что в начале июня на г/п Фоминское были зарегистрированы уровни воды, не достигавшие за весь период наблюдений. Потому в расчетах принята оценочная величина максимального расхода, равная $12500 \text{ м}^3/\text{с}$. Для г. Барнаула опасным является уровень воды 500 см над нулем г/п (132,90 м БС).

На рис. 1 представлен гидрограф уровня воды у г/п Барнаул, рассчитанный с заблаговременность до 3-х дней. По отметкам максимальных уровней воды в данном створе получено хорошее совпадение спрогнозированных и реально наблюдаемых максимальных уровней воды.

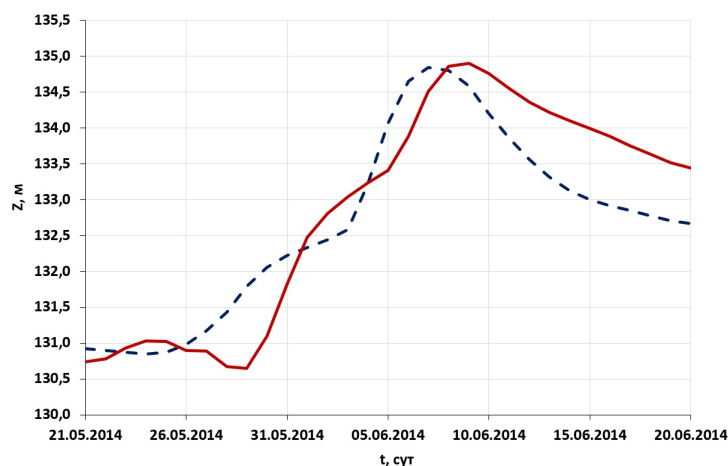


Рис. 1 - Гидрограф уровня водной поверхности z у г/п Барнаул

На рис. 2 представлено рассчитанное распределение уровней водной поверхности на 29.06.2014 вдоль русла р. Обь на участке в/п Барнаул – ниже створа плотины Новосибирской ГЭС. По оси абсцисс значение «0» соответствует г/п Камень-на-Оби; значение «-172» – створу плотины Новосибирской ГЭС.

Отметим, что рассчитанные и наблюдаемые уровни воды в Новосибирском водохранилище совпадают с графической точностью (до 15-20 см).

Расчетные данные по прогнозам уровней воды у г. Барнаула в оперативном режиме передавались в администрацию г. Барнаула и Верхне-Обское бассейновое водное управление (ВО БВУ).

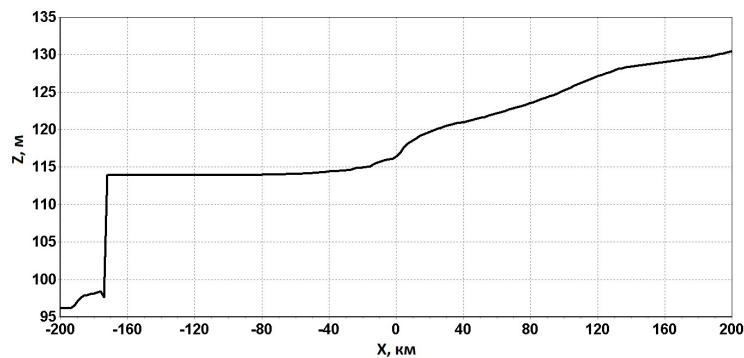


Рис. 2 - Распределение уровня поверхности воды z на 29.06.2014 вдоль русла р. Обь

В период экстремальной паводковой ситуации в системе Верхней Оби сотрудниками ИВЭП СО РАН проведены рекогносцировочные обследования поймы и берегов нескольких участках р. Обь. Натурные наблюдения в районе г. Барнаула проводились в период подъема и максимального пика уровня воды на данном участке р. Обь (4-6 и 8 июня 2014 г.). Обследование участков поймы и русла ниже г. Барнаула в районе с. Барсуково проводилось во время спада уровня воды после прохождения максимального пика паводка (10-11 июня 2014 г.). Выполнены измерения уровней воды р. Обь на организованных временных водомерных постах у пос. Затон и с. Барсуково, а также расходов р. Обь в нескольких характерных створах. Выявлено, что фактически измеренные расходы воды в створе временного гидрологического поста у пос. Затон до 10% превышают данные Алтайского ЦГМС (г. Барнаул) за соответствующие периоды паводка. Проблема определения больших расходов воды у г/п Барнаул требует дальнейшего изучения, поскольку связана напрямую с прогнозами приточности в Новосибирское водохранилище, регулированием его уровня и установлением режима сбросов в нижний бьеф НГЭС.

Таким образом, показано, что информационно-моделирующая система на основе численной одномерной модели течений в системе русел может быть успешно использована для создания системы принятия решений при опасных гидрологических ситуациях на участке Верхней Оби (прогнозы уровней затоплений пойменных территорий, установление режима сбросов из Новосибирского водохранилища и т.д.). Данные выполненных гидрологических наблю-

дений следует использовать для уточнения кривой связи «уровни-расходы» на г/п Барнаул.

Литература

1. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / отв. ред. Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных. Рос. Академия наук, Сибирское отделение. ИВЭП СО РАН – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 236 с.

2. *Зиновьев А.Т., Кудишин А.В., Шибких А.А.* Разработка ИМС для расчета течений в системе русел // Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально-экономическими системами. - Барнаул: Пять плюс, 2011. - С. 63-68.

О ВЫБОРЕ МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МАКСИМАЛЬНОГО ПАВОДОЧНОГО СТОКА

(на примере р. Адагум – г. Крымск)

Осипова Н.В.

Институт водных проблем РАН, г. Москва
osina14@yandex.ru

Правильный выбор метода оценивания параметров распределений паводочного стока в зоне максимальных значений очень важен для определения расчетных гидрологических характеристик и может существенно влиять на полученный результат. В статье обсуждаются три метода оценки параметров, используемые в современных гидрологических расчетах: метод моментов, метод наибольшего правдоподобия и метод L -моментов. Все расчеты выполнены на примере р. Адагум – г. Крымск, где в июле 2012 г. сформировался катастрофический паводок, приведший к образованию разрушительного наводнения.

Метод моментов заключается в приравнивании выражений для моментов распределения к соответствующим выборочным оценкам. Искомые оценки можно получить на основе рассмотрения количества моментов распределения, равного числу подлежащих оценке параметров и решения полученных уравнений относительно этих параметров. Метод подробно изложен во многих работах, например

[1] и др. Поскольку для большинства природных процессов характерно асимметричное распределение, недостатком метода для решения практических гидрологических задач является смещённость оценок при высокой асимметрии ($C_s=3-4C_v$) и больших значениях коэффициента вариации C_v . В тех случаях, когда смещение оценок невелико, оно может быть устранено с помощью простых поправок [2].

Метод наибольшего правдоподобия, преимущества которого по сравнению с методом моментов при выполнении гидрологических расчетов показаны в работах [3, 4], широко применяется в гидрологической практике. До практического использования он был доведен Е.Г. Блохиновым [5]. Метод наибольшего правдоподобия приводит к эффективным оценкам с малым случайным рассеянием. Оценки правдоподобия практически не смещены, то есть не имеют систематической погрешности, что легко можно установить с помощью статистических испытаний.

Недостатками метода являются громоздкость вычислений и зависимость формул для оценки статистических параметров от закона распределения, который, в свою очередь, устанавливается в зависимости от статистических характеристик. Данный метод, рекомендованный СП 33-101-2003 [6], реализован в приближенном виде для распределения Крицкого-Менкеля. Для экстремальных характеристик получение оценок параметров затруднено тем, что в некоторых диапазонах таких оценок не существует.

Метод L -моментов был детально описан Хоскингом [7] и нашел применение в практике расчетов приблизительно с 1997 г. Он имеет ряд существенных преимуществ при определении параметров в зоне экстремальных значений; поскольку L -моменты всегда существуют, в любом диапазоне значений могут быть получены достоверные оценки. Выборочные оценки параметров L -моментов – несмещенные, т.е. они слабо чувствительны даже к большим ошибкам, связанным с погрешностями получения исходной информации.

Другим очень важным методом является прямой способ определения параметров с помощью несложных математических действий. Подробно преимущества этого метода рассматривается в [8].

Для ряда законов распределения, в [7] приводятся соотношения параметров распределений и L -моментов. С целью упрощения использования метода L -моментов в практических расчетах построена номограмма для определения параметров трехпараметрического

гамма распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля (C_v , C_s/C_v) [9, 10].

Метод L -моментов эффективно работает с распределением обобщенных экстремальных значений [11]. В работах Мартинса и Стиденгера [12] представлены методы оценивания этого распределения на основе наибольшего правдоподобия для гидрологических приложений. Для ряда случаев полученные оценки более точны, чем те, которые используют L -моменты.

Для получения расчетных гидрологических характеристик обработаны данные о максимальных расходах воды по гидрологической станции р. Адагум – г. Крымск за многолетний период (1929 – 2012 гг.). Для определения расхода 1% обеспеченности использовалось три различных метода оценивания параметров распределения Крицкого-Менкеля. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные гидрологические характеристики максимального стока р. Адагум-г. Крымск (распределение Крицкого-Менкеля)

Характеристики	Метод моментов	Метод наибольшего правдоподобия	Метод L -моментов
	$Q_{\max}=1350 \text{ м}^3/\text{сек}$		
Среднее, $\text{м}^3/\text{сек}$	180	180	180
C_v	1,22	1,19	1,20
C_s/C_v	3	4	4
$Q_{1\%}$, $\text{м}^3/\text{сек}$	1060	1040	1040

Результаты расчетов квантилей 1% обеспеченности, выполненными независимыми методами, незначительно отличаются друг от друга; параметры, полученные методом наибольшего правдоподобия и методом L -моментов практически полностью совпадают во всем диапазоне значений, что хорошо иллюстрирует рис. 1.

Также выполнен расчет основных характеристик стока на основе L -моментных оценок с использованием обобщенного распределения экстремумов (GEV-распределения), которое дает отличные результаты именно в зоне экстремальных значений. Получены следующие оценки параметров: $Q_{\max}=1350 \text{ м}^3/\text{сек}$; средний расход за период наблюдений $180 \text{ м}^3/\text{сек}$; $C_v=1,16$; $C_s/C_v=2,6$; $Q_{1\%}=1050 \text{ м}^3/\text{сек}$. Следовательно, оценка по этому методу сравнима с результатами, полученными по методу наибольшего правдоподобия (см. рис. 2).

При решении гидрологических задач важно, что выборочная дисперсия L -моментных оценок может быть существенно меньше рассеяния оценок максимального правдоподобия, особенно при коротких выборках (порядка 20 лет) [7].

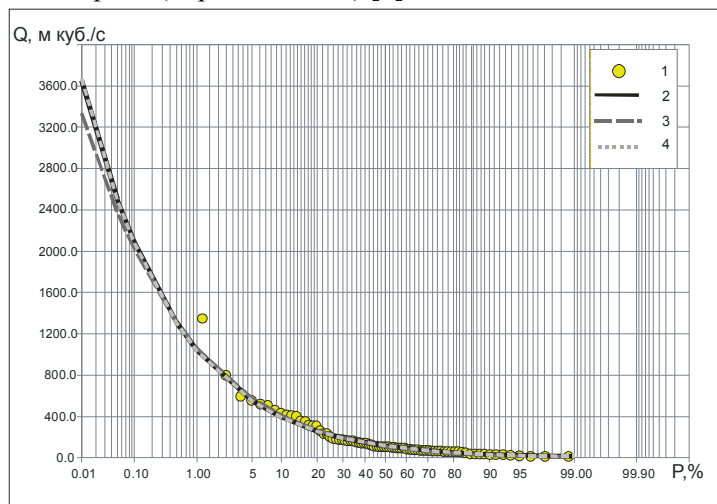


Рис. 1 – Совмещенные кривые обеспеченности Крицкого-Менкеля р. Адагум – г.Крымск. (1 - эмпирические точки, 2 - метод L -моментов, 3 – метод моментов, 4 – метод наибольшего правдоподобия)

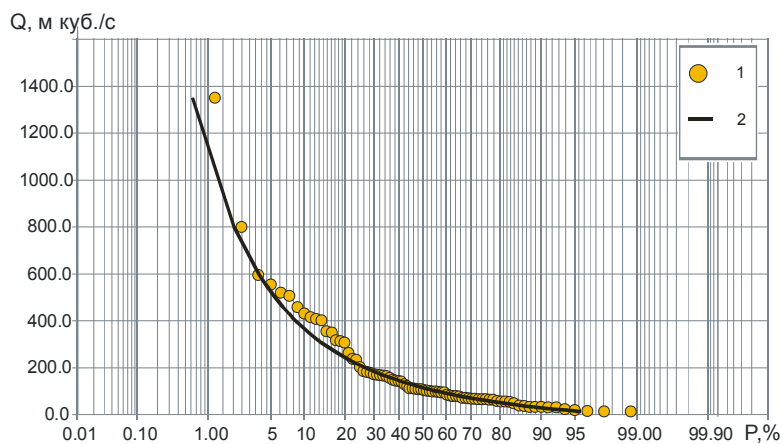


Рис. 2 – Кривая обеспеченности GEV-распределения: (1 – эмпирические точки, 2 - GEV)

В [13] показана эффективность использования метода L -моментов совместно с методикой усеченных распределений для оценок параметров экстремальных гидрологических характеристик.

В целом все методы оценивания параметров дают весьма близкие результаты и могут быть применены для различных типов распределений. Для оценки параметров кривых обеспеченности в зоне экстремальных значений можно рекомендовать использование методов наибольшего правдоподобия и L -моментов.

Литература

1. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Наука, 1981. 270 с.
2. Рождественский А.В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 424с.
3. Блохинов Е.Г. Исследования повторяемости дождевых паводков.// Сб. научных трудов Гидропроекта. 1960. №4. С.78-113.
4. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О применении метода наибольшего правдоподобия к выборочной оценке статистических параметров речного стока // Известия АН СССР, ОТН. 1949, №4. С.579-585.
5. Блохинов Е.Г. О распределении оценок квантилей, вычисленных различными методами (применительно к расчетам речного стока).// Труды ГГИ. 1969, вып. 162. С. 18-36.
6. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных гидрологических характеристик СП 33-101-2003. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. (Госстрой России), Москва, 2004.
7. Hosking J.R.M. L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. J.R. Statist. Soc. 1990, 52, № 1, p. 105-124.
8. Губарева Т.С., Гарцман Б.И. Оценка параметров распределений экстремальных гидрометеорологических величин методом L -моментов //Водные ресурсы, 2010, Т.37, №4, С. 398-407.
9. Болгов М.В., Мишон В.М, Сенцова Н.И. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. – Москва: Наука. 2005. 318 с.
10. Болгов М.В., Осипова Н.В. Новые стохастические модели и методы в инженерной гидрологии (обзор) //Сб. тр. конф. “Совре-

менные проблемы стохастической гидрологии”, Москва, 22-25 января, 2001. С. 30-36.

11. Руководство по гидрологической практике (ВМО - № 168), пятое изд., 1997. 843 с.

12. *Martins, E.S. and J.R. Stedinger*. Generalized Maximum Likelihood Pareto-Poisson Flood Risk Analysis for Partial Duration Series, *Water Resources Research* 37(10), 2001. P. 2559-2567.

13. *Осипова Н.В.* О выборе точки усечения в задаче аппроксимации распределения вероятностей максимальных расходов воды // *Водные ресурсы*. 2009. Т.36. №6. С. 668-681.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ МАКСИМАЛЬНЫХ ЖИДКИХ ОСАДКОВ И ПРЕДЕЛЬНО ВОЗМОЖНЫХ РАСХОДОВ ПАВОДКОВОГО СТОКА ДЛЯ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ПРИМОРЬЯ¹

Попова Н.О.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

Natalia.o.popova@gmail.com

Введение. В практике водохозяйственного проектирования для определения возможных максимальных расходов речного стока, превышающих наибольшие наблюдаемые величины, применяют как вероятностный подход, основанный на экстраполяции кривой обеспеченности, подобранной по имеющимся данным наблюдений за максимальным стоком, так и детерминистический, состоящий в оценке предельно возможных расходов стока, сформировавшегося в результате критического сочетания неблагоприятных метеорологических факторов и состояния речного бассейна. Детерминистический подход, который основан на представлении о существовании физически обусловленного предела максимальных расходов речного стока, дает дополнительную информацию по сравнению с вероятностными методами, особенно при коротких рядах наблюдений, по которым расчетные величины стока малых обеспеченностей оцениваются с большими погрешностями. Предельно возможные расходы дождевого стока определяются в практике гидрологиче-

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00700).

ских расчетов США, Японии и других стран на основе оценок возможной максимальной интенсивности ливневых осадков и, как правило, с использованием простых моделей трансформации экстремальных осадков в речной сток (например, метода единичного гидрографа). Перспективы построения оценок максимально возможного паводкового стока с использованием развитых физико-математических моделей его формирования на примере некоторых речных бассейнов России рассмотрены в работах [1, 2].

В данной работе методика расчета возможных максимальных осадков, разработанная Всемирной метеорологической организацией [3], впервые применена для построения их пространственного распределения в пределах крупных регионов России: ЕТР и Приморья. Предложен метод оценки предельно возможных расходов дождевого стока по рассчитанным величинам возможных максимальных осадков и данным о морфометрии речного бассейна. Показаны возможности предложенного метода для оценки предельно возможного дождевого стока на небольших реках в бассейнах Оки и Уссури.

1. Оценка возможных максимальных жидких осадков. Возможные максимальные осадки (*probable maximum precipitation*, РМР) определяются в [3] как наибольший слой осадков заданной продолжительности и площади распространения, физически возможный в определенных географических условиях и для определенного времени года без учета долгосрочных климатических тенденций.

Распространены два подхода к оценке РМР: гидрометеорологический, основанный на оценке физических обусловленных пределов содержания водяного пара в столбе атмосферы и статистический, опирающийся на имеющиеся данные метеорологических измерений максимальных осадков заданной продолжительности. Для применения гидрометеорологического подхода требуются многолетние ряды данных наблюдений за осадками разной продолжительности, температурой и влажностью воздуха, скоростью и направлением ветра на метеорологических пунктах, располагающихся на исследуемом бассейне и прилегающих к нему территориях. Для большинства речных бассейнов России такие детальные многолетние отсутствуют, поэтому для оценки пространственного распределения РМР в пределах крупных регионов мы использовали менее требовательный к исходным данным статистический подход.

Среди статистических подходов оценки РМР наибольшее распространение получил метод Хершвида, основанный на так называемом обобщенном частотном уравнении [4]. Максимальные возможные осадки заданной продолжительности рассчитываются по формуле [3]:

$$PMP = \bar{X}_N + K_m \sigma_N, \quad (1)$$

где $\bar{X}_N$ и σ_N – среднее значение и стандартное отклонение максимального в году слоя осадков заданной продолжительности, определенные по ряду наблюдений длиной N лет. Коэффициент K_m определяется из соотношения

$$K_m = \frac{X_M - \bar{X}_{N-1}}{\sigma_{N-1}}, \quad (2)$$

где X_M – максимальное значения слоя осадков заданной продолжительности в ряду из N годовых максимумов, $\bar{X}_{N-1}$ и σ_{N-1} – среднее и стандартное отклонение слоя осадков, определенные по ряду, длиной (N-1), полученном из исходного ряда с исключенным наивысшим значением X_M .

Хершфильд [5] по данным измерений слоя 24-часовых осадков для 2 700 станций на территории США определил значение $K_m=15$. Позднее было обнаружено, что K_m уменьшается для гумидных и растет для аридных территорий. Считается, что значение K_m довольно плавно изменяется в пространстве, поэтому для его определения для отдельной станции помимо расчетов непосредственно по этой станции рекомендовано использовать расчеты по соседним [3]. При этом для каждой станции в выбранной окрестности строится зависимость коэффициента K_m от среднееголетнего максимума осадков, проводится верхняя огибающая, используя которую по среднееголетнему максимуму осадков можно получить искомый коэффициент K_m .

В настоящей работе метод Хершфильда применен для оценки возможных максимальных жидких осадков за сутки по многолетним данным измерений максимальных суточных осадков на 473-м станциях ЕТР и 36-и станциях Приморья. Во избежание разнородности рядов наблюдаемых осадков, в работе использовались данные, начиная с 1967 года, когда на сети метеорологических станций СССР в существующие формулы расчета жидких осадков была введена поправка на смачивание осадкомерного сосуда. Данные по

ЕТР использованы из архива [6], а для территории Приморья данные любезно предоставлены сотрудниками ТИГ ДВО РАН и ДВ НИГМИ. Территория Кавказа в работе не рассматривалась, поскольку применение статистической методики ВМО для горной местности может приводить к большим ошибкам [7].

Для определения значений Km для каждой метеостанции были построены зависимости коэффициента Km от среднееголетнего максимума суточных осадков для ЕТР (рис. 1) и для Приморья (рис. 2).

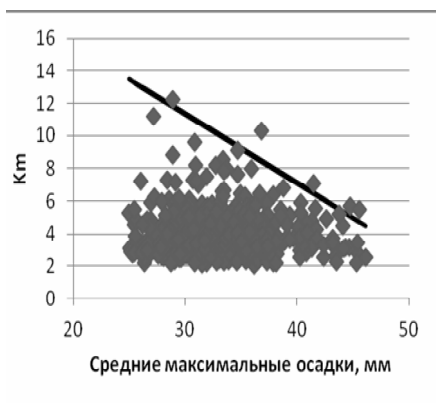


Рис. 1 – Зависимость коэффициента Km от среднееголетнего максимума суточных осадков для ЕТР и её верхняя огибающая



Рис. 2 – Зависимость коэффициента Km от среднееголетнего максимума суточных осадков для Приморья и её верхняя огибающая

Поскольку на ЕТР представлены различные разнородные климатические условия, для построения верхней огибающей была проведена генерализация метеостанций по среднееголетним максимумам, и выделены зоны с шагом 5 мм. Для каждой зоны рассчитаны максимальный Km и среднее среднееголетнего максимума суточных осадков, по которым построена верхняя огибающая для этой территории (рис. 1) для зон со средними максимальными осадками выше 25 мм.

По полученным зависимостям были рассчитаны значения Km для каждой станции и оценены возможные максимальные жидкие осадки. Расположение станций, значения максимальных суточных осадков, наблюдаемых на них, и рассчитанные максимальные возможные осадки показаны на рис. 3 и рис. 4.

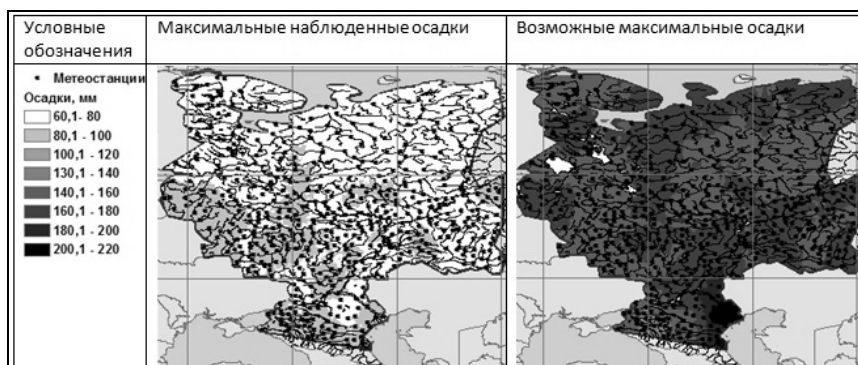


Рис. 3 – Распределение максимальных наблюдаемых и возможных максимальных осадков на ЕТР

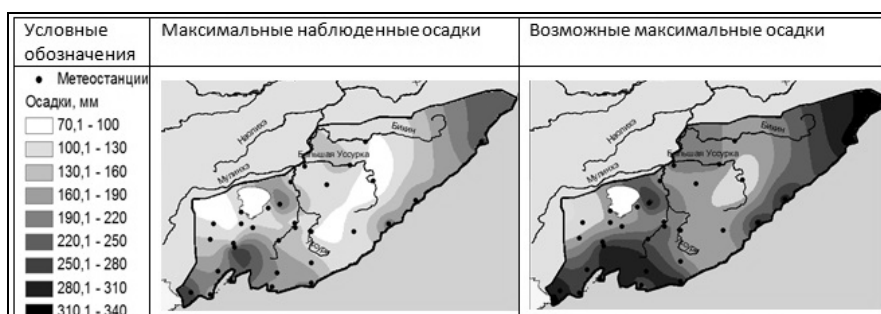


Рис. 4 – Распределение максимальных наблюдаемых и возможных максимальных осадков на территории Приморья

2. Методика и оценка максимально возможного расхода дождевого стока. Предельный возможный максимальный расход дождевого стока (PMF, probable maximum flood) может быть рассчитан по величине возможной максимальной интенсивности осадков, осредненной за время бассейнового добега, как

$$Q = m \cdot \eta \cdot k \cdot F + Q_{\text{баз}}, \quad (3)$$

где Q (м³/с) – максимальный расход воды, m (м/с) – максимальная точечная интенсивность осадков, осредненная за время τ_b добега воды по поверхности водосбора, η – коэффициент стока, учитывающий потери стока, k – коэффициент редукции осадков по площади, F (м²) – площадь водосбора, (м³/с) $Q_{\text{баз}}$ – базисный расход воды.

Расчет предельно возможных расходов паводкового стока производился для 12 речных бассейнов, относящихся к бассейну р. Оки, и для 6-ти бассейнов, относящихся к бассейну р. Уссури со временем бассейнового добегания τ_b порядка 1 суток.

Для бассейна р. Оки величина τ_b (час.) определялась по следующему выражению [8]:

$$\tau_b = k \cdot 1000 \cdot L / m \cdot I^{1/3} \cdot Q_{1\%}^{1/4}, \quad (4)$$

где α – коэффициент, зависящий от природной зоны (в диапазоне от 1,1 до 2); L (км) – длина главного водотока, m – коэффициент шероховатости русла (в диапазоне от 7 до 11), I (‰) – уклон выровненного продольного профиля реки.

Для рек бассейна Уссури бассейновое время добегания τ_b (час.) рассчитывалось с помощью следующей формулы [9]:

$$\tau_b = 432 \cdot F^{0.2} / I^{0.33}. \quad (5)$$

Морфометрические характеристики бассейна, входящие в формулы (4) – (5), определялись с помощью цифровой карты рельефа 1 км разрешения.

Оценка редукции осадков по площади определялась с помощью эмпирических зависимостей [12]. Выявлено, что для рассматриваемых условий (небольшая площадь водосборов, осадки, продолжительностью сутки) коэффициент редукции осадков по площади изменяется от 0,94 до 0,91 в зависимости от площади водосбора.

Базисный сток, формирующийся за счет подземных запасов вод, не оказывает значительного влияния на расходы предельно возможного паводка (при расчетах не учитывался; потери стока также не учитывались ($\eta=1$)). Таким образом, использованная формула расчета предельно возможных расходов паводкового стока выглядит следующим образом:

$$Q_{PMF} = k \cdot m_{PMF} \cdot F. \quad (6)$$

Оценки предельного максимального стока по формуле (6) является либеральной (оценкой сверху), так как не учитываются потери дождевого стока. Полученные оценки предельно возможных расходов паводкового стока для всех рассмотренных бассейнов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Предельно возможные расходы для бассейнов
р. Ока и р. Уссури

№ поста	Река – Створ	F, км ²	τ_6 , сутки	РМР-суточные, мм	РМФ, м ³ /с	Q max наблюдаемые, м ³ /с
75591	р.Лух - пгт Лух	587	1,2	175	921	282
75430	р.Малая Истра - д. Киселево	280	1,2	139	339	49,7
75422	р.Озерна - д. Городище	364	0,6	132	949	76,5
75409	р.Лусянка - д. Черники	170	0,7	132	361	109
75306	р.Ока - д. Вендерево	513	0,8	149	985	175
75168	р.Суда-Борисово-Судское	2440	1,5	147	2583	139
75239	р.Кострома-Гнездиково	800	1,3	184	1256	253
75266	р.Шача-Приволжск	601	1,3	179	866	161
75334	р.Рыбница-Любаново	709	1,4	149	792	79,6
75348	р.Нутрь-Болхов	1010	1,3	153	1234	330
75387	р.Путынка-Малахово	153	0,9	154	275	19,9
75561	р.Серая-Новинки	293	1,1	146	413	73,1
5132	р. Павловка - с.Антоновка	2670	0,9	195	6587	680
5148	р. Арсеньевка - пос. Виноградовка	940	0,9	241	2761	596
5160	р.Муравейка - пос. Гродеково	761	0,8	241	2361	261
5171	р.Крыловка - с.Крыловка	1070	0,7	180	2800	632
5262	р.Дальняя - п.Восток	780	0,6	177	2462	942
5263	р.Дальняя - с.Глубинное	2740	0,8	177	6386	1610

Как видно из табл.1, полученные оценки предельно возможных расходов для рассмотренных бассейнов превышают максимальные наблюдаемые в среднем в 7 раз.

Автор признателен профессору кафедры гидрологии суши МГУ им. М.В. Ломоносова д.г.н. Н.Л. Фроловой, ведущему научному сотруднику ТИГ ДВО РАН д.г.н. Б.И. Гарцману и старшему научному сотруднику ДВ НИГМИ к.т.н. А.Н. Бугайцу за предоставленную гидрометеорологическую информацию.

Литература

1. Кучмент Л.С., Гельфан А.Н., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г., Смахтин В.Ю., Назаров Н.А. Применение физико-математических моделей формирования речного стока для оценки степени опасности катастрофических наводнений// Метеорология и гидрология 1994. №4. С. 93-100.
2. Кучмент Л.С., Гельфан А.Н. Оценка опасности и возможных размеров катастрофических наводнений. Природные опасности России. //Гидрометеорологические опасности (под ред. Г. С. Голицына, А. А. Васильева). М.: КРУК. 2001. С. 64-82
3. World Meteorological Organization, 1986. Manual for estimation of probable maximum precipitation. Operational hydrology, Report.1. WMO-No.332, 269
4. Chow V.T. A General Formula for Hydrologic Frequency Analysis, American Geophysical Union. 1951.
5. Hershfield, D.M., 1961: Estimating the probable maximum precipitation. Journal of Hydraulics Division: Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 87: 99–106.
6. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТР), 2008 (<http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#> доступ-к-данным).
7. Maidment, D.R., Handbook of Hydrology, 1993. New York, McGraw Hill.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 10. Верхне-Волжский район, Гидрометеиздат, 1973. . 493 с
9. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 18 Дальний Восток, выпуск 3, Приморье, Гидрометеиздат, 1972. 477 с
10. Методические рекомендации по расчету максимального дождевого стока и его регулированию. М., Союздорпроект, 1981, 142 с.
11. HMR52: Probable Maximum Storm Computation (Eastern U.S.) User's Manual March, 1984 U.S. Army Corps of Engineers Water Resources Support Center The Hydrologic Engineering Center.
12. Omolayo, A.S., 1993. On the transposition of areal reduction factors for rainfall frequency estimation, Journal of Hydrology 145: 191-205.

ОЦЕНКА РИСКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ТЕХНОГЕННЫХ ПАВОДКОВ НА ОБЪЕКТЫ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Румянцев А.Б., Беликов В.В.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
iwp.alex.rum@gmail.com

Целью настоящей работы являлся расчет и анализ рисков для сооружений Балаковской АЭС от аварий на гидротехнических сооружениях Жигулевской и Саратовской ГЭС, вызывающих волну прорыва, для принятия последующих решений по предотвращению негативных последствий для Балаковской АЭС. Расчеты воздействия экстремальных гидрометеорологических явлений на сооружения АЭС стали проводиться после аварии на АЭС Фукусима (Япония).

Разработана компьютерная гидродинамическая модель Куйбышевского, Саратовского и части Волгоградского водохранилищ (до г. Вольск), основанная на трехмерной цифровой модели рельефа (ЦМР) всего участка с учетом чертежей сооружений гидроузлов и АЭС и численном решении двумерных уравнений Сен-Венана на области моделирования. Выполнены расчеты волны прорыва грунтовой плотины Куйбышевского гидроузла в условиях половодья обеспеченностью 0.01% (расход 78300 м³/с) и с учетом воздействий ветра обеспеченностью 1% (скорость 36.5 м/с) разных направлений с детализацией в районе Балаковской АЭС и Саратовской ГЭС.

В такой постановке расчеты проводились впервые. Выполненные до этого различными организациями расчеты параметров волны прорыва Куйбышевского гидроузла проводились либо на фоне среднеегодового расхода р. Волги и уровня воды у Саратовского гидроузла, равного НПУ=28.0 м, либо при наложении волны прорыва на половодье обеспеченностью 0.01%, но в обоих случаях без учета ветрового воздействия. Методика расчетов разрабатывалась с учетом поставленной цели и особенностей рассматриваемого объекта. Для расчета вероятных воздействий от прохождения волны прорыва были разработаны возможные сценарии гидродинамической аварии, определены вероятности этих сценариев, рассчитаны параметры волны прорыва (гидрографы излива, максимальные подъемы уровней воды в районе АЭС, глубины затопления, скорости течения), отрисованы зоны затопления на топографических кар-

тах и космических снимках. При моделировании широко применялись ГИС-технологии.

Построение компьютерных моделей Куйбышевского и Саратовского водохранилищ с детализацией в районе Балаковской АЭС. При построении компьютерной модели водохранилищ производилось формирование цифрового рельефа. Электронная топографическая карта совмещалась с векторизованными лоцманскими картами Куйбышевского, Саратовского и части Волгоградского водохранилищ, а так же чертежами гидротехнических сооружений. Формировалась цифровая модель рельефа (ЦМР) в виде трехмерного поля точек с координатами x, y, z (рис.1). После этого отметки рельефа интерполировались в центры ячеек треугольно-четыреугольной расчетной сетки при помощи специальной программы по оригинальной методике [1].

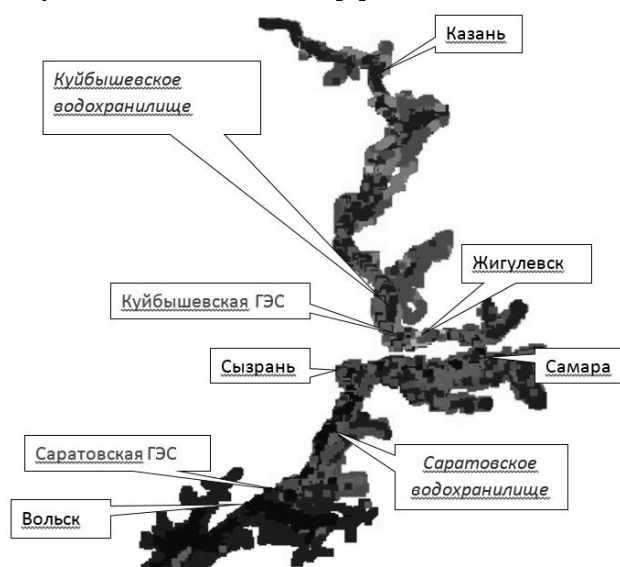


Рис. 1 – Цифровая модель рельефа Куйбышевского, Саратовского и части Волгоградского водохранилищ с детализацией в районе Балаковской АЭС

При построении двумерной модели применялись гибридные треугольно-четыреугольные сетки нерегулярной структуры, адаптированные к геометрическим и батиметрическим особенностям рассматриваемого объекта. В старом русле реки Волги в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах, а также на плотинах Жигулевского и Саратовского гидроузлов и ограждающей дамбе водо-

ема-охладителя Балаковской АЭС строилась четырехугольная сетка, а на остальной области – треугольная. В итоге была построена сетка для глобальной модели, содержащая около 69 тыс. ячеек с длинами сторон от 100м до 1500 м, общей протяженностью по руслу Волги около 700 км, а так же сетка для локальной модели длиной около 100 км с ячейками от 20м до 500 м, фрагмент которой приведен на рис. 2.

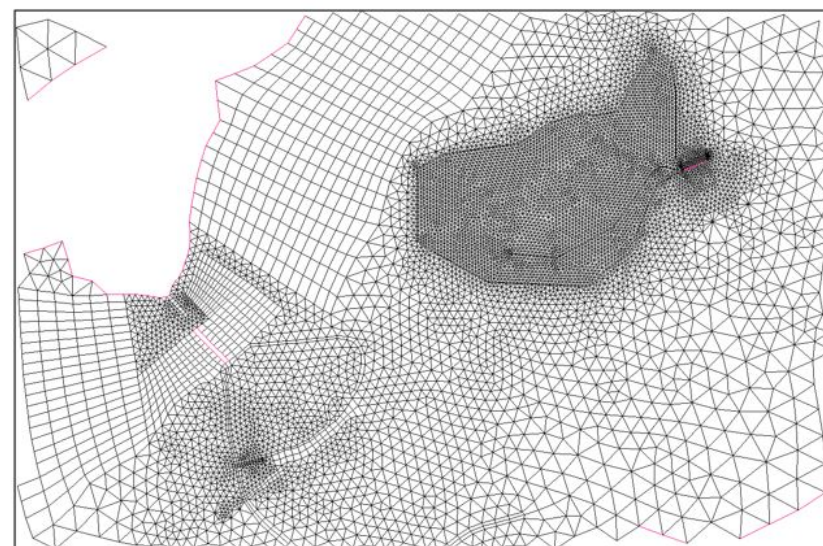


Рис. 2 – Фрагмент расчетной сетки в районе Саратовского гидроузла и водоема-охладителя Балаковской АЭС

Важным этапом при построении компьютерной гидравлической модели объекта является калибровка модели, т.е. настройка на данный объект путем подбора входящих в модель параметров таким образом, чтобы получить согласование с имеющимися натурными данными. В работе использовались имеющиеся гидрологические данные по расходам и уровням воды на водомерных постах Самара, Сызрань, Вольск и Саратов в половодья 1979, 1981 и 1986 годов, а также кривые связи расходов и уровней в нижних бьефах Жигулевского и Саратовского гидроузлов.

Анализ соответствующих данных показал, что при прохождении каждого из этих половодий существовал период времени, равный примерно 7 суткам, в течение которого расходы через гидроузел оставались практически постоянными, а уровни на водомер-

ных постах изменялись незначительно. Это позволило провести калибровку при постоянных расходах воды 38000 м³/с и 27300 м³/с, значения которых задавались на входной границе расчетной области течения. На выходной границе расчетной области в створе г. Вольск принимались абсолютные уровни воды.

Выполнение расчетов. Расчеты проводились по модели STREAM_2D [2], построенной на основе двумерных уравнений Сен-Венана с использованием трехмерной батиметрии водохранилищ и кривых пропускной способности Куйбышевского и Саратовского гидроузлов, причем для последнего кривая была доопределена до величины расхода 100 тыс. куб. м/с (с учетом работы Балаковского шлюза). Для расчета развития прорана в грунтовой плотине Куйбышевского гидроузла применялась хорошо апробированная методика А.М. Прудовского [3], по которой ранее выполнены расчеты волны прорыва для Ивановского, Угличского, Рыбинского, Камского, Новосибирского, Цимлянского, Краснодарского и еще более 50 гидроузлов России.

Расчеты ветровых нагонов проводились также по программе STREAM_2D путем включения в расчеты ветровых напряжений на свободной поверхности воды при заданной 1% скорости ветра 36.5 м/с различных румбов. При этом предполагалось, что скорость ветра начинает нарастать одновременно с началом развития прорана в створе Куйбышевской ГЭС.

Параметры ветровых волн и их воздействие на гидротехнические сооружения Балаковской АЭС рассчитывались в соответствии с нормативной документацией. Параметры волнения рассчитывались с учетом затопления от волны прорыва и ветровых нагонов.

В результате расчетов определялись максимальные уровни воды у сооружений Балаковской АЭС при различных сценариях развития гидродинамической аварии с учетом воздействия ветров различных направлений, а также максимальные глубины затопления (см. рис. 3) и скорости течения у ограждающей дамбы №1 водоема-охладителя, волновое воздействие на дамбу и другие сооружения АЭС.

Расчеты показали сложную динамику взаимодействия паводкового потока, волны прорыва, ветровых нагонов и ветровых волн, при различных сочетаниях которых формируются разные уровни водной поверхности и параметры волнения у сооружений АЭС.



Рис. 3 – Максимальные глубины затопления у ограждающей дамбы № 1 водоема-охладителя

Оценка вероятностей и рисков рассматриваемых сценариев. Повторяемости половодья 1 раз в 10000 лет и ветра – 1 раз в 100 лет заданы по условиям расчетов. Поскольку наибольшие уровни воды у сооружений Балаковской АЭС возникают при ветрах Юго-Западного (годовая повторяемость 18%), Северного (16%) и Северо-Западного (13%) направлений, постольку суммарную вероятность 1% ветров именно этих направлений можно оценить величиной $4.7 \cdot 10^{-3}$ в год. Согласно СНиП 33-01-2003 «ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ» допускаемое значение вероятности возникновения аварий на напорных гидротехнических сооружениях I класса (Куйбышевский г/у) равно $5 \cdot 10^{-5}$. Эти три случайных события можно считать независимыми, поскольку Куйбышевский гидроузел пропускает половодье 0.01% при ФПУ в расчетном режиме. Исходя из приведенных значений вероятностей, можно сделать следующие оценки вероятности рассматриваемых сценариев:

- Вероятность наложения 1% ветра опасных для Балаковской АЭС румбов на 0.01% половодье равна $4.7 \cdot 10^{-7}$. Повторяемость та-

кого события – один раз в два миллиона лет. При этом площадка Балаковской АЭС не затопливается, но может произойти перелив и частичное разрушение ограждающей дамбы водоема-охладителя;

- Вероятность наложения волны прорыва Куйбышевского гидроузла на 0.01% половодье ничтожно мала и равна $5 \cdot 10^{-9}$. При этом площадка Балаковской АЭС не затопливается, но произойдет разрушение напорного фронта Саратовского гидроузла из-за перелива через гребень грунтовой плотины;

- Вероятность совпадения во времени трех экстремальных событий (половодья 0.01%, ветра 1% опасных румбов и волны прорыва Куйбышевского г/у) пренебрежимо мала и равна $2.35 \cdot 10^{-11}$. При этом площадка Балаковской АЭС может подвергнуться подтоплению на глубину не более 0.2 м.

По результатам этих расчетов построен обобщающий график повторяемости высоких уровней воды в районе Балаковской АЭС (рис. 4), на котором нижняя кривая соответствует осредненным уровням воды с учетом ветрового нагона, но без учета волнения, а верхняя кривая дает отметки гребней экстремальных волн (каждая сотая волна).

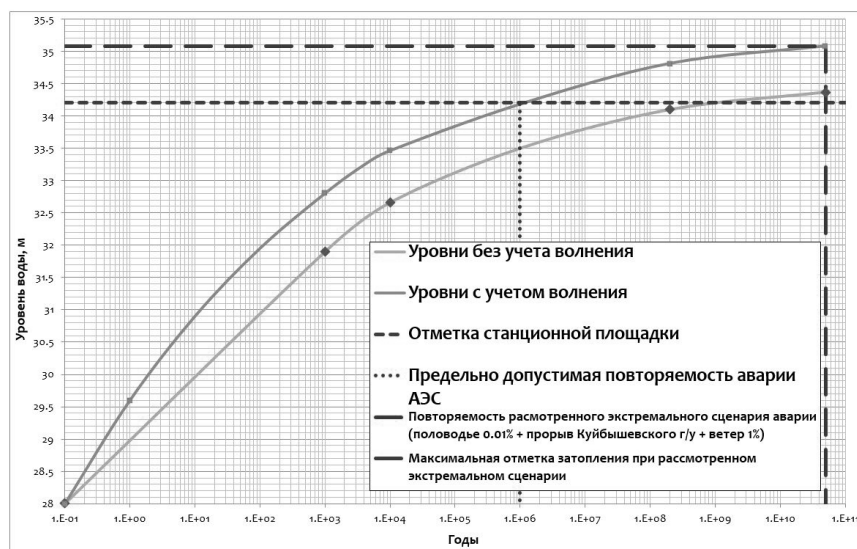


Рис. 4 – График повторяемости высоких уровней воды в районе Балаковской АЭС

Из графика (рис. 4) видно, что при вероятности критического наложения экстремальных событий с частотой реализаций 10^{-6} площадка АЭС расположена выше гребней волн. Этим обосновывается, согласно п.6.10 НП-064-05, отказ от проведения мероприятий по исключению повреждений при внешних воздействиях зданий и сооружений, важных для безопасности.

Литература

1. Беликов В.В., Иванов В.Д., Канторович В.К. и др. Несибсоновская интерполяция – новый метод интерполяции значений функции на произвольной системе точек. //Журнал вычислительной математики и математической физики. 37, №1, 1997.
2. Беликов В.В., Кочетков В.В. Программный комплекс STREAM_2D для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014612181. М., 2014.
3. Прудовский А.М. Образование прорана при прорыве земляной плотины // В сб.: Безопасность энергетических сооружений, вып. 2. -М.: АО "НИИЭС". 1998. С. 67-79.

ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ГЕОГРАФИЯ РИСКОВ ОПАСНЫХ НАВОДНЕНИЙ И МАЛОВОДИЙ НА РЕКАХ РОССИИ²

Семёнов В.А.
ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск,
semven@meteo.ru

Для современных изменений климата на территории России характерно увеличение его экстремальности, региональными гидрометеорологическими последствиями которой являются изменения рисков повторяемости опасных наводнений. Гидрологической основой наиболее распространённых половодных и паводочных наводнений являются максимальные расходы воды рек, устанавливаемые по результатам сетевых наблюдений Росгидромета. Кроме того изменения климата обуславливают увеличение повторяемости

²Работа выполнена при финансовой поддержке Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-05-41172).

на реках маловодий при экстремально низкой межени, что усложняет эксплуатацию водохозяйственных сооружений, работу речного транспорта, гидроэнергетики. При ожидаемом усилении экстремальности климата возможно усиление негативных последствий этих и других естественных факторов. Основываясь на материалах сетевых наблюдений за период 1986-2010 гг. на 85 реках с наименее нарушенным хозяйственной деятельностью гидрологическим режимом, а также на собранных в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ежегодных сведениях об опасных гидрологических явлениях на реках с учтённым ущербом за 1991-2010 годы, в работе приведены оценки изменений максимальных и минимальных расходов воды, их сравнение с направленностью и частотой опасных наводнений и маловодий на территории России.

Предлагается гидролого-климатическое районирование территории России по изменениям рисков опасных наводнений и маловодий рек.

Изменения максимальных расходов воды и опасных наводнений. Результаты трендового анализа максимальных расходов воды за 25-летний период конца XX – начала XXI столетий свидетельствуют, что направленность изменений наибольших годовых расходов воды рек на территории России имеет зональный характер. Для большинства рек субполярного пояса на Азиатской части территории России (АЧТ) характерны положительные изменения максимальных расходов воды, а на Европейской территории (ЕТР) преобладает их уменьшение или отсутствие изменений (см. табл. 1). В средних широтах АЧТ тоже преобладало увеличение максимальных расходов воды, а на северных и средних широтах европейской части территории – уменьшение. Уменьшение максимальных расходов воды было наиболее характерно для равнинных рек южной территории России (ЕТР, Забайкалье, бассейн Амура, Приморье). На реках АЧТ, формирующих сток в высокогорном поясе Алтая и Саян, максимальный сток в последние 20-30 лет тоже уменьшался, а на больших реках, формирующих сток в нескольких высотных поясах-увеличивался. Для рек Северного Кавказа характерно увеличение максимального стока во всех высотных поясах.

Такое распределение направленности изменений максимальных расходов воды определяется, прежде всего, изменениями количества сезонных осадков. Для зимнего периода этого 25-летия характерно увеличение на большей, азиатской части территории страны

количества зимних осадков и запасов воды в снежном покрове к началу снеготаяния. Уменьшение снегозапасов, особенно на зале-сённых территориях, отмечено в северных, южных и западных рай-онах ЕТР, где зимние оттепели и увеличение продолжительности снеготаяния не способствовали формированию высоких миниму-мов весеннего половодья. Увеличение количества зимних осадков на территории ЕТР наблюдалось на Северном Кавказе и на Урале. Увеличение количества весенних осадков было характерно для Дальнего Востока, горных районов юга Сибири, Кавказа.

Таблица 1 – Направленность и количество случаев изменений максимальных и минимальных расходов воды за 1986-2010 гг.

Бассейны рек	Количество случаев изменений расходов рек								
	Максимальные годовые расходы			Минимальные расходы теплого периода			Минимальные расходы зимнего периода		
	A*	B*	C*	A*	B*	C*	A*	B*	C*
Север ЕТР	-	3	3	-	4	-	3	2	2
Волга	1	-	2	2	3	-	3		-
Кама, Печора	1	2	1	1	1	-	2	3	-
Северный Кавказ	3	-	2	3	1	1	-	-	-
Верхняя Обь	4	3	-	2	5	1	3	3	1
Верхний Енисей	1	3	-	3	1	1	5		
Забайкалье	-	10	-	1	9	-	-	8	1
Лена, Яна, Колыма	8		-	8	-	-	8	-	-
Амур	1	3	4	2	5	1	6	3	2
Приморье	2	4	3	3	1	4	3	3	2

* Обозначение: A – увеличение; B – уменьшение; C – отсутствие изменений

Результаты совместного анализа пространственных и времен-ных изменений максимальных расходов воды рек и частоты опас-ных наводнений показывают, что эти изменения не всегда анало-гичны. В субарктическом поясе, на Северо-Востоке страны, наибо-лее часто опасные наводнения стали повторяться в бассейне р. Ко-

лыма при выпадении обильных и продолжительных осадков. В субарктических районах и средних широтах азиатской территории, северных широтах европейской части территории частота опасных наводнений возрастает также от ледовых заторов и при отсутствии роста максимальных расходов воды рек, что наиболее характерно для бассейнов Лены, Енисея, Оби, Северной Двины.

В горных районах при современном потеплении увеличению частоты опасных наводнений способствует возрастание площади одновременного снеготаяния и выпадения опасных дождей одновременно на нескольких высотных поясах, что при неизменности максимальных расходов воды малых рек, за счёт большего количества их суммирования приводит к увеличению максимального стока и высоте наводнения на больших реках (например, наводнения 2014 года в бассейнах рек Бии, Катунь, Чарыша в Горном Алтае). В бассейнах рек Северного Кавказа в рассматриваемый период происходило также увеличение частоты опасных наводнений и селевых потоков, обусловленное повышенной снежностью зимой, обильных или ливневых осадков редкой повторяемости в летне-осенний период.

Характерной особенностью конца XX и начала XXI века является смена зональных типов циркуляции на меридиональные. На азиатской территории при нарушении зональной циркуляции преобладает меридиональный южный тип циркуляции, при котором происходит заток воздуха с юга и с океана на территорию Дальнего Востока России. При таком состоянии атмосферной циркуляции влияние океана на определенные области усиливается либо ослабевает, тем самым создавая большие пространственные различия в аномалиях температуры и осадков, которые могут распространяться на большие расстояния. Поэтому в последние годы на азиатской территории, особенно в южных широтах Дальнего Востока, к увеличению опасности наводнений приводят изменения атмосферной циркуляции, обуславливающие выпадение большого количества атмосферных осадков за продолжительный период времени (например, в бассейне Амура в 2013 году). По исследованиям Б.И. Гарцмана и других [1] аналогичная ситуация сложилась в осенне-зимний период в 2012 г. на реках Приморья.

Последствием изменений климата для Дальнего Востока в последние годы стало характерно увеличение снежности зим, а это обуславливает возрастание роли снеговой составляющей в форми-

ровании опасных наводнений [2]. Но в целом для территории России в последние годы (2011-2014 гг.) наиболее характерно увеличение количества опасных дождей и наводнений в половодье, что свидетельствует об увеличении роли очень сильных осадков в формировании опасных наводнений [3].

В результате анализа территориально-временных изменений максимальных расходов воды, опасных наводнений и основываясь на климатическом районировании территории СССР, предложенном Б.П. Алисовым [4], на территории России наиболее чувствительными к изменениям климата в части частоты опасных наводнений на реках являются следующие районы.

1. Территория Тихоокеанской и Сибирской климатических областей субарктического пояса. При прогнозируемом дальнейшем повышении температуры воздуха и выпадения количества осадков возможно увеличение частоты половодных и паводочных наводнений, а на реках бассейнов Лены, Яны, Индигирки, Анабар сибирской климатической области возможно увеличение частоты и продолжительности, заторных наводнений.

2. Муссонная дальневосточная область умеренного пояса с наиболее выраженным повышением частоты и продолжительности опасных наводнений в периоды летне-осенних половодий, дождевых и снегодождевых паводков на реках Дальневосточного Федерального округа, особенно в бассейне р. Амур.

3. Континентальная восточносибирская и западносибирская области умеренного пояса, где сохранится опасность заторных наводнений в половодье и наводнений при дождевых паводках.

4. Высокогорная климатическая область умеренного пояса на юге Сибири (Саяны, Алтай и Танну-Ола) с увеличением частоты опасных наводнений при весеннем и весенне-летнем половодье, летних дождевых паводках, где в отдельные годы может сформироваться половодье, максимум которого в 5 раз превышает средний многолетний максимальный расход, в том числе в предгорьях.

5. Северный Кавказ и Закавказье (российская часть Причерноморья) с увеличением частоты наводнений при высоких дождевых и снегодождевых паводках и с увеличением частоты селевых потоков.

6. Уральская климатическая область с наводнениями в период весеннего половодья и летних дождевых паводков на реках Урала, Предуралья и Зауралья.

7. Северная климатическая область европейской территории с наводнениями в период весеннего половодья, при заторных наводнениях и нагонах в морских и озёрных устьях рек.

Изменения минимальных расходов в межень и экстремальных маловодий. В изменениях минимальных летне-осенних расходов воды рек за рассматриваемый 25-летний период времени (1986-2010 гг.) преобладали отрицательные тенденции почти на всей европейской территории, кроме высокогорных районов Северного Кавказа, Северного Урала (притоки Печоры) и Кольского полуострова. На реках северных и средних широт азиатской части территории страны, наоборот, преобладало увеличение минимальных расходов воды, а уменьшение минимального летнего стока было на реках южных районов Сибири, Забайкалья, бассейна Амура и Камчатки. В бассейне Байкала в минимальном стоке тёплого периода года для 9-ти из 10-ти исследованных рек тренды оказались отрицательными (табл. 1).

В период зимней межени происходило увеличение минимального стока, особенно на реках азиатской территории, но уменьшение тоже на реках Забайкалья, некоторых реках юга Западной Сибири, а также реках Приморья. На всей европейской территории России преобладало увеличение минимального зимнего стока или отсутствие его изменений (табл. 1).

Количество экстремальных маловодий на реках России с учётом ущерба за 20-летний период (1991-2010 гг.) было 112, из них в период 1991-1995 гг. – 8, 1996-2000 гг. – 9, 2001-2005 гг. – 51, а за 2006-2010 гг. – 44.

Маловодья бывают преимущественно в южной части азиатской территории (юг Западной Сибири, Забайкалье, бассейн р. Амур, реки Камчатки), но в последние годы отмечаются также и в средних широтах Западной Сибири, в высоких широтах Дальнего Востока (бассейн р. Колыма). Рост их повторяемости объясняется увеличением континентальности климата, выражающемся в сезонном перераспределении осадков, возрастании продолжительности бездождевых периодов не только летом, но и весной, в увеличении межгодовой вариации количества осадков.

На территории ЕТР зимние оттепели, продолжительное весеннее снеготаяние и малое промерзание почвы способствовали инфильтрации талых вод, повышению уровня подземных вод и стока рек в межень, что уменьшало вероятность маловодий на реках в пе-

риоды зимней и частично летней межени. Но в первом десятилетии XXI века усилилась тенденция увеличения частоты маловодий и на реках европейской части территории России. Наибольшее увеличение маловодий произошло на реках равнинных территорий Южного Федерального округа, Поволжья (Адыгея, Астраханская, Самарская, Саратовская области). В 2010 году продолжительное маловодье было также на реках Предуралья (Удмуртия, Татарстан, Кировская область), бассейна р. Дон.

Заклучение. Результаты трендового анализа экстремального стока воды, свидетельствуют, что в конце XX-начале XXI столетий на реках Азиатской территории России максимальные расходы в половодье и минимальные расходы в тёплый период года увеличивались в высоких и средних широтах и уменьшались в южных районах. На равнинных реках Европейской территории изменения максимальных расходов воды не существенны, опасные наводнения случаются редко, а увеличение частоты опасных наводнений в половодье и при паводках характерно, в основном, для рек Азиатской территории, в том числе для горно-предгорных районов юга. Частота маловодий с начала XXI столетия увеличивается преимущественно в южных районах, но в последние годы маловодья стали чаще также в средних широтах. При прогнозируемом росте континентальности климата следует ожидать расширения географии опасных наводнений и маловодий.

Литература

1. Гарцман Б.И., Мезенцева Л.И., Меновицкова Т.С., Попова Н.Ю., Соколов О.В. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 года // Метеорология и гидрология, 2014. – №4. – С.77-92.
2. Семенов В.А. География климатообусловленных изменений опасных наводнений на реках России в конце XX-начале XXI столетий // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», вып.177. –Обнинск: Изд-во «ВНИИГМИ-МЦД», 2014. - С.160-174.
3. Семенов В.А. Климатообусловленные изменения вклада снега в формирование опасных гидрологических явлений на реках // Лёд снег, 2013. - №3. – С.107-112.
4. Алисов Б.П. Климат СССР. – М: Изд-во МГУ, 1956. - 128 с.

АНАЛИЗ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ БАССЕЙНОВ РАВНИННЫХ РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ³

Фролова Н.Л.¹, Гельфан А.Н.², Киреева М.Б.¹,
Рец Е.П.², Телегина Е.А.²

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет, г. Москва

²Институт водных проблем РАН, г. Москва

frolova_nl@mail.ru

Введение. Возникновение экстремальных гидрологических условий, связанных как с высокой, так и с низкой водностью рек, обуславливает риски и экономические потери для различных отраслей хозяйства. Подобные гидрологические события, чаще всего имеют довольно редкую повторяемость и обычно охватывают большие территории. Так, например, только за последние пять лет наблюдалось три подобных ситуации. В 2010 г. аномальные атмосферные процессы привели к формированию глубокого маловодья, охватившего большую часть Европейской территории России, было перекрыто более 40 температурных рекордов, а масштабная засуха привела к возникновению огромного количества лесных пожаров. Следующая ситуация возникла зимой 2012–2013 гг., когда в марте высота снежного покрова в Центральной России достигла высоты более 80 см. Это привело к формированию весеннего половодья редкой повторяемости. В 2014 г., наоборот, наблюдалась исключительно малоснежная зима. Запас воды в снежном покрове был минимальным, что привело к раннему началу маловодного периода, срыву графиков пополнения водохранилищ Волжского каскада, остановке навигации на верхней Волге и Оке, многомиллионным ущербам в сфере круизного туризма.

Цель исследования – оценка характеристик экстремальных гидрологических явлений (наводнений и засух) и анализ их изменений за период инструментальных наблюдений для ряда речных бассейнов европейской части России. Анализ чувствительности масштабов и повторяемости указанных явлений – задача, приобретающая все большую актуальность в связи с проблемами уязвимости и

³Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-17-00700).

адаптации к климатическим изменениям природных и социально-экономических систем.

Материалы и методы. Для статистического анализа были использованы многолетние данные о среднесуточных и среднемесячных расходах воды на примере 19 рек, расположенных в разных физико-географических зонах Европейской территории России (ЕТР) с площадью водосбора от 15300 км² (р. Угра, с. Товарково) до 348000 км² (р. Северная Двина, с. Усть-Пинега) с начала периода наблюдений до 2010 г.

Параметры экстремальных гидрологических явлений определялись как фрагменты многолетних гидрографов речного стока (суточных и месячных), выходящие за пределы заданных пороговых значений расходов воды редкой повторяемости (10 и 90%). Считалось, что период с расходами, в течение которого наблюдается снижение расходов ниже порогового $Q_{90\%}$ - дефицитный. За каждый год определялся объем дефицитов и их продолжительность. В случае, если сток оказывается выше величины $Q_{10\%}$, будет наблюдаться экстремальное увеличение водности. В этом случае также считается суммарное превышение выбранного порогового значения и продолжительность данного периода. Таким образом, по имеющимся временным рядам расходов воды определялись параметры масштаба – объемы максимального стока и глубина водного дефицита, показатели интенсивности (отношение объема дефицита или избытка воды к продолжительности явления), параметры продолжительности (продолжительности периода максимального стока и дефицитного периода), характеристики повторяемости экстремальных гидрологических явлений.

Статистические свойства распределения дефицитов воды и их продолжительностей в 1960-х годах были проанализированы Крамером и Либтером [1]. Метод применялся и Евджевичем [2] на основе статистической теории стока для анализа временных рядов. Статистические свойства распределения дефицитов воды, продолжительности засух (d) и объемов дефицитов (s) рекомендовались как параметры для определения межени в конкретном створе. Небольшой обзор применения этих методов, оценка возможности использования различных функций распределения для описания рядов дефицитов воды или, в статистической терминологии, "выбросов" изложены в книге М.В. Болгова и др. [3] и работе [4]. В резуль-

тате сравнения оценок было отмечено, что наилучшим образом соответствует имеющимся данным распределение Вейбулла.

Результаты. Модули стока, соответствующие верхним пороговым значениям в целом меняются в соответствии с зональными изменениями стока. Наибольшие величины порогового значения модуля стока наблюдаются на северо-востоке Европейской России в бассейнах р.Уса и Печора – 49 и 42 л/(с·км²) соответственно, а также в бассейне р. Вишера – 42 л/(с·км²). В среднем для рек севера значение модуля стока 10 % обеспеченности составляет от 20 до 30 л/(с·км²) и уменьшается с северо-востока на юго-запад. В примыкающем с юга бассейне Верхней Волги, Оки и Угры пороговые значения снижаются до 12–16 л/(с·км²). Реки бассейна Камы имеют существенно более высокие пороговые значения модуля стока – в среднем около 20–23 л/(с·км²). Минимальные значения характерны для бассейна Дона, особенно для р. Медведица (до 4 л/с·км²).

В пространственном распределении нижнего порогового значения наблюдается схожая картина – модуль стока 10% обеспеченности более 2 л/(с·км²) характерен для рек севера ЕТР, в бассейнах Верхней Волги и Оки он снижается до 1,7 л/(с·км²), а Ветлуги и Мокши – до 1 л/(с·км²). В бассейне Камы наблюдается увеличение показателя до 1,6–1,7 л/(с·км²). В бассейне Дона значение модуля стока 10 % обеспеченности снижаются до 0,5–1 л/(с·км²).

Число случаев превышения пороговых значений для северных рек составляет от 60 до 75% случаев, в бассейне Оки, Мокши и Угры – около 70%. В бассейне Камы эта величина равна 80–87%. В бассейне Дона количество превышений составляет около 65% случаев. Количество экстремально маловодных и экстремально многоводных периодов связано между собой: чем больше на реке наблюдается экстремально низких месячных расходов, тем больше на ней наблюдается и экстремально высоких расходов (рис. 1).

Таким образом, каждая река, обладая своими особенностями водного режима, имеет некую общую характеристику «экстремальности», характеризующую как количество маловодий, так и количество многоводий. Чем большей «экстремальностью» обладает водный режим реки, тем чаще на ней формируются как аномально низкие, так и аномально высокие периоды водности.

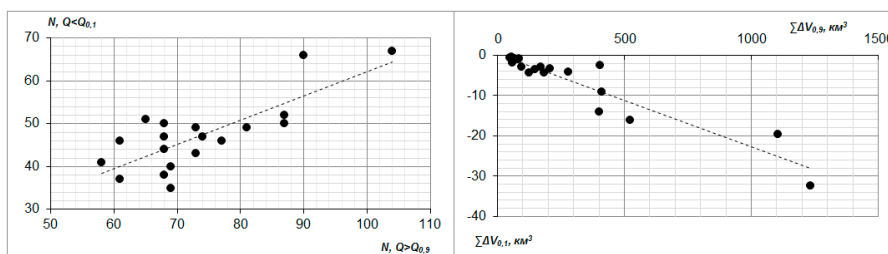


Рис. 1 – Связь числа периодов экстремально низкой и экстремально высокой водности (слева) и связь суммарного объема дефицита и суммарного объема превышения порогового значения

По полученным данным были рассчитаны значения показателя интенсивности для условий избытка и дефицита воды. При экстремально высоких значениях расходов воды величина интенсивности для исследуемых рек меняется от 0,55–0,57 в бассейне Дона и Верхней Волги до 13,7 в бассейне Северной Двины. При этом наблюдается зависимость показателя от площади водосбора (рис. 2). С увеличением площади водосбора величина интенсивности довольно быстро растет. При экстремально низких значениях расходов воды эта величина изменяется от 0,1 в бассейне Верхней Волги и Дона до 0,37 в бассейне Северной Двины. Зависимость также носит прямой характер – чем больше площадь водосбора, тем больше интенсивность маловодий, наблюдающихся на реке (рис. 2). При этом связь продолжительности экстремальных явлений с площадью водосбора практически отсутствует.

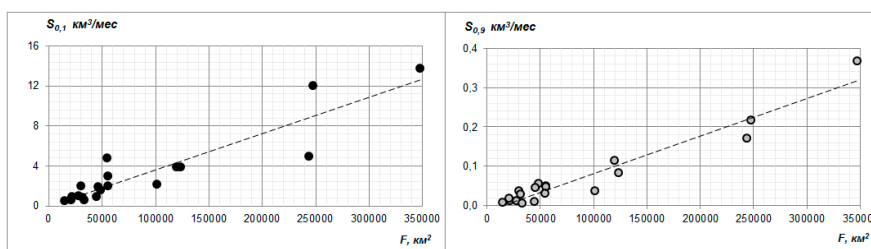


Рис. 2 – Зависимость показателя интенсивности S при превышении порогового значения $Q_{10\%}$ (слева) и при снижении расходов ниже порогового значения $Q_{90\%}$ от площади водосбора F

Рассмотрим изменение характеристик экстремальности стока во времени в различных регионах Европейской части России.

Для северных рек характерно плавное увеличение объемов превышений над пороговыми значениями и сокращение объемов дефи-

цитов. При этом частота возникновения экстремальных периодов водности воды сокращается с 80–100 % в начале наблюдений до 20–30% в настоящий момент. Чаще всего дефициты на Северной Двине, например, наблюдались в 1930–1940 гг., после чего началось устойчивое снижение частоты маловодий, при этом продолжительность дефицитов, наоборот увеличилась с 1–2 месяцев до трех, а иногда и четырех, а их объем уменьшился.

В бассейне Верхней Волги происходит заметное снижение объемов превышений и одновременное снижение объемов дефицитов – водный режим заметно выравнивается (рис. 3).

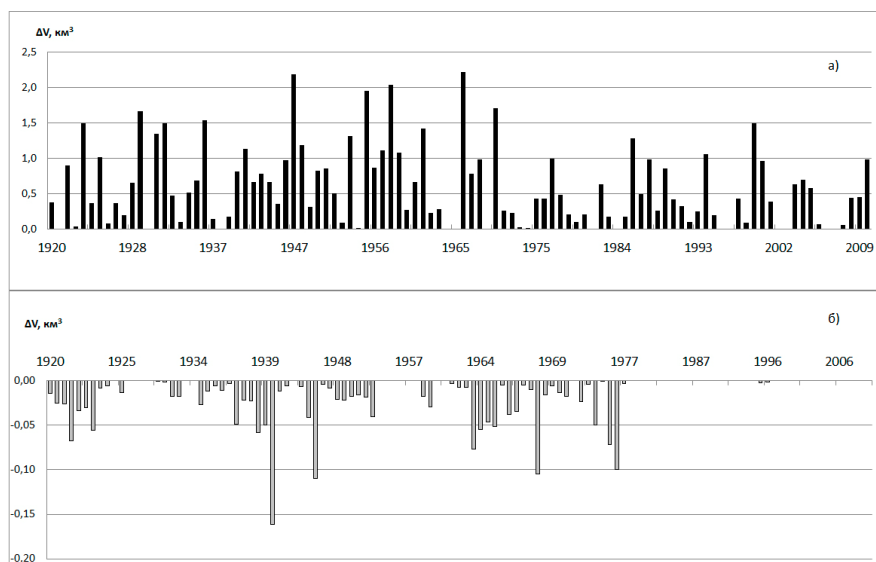


Рис. 3 – Изменение объема превышений (а), дефицитов (б) для р. Волга – г. Старица

На востоке региона – в бассейне Камы иная картина, схожая с тенденциями на севере ЕТР: происходит плавное увеличение объемов превышений и снижение объемов дефицитов, меженный период становится менее глубоким, а половодный, наоборот увеличивается в объеме (рис. 4). Для южной части ЕТР – бассейна Дона и Оки – наблюдаются наиболее явные изменения. Объемы превышений сокращаются в разы, а дефициты вообще перестали возникать, начиная с 1975–1977 гг. Полученные данные в целом отражают общие изменения водного режима рек ЕТР [5].

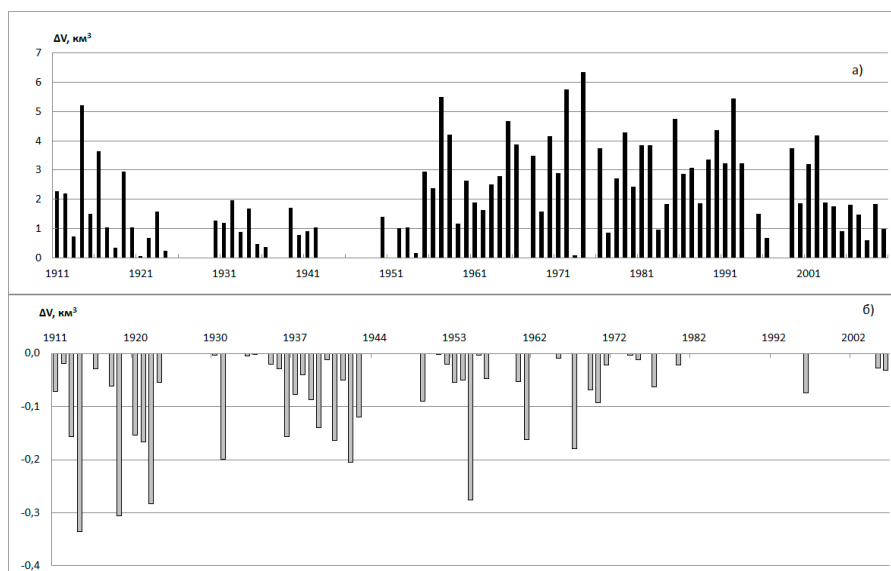


Рис. 4 – Изменение объема превышений (а), дефицитов (б) для р. Кама – с.Бондюг

Анализ суточных значений расходов воды за многолетний период позволяет проводить более глубокий анализ, например, для летней и зимней межени. Наиболее дефицитным на р. Ока (створ – г. Муром) был период с конца 1930-х по начало 1950-х годов (табл. 1–2). В это время зимние дефициты встречались практически ежегодно, летние – в 40–70% лет. При этом необходимо отметить, что зимние дефициты в целом глубже, продолжительнее и интенсивнее летних. Средняя продолжительность события дефицита была максимальна в 1930-е и 1940-е гг. (табл. 1 и 2). Она составляла 88 и 100 дней в год соответственно для зимней межени, 78 и 41 день – для летней. Затем данная характеристика понижалась до нуля уже в 1970-1980-е гг. в зимний период, и в 1960-е в летний период. Также закономерно уменьшался средний объем и интенсивность дефицитов в году (см. табл. 1, 2).

Таблица 1 – Характеристика экстремальности зимней межени на р. Ока – г. Муром по временным периодам

Период	Число лет с данными наблюдений	Зимняя межень				
		Число событий дефицитов	Частота возникновения событий, (случ./год)	Средний объем, м ³ /с/год	Средняя продолжительность дней/год	Средняя интенсивность событий, м ³ /с/день
1936-1939	4	5	1.25	4914	88.75	55.4
1940-1949	10	8	0.8	6642.9	100.3	66.2
1950-1959	10	8	0.8	1006.4	40.9	24.6
1960-1969	10	7	0.7	366.3	18.5	19.8
1970-1979	10	2	0.2	30.6	2.7	11.3
1980-1989	10	0	0	0	0	0
1990-1999	10	0	0	0	0	0
2000-2012	12	0	0	0	0	0

Таблица 2 – Характеристика экстремальности летней межени на р.Ока – г. Муром по временным периодам

Период	Число лет с данными наблюдений	Летняя межень				
		Число событий дефицитов	Частота возникновения событий, (случаев в год)	Средний объем, м ³ /с/год	Средняя продолжительность дней/год	Средняя интенсивность событий, м ³ /с/день
1936-1939	4	4	0.4	3246.25	77.5	41.8871
1940-1949	10	7	0.7	1117.9	41.2	27.1335
1950-1959	10	1	0.1	28.1	3.2	8.78125
1960-1969	10	0	0	0	0	0
1970-1979	10	1	0.1	7.7	0.8	9.625
1980-1989	10	0	0	0	0	0
1990-1999	10	0	0	0	0	0
2000-2012	12	0	0	0	0	0

Выводы. В работе выявлены возможные тенденции изменений масштабов и повторяемости экстремальных гидрологических явлений за 1930-2010 гг. Проведен анализ пространственно-временного распределения указанных параметров. Вследствие климатических изменений в последние 30 лет на большей части Европейской территории России происходит увеличение водности межени и уменьшение объема и высоты половодья, что сказалось на характеристиках экстремальных гидрологических явлений.

Литература

1. Cramer H., Leadbetter M.R. Stationary and related stochastic processes. N.Y.: Wiley, 1967.
2. Yevjevich V. An objective approach to definition and investigations of continental hydrological droughts. Fort Collins, 1967. (Hydrol. Pap. Colorado State Univ.; N 23).
3. Болгов М. В., Мишон В. М., Сенцова Н. И. Современные проблемы водных ресурсов и водообеспечения. М.: Наука, 2005. 318 с.
4. Болгов М.В., Филиппова И.А. Пороговые стохастические модели минимального стока // Метеорология и гидрология, 2006. № 3. С.88-94.
5. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Кричевец Г.Н., Сафронова Т.И., Киреева М.Б., Игонина М.И. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России// Водные ресурсы. Том 39, № 6, 2012. С. 571-589.

РАЗВИТИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ⁴

Чеснокова И.В.¹, Борсукова О.В.¹, Сергеев Д.О.²

¹Институт водных проблем РАН, г. Москва,

²Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН, г. Москва
ichesn@rambler.ru

Регулярные наблюдения за состоянием геологической среды являются незаменимым источником сведений о природных и природно-техногенных процессах, происходящих на территории и позволяющих выявить закономерности развития этих процессов. Оценка природных опасностей требует комплексного подхода в изучении, который позволяет выявить естественную динамику геокриологических условий, а также объяснить причины изменения активности геокриологических процессов. При этом постоянно должны отслеживаться не только собственно характеристики геокриологических условий (температура горных пород, глубина се-

⁴Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-05-00462).

зонного оттаивания и пр.), но влияющие факторы (климат и микроклимат, наземные покровы, режим увлажнения, гидрогеологические условия, временные антропогенные воздействия).

В 2014 году были проведены полевые наблюдения для подтверждения выявленной структуры уязвимости техногенного сооружения в различных геокриологических условиях. Одним из полигонов наблюдений являлся п. Чара (Каларский район, Забайкальский край), где в настоящее время продолжаются ряды наблюдений, организованные еще в 60-х и в 80-х годах XX века. Основой наблюдений служило почасовое измерение температур воздуха, поверхности и грунта в деятельном слое и в многолетнемёрзлой толще. Дополнительно на некоторых площадках автоматически измерялся ход влажности грунтов деятельного слоя, глубина сезонного оттаивания и оценивалась динамика растительных сообществ.

Климат рассматриваемой территории отличается резкой континентальностью, низкими среднегодовыми температурами воздуха, продолжительным зимним периодом, значительным количеством атмосферных осадков и активной солнечной радиацией. Эти особенности оказывают существенное влияние на развитие многолетнемерзлых пород и многих экзогенных геологических процессов. *Речная сеть* изучаемого района принадлежит бассейну р. Чара. Основными водными артериями являются Нижний Ингамакит (с правым притоком – ручей Эмегачи), Нирунгнакан и Чина. По способу питания реки и ручьи района относятся к снежному и снежно-дождевому типам, и отличаются крайне неравномерным режимом. В летнее засушливое время большинство мелких водотоков пересыхает, а паводки носят катастрофический характер. Типичной чертой гидрографии территории является обилие озер ледникового происхождения. Распределение стока поверхностных вод в пределах годового цикла крайне неравномерно. Большая его часть приходится на теплую часть года. В зимний период водотоки полностью перемерзают, сток на них в этот период отсутствует. Первые ледовые явления на реках и ручьях района наблюдаются в конце сентября-первой половине октября. Сплошной ледяной покров устанавливается во второй половине октября – ноябре. Продолжительность ледостава составляет 200 дней. Вскрытие ледового покрова начинается в апреле и заканчивается в мае-начале июня.

В районе выделяется три типа *гидрогеологических* структур: рифтовые впадины – гидрогеологические бассейны; “плечи” рифта

(горное обрамление) – гидрогеологические массивы; рифтогенные разрывные тектонические нарушения – обводненные разломы. Крупные скопления подземных вод формируются в пределах бассейнов и обводненных разломов. Наиболее водообильными являются водоносный горизонт современных аллювиальных отложений и водоносный комплекс аллювиально-пролювиально-флювиогляциальных отложений верхнечетвертичного и современного возраста. Район исследований характеризуется *развитием опасных процессов*. Строение горных склонов определяет развитие осыпей, обвалов, каменных и снежных лавин. Склоны изрезаны глубокими эрозионно-денудационными желобами, по которым движутся лавины и дождевые потоки. Летом при выпадении большого количества осадков возможно прохождение селевых потоков (рис. 1, фото). Снежники обуславливают развитие водно-грунтовых смещений. Каждой денудационной ложбине соответствуют конусы выноса. Солифлюкция сопутствует процессам термокарста.



Рис. 1 – Результаты выноса материала насыпи водокаменным селем. Железнодорожный путь висит в воздухе (снимок сделан снизу, с притрассовой автомобильной дороги)

Отмечаются полигональные просадочные формы, возникновение которых связано с вытаиванием повторно-жильных льдов (рис. 2, фото). Наблюдается термоэрозия. Большая часть склонов

занята курумами, представляющими собой скопления хаотически нагроможденных глыб и крупных обломков коренных пород, опускающихся по склонам.



Рис. 2 – Просадка основания насыпи, обусловленная вытаиванием подземных льдов

Район находится в зоне *сплошного распространения многолетнемерзлых пород* с редкими таликами. Мощность их в водораздельных частях долин составляет 800-900 м, в прибортовых частях долин рек до 100-150 м.

Основными факторами, определяющими формирование температурного режима пород в слое годовых колебаний температуры и геофизиологические условия района, являются [2]: радиационные характеристики климата, высокое положение местности, экспозиция и крутизна склонов, расчлененность рельефа, снежный и растительный покров, заболоченность, состав, влажность и теплофизические свойства горных пород, поверхностные и подземные воды.

Северное Забайкалье [1] относится к районам с наиболее явным потеплением климата, которое должно влиять на геофизиологические условия. В Чаре, где темп повышения среднегодовых температур воздуха составляет в среднем примерно 0.3°C за десятилетие в течение 50 лет, в последние тридцать лет эта тенденция не очевидна, несмотря на явное рост амплитуды положительных аномалий (рис. 3).

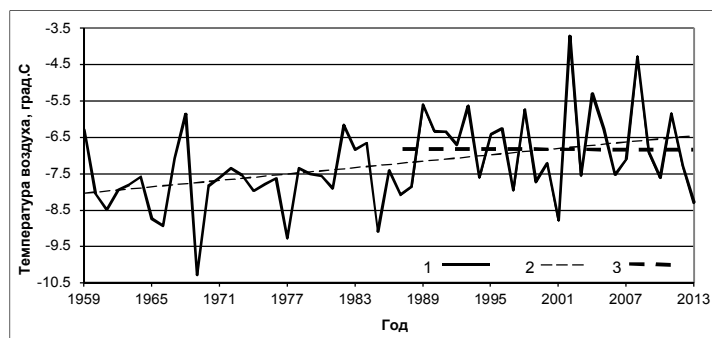


Рис. 3 – Ход среднегодовой температуры воздуха на метеостанциях (здесь и далее осреднение с сентября по август): 1 – Метеостанция Чара, 2 – Линейный тренд за период 1959-2013 г.г. по метеостанции Чара, 3 – Линейный тренд за период 1987-2013 г.г. по метеостанции Чара

Полученные ранее данные свидетельствует о региональном итоговом потеплении мерзлоты, наблюдаемом на глубине проникновения сезонных колебаний температуры. Очевидно, что это необходимо связывать с развитием других процессов (термокарст, речная эрозия, наледеобразование, развитие бугров пучения, динамика ледников, эволюция растительных сообществ, гидрологический режим водных объектов).

Основными результатами проведенных полевых работ являются: 1) измерение и расчет интенсивности и территориальной изменчивости развития опасных геологических процессов; 2) описание воздействия этих процессов на ландшафты, режим водного стока и существующие объекты инфраструктуры (табл. 1).

Таблица 1. Фрагмент результатов полевых наблюдений 2014 г. вдоль трассы железной дороги Чара-Чина (фото авт.)

№ точки	Пикет	Координаты	Ж/д полотно	Зона землеотвода	Прилегающая местность	Растительность, примечания
1	2	3	4	5	6	7
7	5	Середина просадки. 56,495418 118,666865 1553 м.	Глубокая просадка насыпи и ж/д путей; синусообразная. Кривые столбы, длина просадки 100 м.	Слева размыто и заболочено; Справа заболочено	Справа озеро, со стоком из заболоч. местности	Слева от ж/д - около дороги низинное болото ивово-пушицево-осоковое (с

						осокой черной) Справа от ж/д - озеро с осоковой окраиной
8	9	56,495182 118,664653 1549 м.	Место разъезда. Китайский метод. Два пути Длина 200 м. Де- формация пути - синусоида с глуби- нами 160, 140, 95см. 	Вся местность заболочена		Слева от ж/д ком- плекс ерни- ково-осоко- во-пушице- во-сфагно- вых (осокой шаровид- ной) кочек в сочетании с пушицево- осоковыми пониже- ниями

В дальнейшем предполагается провести оценку рисков хозяйственной деятельности, связанных с природными процессами (опасные геологические процессы, потери ресурсов, нарушения хозяйственной деятельности, социальные потери). Кроме этого, разработать процедуры оценки геокриологических опасностей и дать обоснование новых защитных и компенсирующих мероприятий, что может послужить основой в развитии нового направления – страхования последствий проявления опасных процессов [3]. Полученные результаты также можно использовать для оценки динамики составляющих водного баланса.

Литература

1. Отчёт о научно-исследов. работе по проекту 7.3: «Изменения криолитозоны России, вызванные глобальным потеплением: природные опасности и современные геоэкологические проблемы» Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 4П, направление 7: «Оценка геоэкологических опасностей и рисков; снижение их негативных последствий на основе изучения адаптационных процессов» // Перльштейн Г.З., Сергеев Д.О. и др., Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН, Москва, 2012, 30 с.

2. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны // Новосибирск, Наука, 2008, 230 с.

3. Кофф Г.Л., Чеснокова И.В. Информационное обеспечение страхования от опасных природных процессов. М.:ПОЛТЕКС, 1998. 168 с.

СИСТЕМА ЧИСЛЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УРОВНЯ РИСКА ДЛЯ НАВОДНЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА

Шаликовский А.В.

ФГУП РосНИИВХ, Восточный филиал, г. Чита

vostokniivh@mail.ru

Современные стандарты [1] трактуют понятие «опасность», как «источник потенциального вреда или ситуация с потенциальной возможностью нанесения вреда», а «риск» - как численное значение опасности. С этой позиции «опасность наводнений» может трактоваться:

а) применительно к водному объекту – потенциальная возможность затопления его водами объектов собственности (угроза затопления);

б) применительно к территории (конкретному объекту)– подверженность данной территории (объекта) затоплению (без численной оценки повторяемости затопления и возможного ущерба).

Применительно к оценке риска наводнений в практике сложилось несколько подходов: а) в баллах; в) в показателях вероятности затопления; г) в показателях возможного максимального ущерба; д) по величине среднегодовых потерь; е) на основе математического ожидания ущерба.

Оценка риска в баллах основана на установлении качественной градации уровня риска в зависимости от нескольких факторов опасности наводнений. При этом могут рассматриваться их различные сочетания, или может вычисляться параметр, от значения которого устанавливается уровень риска.

Многими авторами предлагается оценивать риск в зависимости от превышения максимального уровня над уровнем выхода воды на пойму и от повторяемости таких выходов. При этом в большинстве случаев имеются такие сочетания учитываемых факторов опасно-

сти, при которых результаты начинают противоречить смыслу рассматриваемого явления.

Для сопоставления свершившихся наводнений также широко используется бальный подход. В отечественных публикациях по масштабу наводнения принято подразделять на четыре [2, 3 и др.] или пять классов [4].

Дартмутской обсерваторией при университете Колорадо для аналогичных оценок используются понятия «класс серьезности» и «магнитуда наводнений» [5]. По «классу серьезности» наводнения подразделяются на три группы: большие (повторяемость один раз в 10-20 лет), очень большие (20-100 лет); экстремальные (более 100 лет). «Магнитуда наводнений» рассчитывается в зависимости от продолжительности наводнения, класса серьезности и площади охвата.

Наибольшей магнитудой за период 1984-2014 гг. [6] характеризуется наводнение в Китае (1995 г., $M=8,49$), а наводнение в бассейне Амура (2014 г.) занимает шестую строку в рейтинге ($M=8,30$). В верхней части рейтинга, составленного по показателю магнитуды, отсутствуют наводнения с наибольшим числом человеческих жертв и максимальным экономическим ущербом. Например, наводнение в результате урагана Катрин в США (2005 г.) занимает 720 место ($M=6,35$), цунами в Индийском океане (2004 г.) – 2604 место ($M=5,65$), цунами в Японии (2011 г.) – 3664 место ($M=3,98$).

Оценка уровня риска на основе установления вероятности затопления основана на наличии апробированных способов определения расчетных гидрологических характеристик.

В этом случае риск равен вероятности затопления рассматриваемой точки местности. Реализация данного подхода заключается в нанесении границ зон затопления различной обеспеченности на карты местности. Однако при этом игнорируются другие факторы опасности наводнений – глубина и скорость потока, продолжительность затопления.

Другими примерами использования данного подхода является оценка вероятности выхода воды на пойму и превышения критических отметок, установление повторяемости наводнений в пределах какой-либо территориальной единицы.

Возможный максимальный ущерб является основным показателем риска техногенных наводнений и широко применяется при декларировании безопасности ГТС и страховании ответственности их

собственников. Этот показатель, оцененный для территориальной единицы, также важен для обоснования необходимых резервов на чрезвычайные случаи.

Среднемноголетний ущерб также достаточно широко используется в качестве меры опасности стихийных бедствий. На его основе удобно осуществлять крупномасштабное районирование риска наводнений: от континентов и государств до муниципальных образований. К недостаткам этого подхода в первую очередь следует отнести нестабильность оценок – после каждого катастрофического наводнения среднемноголетний ущерб резко изменяется. Например, три крупнейших наводнения в мире нанесли ущерб около 620 млрд долл. (более 47% ущерба за 27 лет во всем мире) и после каждого из них показатели ущерба в соответствующих странах возрастали многократно. Кроме этого ущербы различных лет очень сложно привести к некоторому единому эквивалентному уровню. Эта проблема наиболее актуальна для Российской Федерации, где за последние 20 лет кардинально изменились все аспекты формирования ущерба от наводнений.

Определение риска, как показателя, определяемого умножением вероятности негативного события на величину возможного ущерба от него, предложено в работе [7], и в настоящее время на этом определении основана вся система международных и российских стандартов по управлению рисками: «риск – сочетание вероятности события и его последствий» [8]. Таким образом, под риском наводнений следует понимать величину ущерба (в натуральных или экономических показателях) различной повторяемости или его математическое ожидание.

В зависимости от поставленной задачи и пространственных границ оцениваемого объекта можно выделить различные подходы к вычислению математического ожидания ущерба от наводнений.

Рассмотрим простейший случай: на горизонтальном участке земли выращивается культура, не переносящая затопления. В этом случае вероятность затопления участка и полной гибели урожая равна обеспеченности максимального уровня воды, соответствующего отметке рассматриваемой территории. Следовательно, для данного случая имеем:

$$M(Y) = C \cdot p_{\text{зат}} / 100, \quad (1)$$

где $M(Y)$ – математическое ожидание ущерба; C – стоимость оце-

ниваемого объекта; $p_{\text{зат.}}$ – обеспеченность уровня затопления, %.

Задача несколько усложняется, если рассматриваемая территория не горизонтальная и ее отдельные фрагменты затапливаются при разных значениях обеспеченности уровня:

$$M(Y) = \sum_{i=1}^{n-1} C \frac{(S_i + S_{i+1})}{2S_{\text{общ}}} \cdot \frac{|p_i - p_{i+1}|}{100} \quad (2)$$

где n – число расчетных значений обеспеченности; S_i и S_{i+1} – площадь затопления, соответственно, при значениях обеспеченности максимальных уровней p_i и p_{i+1} ; $S_{\text{общ}}$ – общая площадь оцениваемой территории.

Учитывая, что произведение стоимости на удельную площадь затопления является ущербом, зависимость (2) можно представить в более общем виде:

$$M(Y) = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} \cdot \frac{|p_i - p_{i+1}|}{100\%} \quad (3)$$

На практике зависимость (3) может использоваться преимущественно для определения математического ожидания вреда в натуральных показателях (если вместо экономического ущерба рассматривать площадь затопления, протяженность дорог и т. д.). Другим направлением ее применения является оценка риска по данным о фактических ущербах.

В большинстве случаев при наводнении наблюдается «неполное повреждение» объекта, характеризуемое его уязвимостью $\varphi = Y/C$. Таким образом, имеем

$$M(Y) = \sum_{i=1}^{n-1} C \frac{(\varphi_i + \varphi_{i+1})}{2} \cdot \frac{|p_i - p_{i+1}|}{100\%}. \quad (4)$$

Уязвимость зависит от параметров объекта и значений факторов опасности конкретного наводнения в рассматриваемой точке (глубины и скорости потока, продолжительности затопления и др.). В связи с этим во многих странах мира проводятся исследования, направленные на установление зависимостей относительного ущерба для различных видов имущественных объектов. Например, в программном комплексе HAZUS-MH (Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям, США) используется более 900 таких зависимостей [9].

Разработанный автором подход [10, 11] отличается от традиционного, так как направлен на решение не только прогностических задач, но и на зонирование опасных территорий. Для возможности зонирования показатель риска не должен зависеть от характера и интенсивности использования участков местности, не являться натуральным и обладать относительным постоянством. Этим условием удовлетворяет математическое ожидание ущерба некоторому «эталонному» объекту, выраженное в долях его стоимости или процентах. Данная величина одновременно является и математическим ожиданием уязвимости эталонного объекта. В качестве эталонного объекта нами принято одноэтажное каменное облегченное здание в совершенно удовлетворительном состоянии.

Моделирование может быть выполнено как с использованием зависимости (3), так и методом статистических испытаний. В том и другом случае для различных значений обеспеченности максимального уровня предварительно вычисляется распределение глубин затопления и относительного ущерба по территории (см. рис. 1 ниже).

Таким образом, математическое ожидание ущерба конкретному объекту составляет

$$M(Y) = C \cdot K \cdot M(y)_{\text{этал.}}, \quad (5)$$

где $K = \varphi / \varphi_{\text{этал.}}$ – поправка, учитывающая различие в уровне уязвимости рассматриваемого и эталонного объектов.

Изложенный подход позволяет оценить риск для отдельных объектов недвижимости как непосредственно с ГИС-модели, так и с карт зонирования (что особенно актуально для развития страхования). В перспективе он и может использоваться для оценки риска в пределах отдельных территорий. Это будет возможно после перехода от используемой в настоящее время остаточной к рыночной стоимости недвижимости.

Большинство перечисленных подходов могут быть использовано только для территорий с реальной опасностью наводнений. В то же время имеются участки местности с потенциальной и мнимой опасностью затопления.

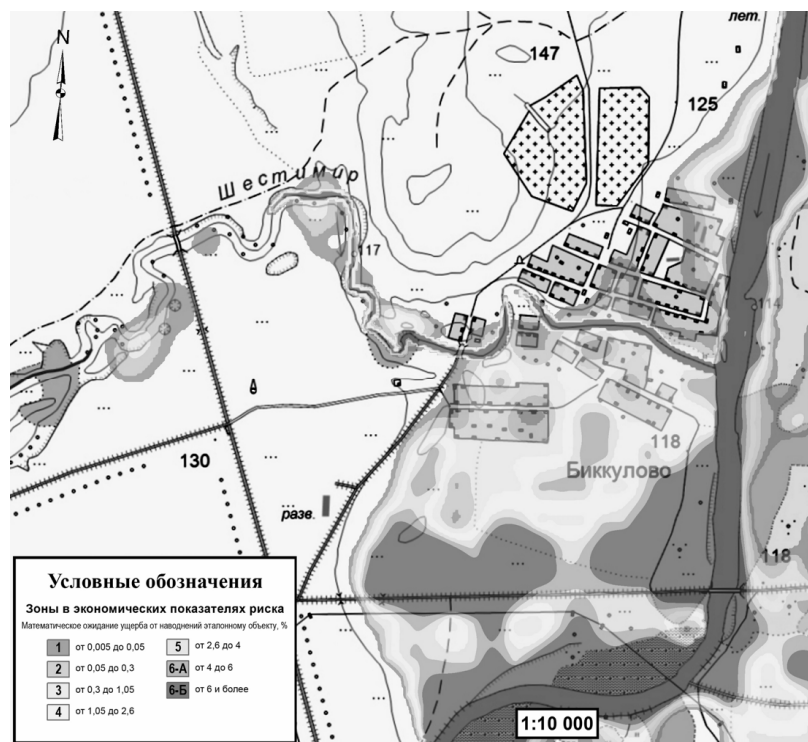


Рис. 1 – Зонирование территории с. Биккулово (Оренбургская область) в относительных показателях математического ожидания ущерба эталонному объекту

К потенциально опасным территориям относятся: территории, защищенные от наводнений сооружениями невысокого класса капитальности; участки местности, подверженные затоплению при форсированных сбросах из водохранилищ; участки с затрудненными условиями стока и др. Для таких территорий целесообразно использовать подходы, основанные на вычислении максимального ущерба. Территории с мнимой опасностью наводнений – это участки, которые могут оказаться затопленными при неблагоприятном сочетании нескольких природных и техногенных факторов, каждый из которых в отдельности не может быть идентифицирован как опасный. В отношении таких территорий следует использовать методы сценарного анализа.

Литература

1. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. М.: Изд.-во стандартов. 2002. 28 с.
2. Гинко С.С. Катастрофы на берегах рек. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 128 с.
3. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 184 с.
4. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения как глобальная многоаспектная проблема // Вестник Российской академии наук. – 2002. – Т.72, №12.
5. Global Archive of Large Flood Events – Notes. Электронный ресурс. Режим доступа:
<http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/ArchiveNotes.html>
6. Global Active Archive of Large Flood Events. Электронный ресурс. Режим доступа:
<http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>
7. Rowe W.D. Anatomy of risk. N.-J.: John Wileyand Sons, Inc., 1977. 482 p.
8. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения. М.: Изд.-во стандартов. 2002. 12 с.
9. HAZUS-MH Flood Loss Estimation Methodology. II. Damage and Loss Assessment /Scawthorn C. et al. //Nat. HazardsRev. 2006. 7. P. 72–81.
10. Шаликовский А.В. Оценка риска наводнений и зонирование паводкоопасных территорий // Водное хозяйство России. 2006. № 4. С. 27–35.
11. Шаликовский А.В. Риск наводнений: методы оценки и картографирования// Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 2. С. 68-78.

**Секция V. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ
ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ
РЕСУРСАМИ И ВОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ,
КЛИМАТИЧЕСКИМ, ЭКОЛОГИЧЕСКИМ,
ЭКОНОМИЧЕСКИМ И СОЦИАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ РОССИИ**

**ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ЗАПАДНЫХ ПОДСТЕПНЫХ ИЛЬМЕНЕЙ**

Болгов М.В.¹, Коробкина Е.А.¹, Митина Н.Н.¹, Малащенко Б.М.¹,
Вишневская И.А.²

¹Институт водных проблем РАН, г. Москва

²Институт географии РАН, г. Москва
bolgovmv@mail.ru

Область Западных подstepных ильменей (ЗПИ) расположена на юго-западе Астраханской области в западной части дельты Волги и представляет собой равнину с незначительным уклоном поверхности с северо-запада на юго-восток. Ландшафтной особенностью этого района является сочетание бугров Бэра, вытянутых грядами в широтном направлении, и озер (ильменей), расположенных в межбугровых понижениях. Неглубокие озера с плоским дном длиной от сотен метров до нескольких километров и глубиной от 0,5-1 м в межень до 2-3,5 м в половодье образуют параллельные, соответственно расположению гряд бугров Бэра, цепочки ильменей, соединенных между собой ериками и протоками. Подробное описание этой области массового развития лагунных ильменей приводится в [1, 2].

Гидрологический режим Западных подstepных ильменей в основном определяется величиной стока р. Волги. Основное поступление воды в ЗПИ происходит в половодный период из Волги и Бахтемира, самого крупного рукава Волги, через систему постоянных и временно действующих протоков и ериков. На спаде половодья в некоторых водотоках направление течения меняется, и вода из ильменей поступает обратно в рукав Бахтемир; в межень большинство ериков и протоков пересыхают. В части ильменей и внутренних водотоков уровень режим поддерживается искусственно, с помощью оросительных систем, подкачки насосными станциями и

строительством земляных дамб и шлюзов для предотвращения обратного оттока воды из ильменей на спаде половодья. Существенной особенностью гидрологического режима ЗПИ является его зависимость от уровня воды в р. Волге – поступление паводковых вод в западные ильмени самотеком по большинству водных путей происходит лишь при достижении на в/п. р. Волга – г. Астрахань отметок уровня воды -23,50 м БС [3].

Вследствие изменения гидрологического режима р. Волги под влиянием сооружения и эксплуатации Волжско-Камского каскада водохранилищ, значительные пространства ЗПИ перестали ежегодно заливаться паводковыми водами. По данным Государственной наблюдательной сети прослеживается уменьшение объемов воды, поступающей в ЗПИ [4]. После зарегулирования стока Волги особенно резко изменилось внутригодовое распределение стока. Если за период 1940-1955 гг. в среднем за год в зону ЗПИ поступало $4,34 \text{ км}^3$, то за 1989-2009 гг. этот объем сократился до $2,59 \text{ км}^3$. Площадь заливаемой территории в период весеннего половодья сократилась с 2950 км^2 (до зарегулирования стока) до 2010 км^2 в современных условиях эксплуатации водохранилищ Волжско-Камского каскада [5]. В половодье 2014 г. в ЗПИ поступило $1,16 \text{ км}^3$ воды; с учетом величины оттока из ильменей фактический объем стока, оставшийся в ильменах, составил $0,45 \text{ км}^3$ [3].

Основные водохозяйственные проблемы ЗПИ. В результате длительного действия целого ряда антропогенных факторов на окружающую среду этого уникального природного района в регионе сложился комплекс взаимосвязанных проблем, основной причиной которых является указанное выше сокращение обводнения ильменей и питающих их водотоков. Нерациональное использование природных ресурсов; нарушения при проектировании, сооружении и эксплуатации дорожно-мостовых переходов; экстенсивный способ ведения хозяйства; создание мелиоративных систем и водных трактов, подающих воду на территорию района с помощью насосных станций при отсутствии промывного режима водоемов; системы отведения сточных вод в сочетании с аридным климатом региона – привели к существенному изменению естественного режима Западных подstepных ильменей. В результате наблюдается сокращение числа и площади ильменей, происходит деградация экологического состояния территории, рост минерализации воды, ухудшение ее качества, в связи с чем возникают проблемы обеспеченности

населения питьевой водой, ограничения развития орошаемого земледелия и др.

Современная площадь территории ЗПИ составляет 4 300 км² [3], и тенденция к ее сокращению, отмеченная более полувека назад [1,2], сохраняется. Площадь водной поверхности ильменей – величина тем более непостоянная и зависит, главным, образом от величины притока воды в зону ЗПИ во время половодья. В маловодные годы поступающего в дельту стока р. Волги становится недостаточно, чтобы обводнить удаленные ильмени, расположенные по периферии северной и западной частей территории ЗПИ, в результате наиболее удаленные от магистрального рукава и основных водотоков ильмени полностью отшнуровываются и пересыхают.

Антропогенное изменение рельефа поверхности ЗПИ (строительство автомобильных дорог, мостов, железнодорожных путей, дамб обвалования и т.п.) еще более ухудшило обводнение территории и уменьшило площади ее затопления. Многолетние колебания и спад уровня Каспийского моря также способствовали сокращению водной площади ильменей в 60-70-е годы. В числе других причин, способствовавших уменьшению притока воды в ЗПИ, следует назвать заиление и обмеление истоков водотоков, питающих ильмени [6].

Сравнительный анализ площадей водных объектов ЗПИ, определенных по данным топографических карт М 1:100 000 и снимков дистанционного зондирования Земли, показал, что площадь общая ильменей за последние 50 лет сократилась на четверть. Если по состоянию на период создания имеющихся топографических карт (1950-1960 гг.) она составляла 675-700 км², то в 2013-2014 гг. (по состоянию в меженный период) сократилась до 526 км², причем на долю открытой водной поверхности приходится всего 371 км². Пересыхающие в меженный период ильмени занимают площадь 85 км², засоленные водоемы – 45 км², заросшие водной растительностью ильмени – 25 км² [3].

Недостаточное обводнение западного района ильменей в период весеннего половодья вследствие регулирования стока каскадом ГЭС, экстенсивный способ ведения хозяйства и многие другие факторы обусловили деградацию экологического состояния ЗПИ. Отсутствие промывного режима водоемов, дополнительная механическая водоподача и практическое отсутствие системы отведения сточных вод вызывают рост минерализации воды в водоемах и

серьезное ухудшение ее качества. Развитию процессов засоления ильменей также способствуют небольшое количество атмосферных осадков (не более 180 мм в год) и высокая испаряемость (величина слоя эффективного испарения – около 900 мм в год), характерные для аридной зоны (к которой относится район западных ильменей), в сочетании с малой глубиной залегания минерализованных грунтовых вод и отсутствием естественного дренажа [7].

После зарегулирования стока Волги для обводнения ЗПИ в 1960-1970-х гг. были сооружены семь водных систем (трактов), подающих воду на территорию района с помощью насосных станций. Водные тракты представляют собой ильмени, соединенные искусственными каналами глубиной 1,5-3 м, пресная вода в которые поступает из р. Волги и рукава Бахтемир. Однако, эффективность системы обводнения ЗПИ, созданной и функционирующей за счет государственного бюджетного финансирования, крайне низкая, что делает неперспективным дальнейшее развитие орошаемого земледелия в регионе.

Важной проблемой в ЗПИ является обеспечение питьевого водоснабжения населения. В пределах рассматриваемой зоны расположены Лиманский, Наримановский и Икрянинский районы Астраханской области с 60 населенными пунктами и более 120 тыс. населения. До 50% сельского населения региона пользуются водой без какой-либо предварительной очистки, более 50% сел и поселков области не имеют централизованного водоснабжения с водоподготовкой, около 10% из них пользуются привозной водой.

Моделирование гидрологического режима ЗПИ. Мероприятия по улучшению водохозяйственной обстановки в районе Западных подступных ильменей входят составной частью в разрабатываемую в рамках Государственного контракта Концепцию рационального использования водных ресурсов и устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса Нижней Волги, сохранения уникальной системы Волго-Ахтубинской поймы. Для обоснования системы предлагаемых мероприятий по обводнению территории ЗПИ предложен комплекс гидродинамических моделей, в которых учтены современные природные и антропогенные условия развития региона. Результаты моделирования позволяют выполнить окончательную оценку эффективности планируемых сценариев развития региона, оценить отдельные мероприятия и выработать рекомендации по рассматриваемым районам.

Расчет гидрологических характеристик водоемов и водотоков зоны ЗПИ целью выбора вариантов обеспечения режимов проточности района ЗПИ выполняется на основе одномерной модели с использованием программного комплекса SWMM, разработанного Агентством по охране окружающей среды США [8]. В основе модели лежит система уравнений Сен-Венана, описывающая одномерное неустановившееся течение воды в открытых руслах. В качестве входного гидрографа в модель подавался расход, соответствующий гидрографу прохождения половодья по в/п. р. Волга – г. Астрахань.

Для расчета трансформации стока половодья по территории ЗПИ была выполнена схематизация гидрографической сети на указанной территории и участке русла р. Волги от г. Астрахань и рукава Бахтемир до о-ва Искусственный. В структуру модели включены 263 ильмена и 761 соединительных каналов, ериков и временных водотоков.

Предложенная структура модели позволяет оценивать последствия мероприятий, реализуемых как в зоне ЗПИ, так и в других частях дельты, например, при использовании водodelителя в вершине дельты Волги. Поскольку в настоящее время авторы не располагают полной информацией о гидрографических характеристиках дельты и морфометрических характеристиках водотоков, а также сведениями о многочисленных дамбах, перемычках, проездах, сооружаемых хозяйственным способом, на модели рассмотрены, в основном, проектные ситуации, связанные с оценкой последствий расчистки водотоков, а также с изменением уровня режима Волги в результате оптимизации формы гидрографа пуща в нижний бьеф Волгоградского гидроузла.

Варианты развития водохозяйственной системы ЗПИ. Самым сложным вопросом в рассматриваемом регионе является развитие системы водопользования, которое может осуществляться по различным сценариям, в зависимости от перспектив развития региона в целом и экономических условий, в частности. Основным принципом решения водохозяйственных проблем должно стать повышение приоритета задач сохранения уникальной экосистемы ЗПИ при планировании развития региона, разработке водохозяйственных мероприятий и обосновании стратегии природопользования.

Наиболее эффективным вариантом является полная техническая реконструкция водохозяйственной системы, предусматривающая создание дренажной системы, гарантирующей требуемый водно-солевой режим водоемов для обеспечения орошаемого земледелия, хозяйственно-питьевого водоснабжения, естественного воспроизводства водных биологических ресурсов, товарного рыбоводства и функционирования водной экосистемы в целом. Этот вариант обеспечивает гарантированную водоподачу и качество воды за счет создания проточного режима, но обладает невысокой экономической эффективностью вследствие значительных капиталовложений и увеличения эксплуатационных расходов.

Сценарий развития, наиболее предпочтительный с экологической точки зрения, предполагает создание гидрологического режима зоны ЗПИ, максимально приближенного к естественному. При этом надо понимать, что при соответствующей реорганизации хозяйства – ликвидации всех регулирующих сооружений; расчистке и дноуглублении водотоков; реконструкции переходов и перекладке коммуникаций, нарушающих условия водообмена в ЗПИ; прекращении дополнительной водоподачи; создании системы водоподготовки и очистки сточных вод во всех населенных пунктах ЗПИ – удастся добиться создания естественного гидрологического режима и решить вышеизложенные проблемы, включая питьевое водоснабжение, на значительной части, но не на всей территории ЗПИ. Минус этого варианта в том, что потребуются значительные капиталовложения в перестройку коммунального хозяйства и инфраструктуры в целом. Резкое сокращение хозяйственной деятельности повлечет за собой проблему занятости местного населения.

Инерционный вариант развития предполагает сохранение сегодняшней ситуации ведения хозяйства в зоне ЗПИ: выполнение работ по расчистке водотоков и водоемов, строительство и реконструкция шлюзов-регуляторов для задержки половодного стока, групповых водоводов, продолжение экстенсивного ведения хозяйства в рыночных условиях. При этом, естественно, проблема роста минерализации и ухудшения качества воды не решается.

Выводы. Водохозяйственную проблему ЗПИ можно сформулировать как проблему накопленного экологического ущерба, ликвидация которого требует времени и средств, а решение должно быть согласовано с программами реорганизации хозяйственной

деятельности и модернизации инфраструктуры при ведущей роли экологических приоритетов.

Дальнейшее развитие водохозяйственного комплекса Нижней Волги должно исходить из нового, фактически сложившегося, устойчивого состояния экосистемы региона, сформировавшегося под преимущественным влиянием техногенного фактора, а рекомендуемые мероприятия необходимо определять (проектировать) исходя из новых «рамочных» условий.

Литература

1. Байдин С.С., Линдберг Ф.И., Самойлов Н.В. Гидрология дельты Волги. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. 332 с.
2. Байдин С.С. Сток и уровни дельты Волги. – М.: Гидрометеиздат. 1962. 338 с.
3. Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту (№ госрегистрации 01201376234). Этап 2. Провести исследования гидравлических, гидроморфологических, гидрологических процессов и режимов при различных вариантах прохождения половодья по Нижней Волге, проведение комплекса полевых исследований. – Москва: ФГБУ «ГОИН», 2014. – 436 с.
4. Синенко Л.Г. Современное состояние западных подstepных ильменей и их водообеспечение // Материалы конференции «Современное состояние водных ресурсов Нижней Волги и проблемы их управления», Астрахань, 2009. С. 112-114.
5. Клепиков И.И., Немошклов С.М. Современное состояние заливаемости и проточности района Западных подstepных ильменей// Современное состояние водообеспеченности и пути оптимизации хозяйственной деятельности в зоне западно-подstepных ильменей: материалы научно-практической конференции – пос. Лиман, 2011. – С.108-114.
6. Горелиц О.В., Землянов И.В., Синенко Л.Г. Влияние морфометрических характеристик русла на водообеспечение территорий Нижней Волги. // В сб. «Современное состояние водообеспеченности и пути оптимизации хозяйственной деятельности в зоне западно-подstepных ильменей: материалы научно-практической конференции» – пос. Лиман, Астраханская обл., 2011. – С. 84-91.
7. Бесчетнова Э.И., Белякова Ю.В. Особенности гидрографии западных и восточных подstepных ильменей //Современное состояние водообеспеченности и пути оптимизации хозяйственной

деятельности в зоне западно-подстепных ильменей: материалы научно-практической конференции – пос. Лиман, 2011. – С. 48-55.

8. *James W., Huber W.C., Dickinson R. E., Pitt R. E., James W. R.C., Roesner L.A., Aldrich J.A.* User's guide to SWMM. – 2003. – xxxiv+700 pp.

КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОГЛАСОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИНТЕРЕСОВ В ДОЛГОСРОЧНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ⁵

Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
khran@bk.ru

Регуляторами водопользования являются водохозяйственные системы (ВХС), которые выступают посредниками между природными объектами и водопользователями, согласуя потребности общества в водных ресурсах с возможностью их удовлетворения. Для обеспечения устойчивого развития водоемких отраслей экономики, удовлетворения потребностей населения в воде и экологически приемлемой среды обитания требуется опережающее развитие ВХС. Стратегии развития ВХС, водопользования и водоотведения охватывают достаточно длительный расчетный период и должны обеспечивать устойчивость системы при всех возможных условиях функционирования. Такие стратегии приходится вырабатывать в условиях значительной неопределенности условий и потребностей в воде, а также в характеристиках водных ресурсов. Стратегии формируются в результате компромисса интересов регионов – водопользователей, конкурирующих за воду и за право сброса загрязнений. Согласование интересов осуществляет орган управления ВХС – центр совместно с органами регионального управления водными ресурсами.

Выработка стратегий долгосрочного развития основывается на формировании возможных сценариев (вариантов) развития ВХС и на экспертных оценках эффективности их функционирования в различных прогнозируемых условиях. Также экспертным путем стро-

⁵Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №14-06-00016).

ются числовые оценки значимости сценариев – субъективные вероятности. Кроме того, различные природные и частично организационно-технические процессы образуют стохастически устойчивые явления, характеризуемые объективными вероятностями. Субъективные и объективные вероятности совместно включаются в комплекс оценок возможных ситуаций функционирования и развития систем в стохастических условиях.

Для преодоления трудностей согласования потребностей водопользования с возможностью их удовлетворения в условиях неустранимой неопределенности структуры, форм и масштабов водопользования предлагается подход, основанный на адаптации к изменениям условий, при которых ВХС может оказаться в отдаленном будущем. Основу подхода составляет развитая в теории управления водными ресурсами методология гарантированного водопользования, оперирующая как текущими поставками водных ресурсов, так и их ориентировочными (так называемыми гарантированными) значениями [1,2]. Подход содержит предпосылки управления, приспособляемого к возможным вариациям условий функционирования ВХС. Он положен в основу методологии четырехэтапной процедуры выработки согласованных стратегий водопользования регионов, обслуживаемых ВХС, представленной комплексом математических моделей, в рамках которого стратегии сравниваются, отбраковываются и выделяются рациональные. Частный случай комплекса моделей, в котором согласуются потребности в объемах водных ресурсов без учета их качества, представлен в [3].

В предлагаемом комплексе моделей структуризация и уровень агрегирования ВХС соответствует цели моделирования – выработке стратегий развития на длительную перспективу. Рассматриваются все сформированные сценарии развития с их вероятностями, при этом допускается корректировка параметров системы. Подробность описания в моделях элементов и процессов в ВХС соответствует степени полноты и точности доступной информации, которая при перспективном планировании не может быть ни абсолютно полной, ни стопроцентно точной. Для наглядности и «прозрачности» представления проблемы рационального использования водных ресурсов и управления их качеством осуществляется максимальное упрощение моделей. Это позволяет в интерактивном режиме общения центра и ЛПР оценивать исходные данные, осмысливать вносимые

упрощения, анализировать получаемые решения и, при необходимости, преобразовывать модели.

В предлагаемых моделях, наряду с переменными, изображающими реальные водные ресурсы, присутствуют переменные, соответствующие их ориентировочным значениям. Модели описываются двухэтапными задачами стохастического программирования. Стратегические переменные первого этапа, выбираемые при неизвестных конкретных реализациях стохастических условий, моделируют ориентировочные значения объемов водных ресурсов и масс примесей. Тактические переменные второго этапа, выбираемые при конкретных реализациях стохастических условий, множество которых предполагается конечным, соответствуют реальным объемам водных ресурсов и массам примесей. Целевые функции этих задач оценивают эффективность использования водных ресурсов и управления их качеством. В результате решений, получаемых в моделях, определяются оптимальные стратегии и их тактические вариации при различных реализациях стохастических условий. В решениях задач, которыми описываются модели, неявным образом содержатся оптимальные значения надежности гарантированного водопользования. Кроме того, побочным эффектом присутствия в модели переменных, соответствующих текущим поставкам и их ориентировочным величинам, являются оптимальные оценки рисков снижения эффективности водопользования из-за неполного (по сравнению с ориентиром) поступления водных ресурсов и/или худшего качества, а также шансов повышения оценки при получении дополнительного количества водных ресурсов и/или лучшего качества.

Рассматриваются две разновидности структуризации бассейнов: веерная и сетевая. При веерной структуризации все водные ресурсы бассейна сосредоточены в одной вершине, из которой регионы-водопользователи получают по мере возможности необходимую им воду. В сетевой структуризации ВХС изображается сетью, потоки которой моделируют объемы воды и массы примесей. Водопользователи изображаются вершинами, в которые поступают водные ресурсы и из которых отводятся стоки.

Вначале, на первом этапе, рассматриваемая ВХС структурируется в виде веерной схемы, каждый луч которой соответствует региону, и формируется статическая модель распределения водных ресурсов без учета их качества. Все располагаемые водные ресурсы

собираются в совокупный ресурс за весь расчетный период и помещаются в вершину, изображающую источник, мощность которого соответствует совокупному ресурсу. В каждом регионе формируется свой совокупный спрос на водные ресурсы. Регионы оценивают эффективность использования водных ресурсов в виде функций, зависящих как от реальных объемов воды в различных стохастических условиях, так и от их гарантированных значений. Модель описывается задачей A максимизации математического ожидания суммарной эффективности использования регионами водных ресурсов ВХС на множестве, выделяемом ограничениями на объемы используемой воды и требованиями регионов к минимальным значениям поставляемых им водных ресурсов.

Решение этой двухэтапной задачи стохастического программирования не вызывает затруднений. Например, для ее решения может быть применен метод динамического программирования [4]. Однако для поиска оптимальных векторов задачи A и всех рассматриваемых ниже задач естественно воспользоваться методом групповой координатной оптимизации, в котором последовательно отыскивается оптимум по группам системных и индивидуальных переменных [5, 6]. В рассматриваемой проблеме системными переменными, которыми распоряжается ВХС, являются реальные объемы водных ресурсов. В качестве индивидуальных переменных выступают гарантированные значения объемов водных ресурсов, которые принадлежат регионам. Решение начинается с задания произвольных значений гарантированного водопользования регионов, как правило, их предлагают ЛПР. При фиксированных значениях гарантированного водопользования задача распадается на независимые решаемые центром задачи распределения водных ресурсов, каждая из которых соответствует конкретной реализации стохастических условий. Найденное на втором шаге распределение водных ресурсов используется для нахождения новых значений гарантированного водопользования, которые на последующих шагах применяются для получения следующего приближения распределения водных ресурсов и т. д. Метод групповой координатной оптимизации привлекателен тем, что в выработке решений взаимодействуют ВХС и регионы, и это дает возможность наблюдать и оценивать последовательные приближения к оптимальному решению и переосмысливать проблему.

Поиск компромисса на первом этапе показывает, существует ли хотя бы гипотетическая возможность удовлетворить запросы регионов. Если при решении задачи обнаруживается отсутствие допустимого решения, то необходимо пересмотреть экзогенные параметры модели, в частности, требования регионов. Если допустимые векторы задачи существуют, то ЛПР регионов проводят анализ полученного решения, в котором наряду с оптимальными величинами водопользования и их ориентировочными значениями присутствуют надежность гарантированного водопользования, стоимостные оценки водных ресурсов, величины рисков и шансов. При положительной оценке достигнутого результата осуществляется переход ко второму этапу, на котором рассматривается статическая сетевая модель. В противном случае модель первого этапа пересматривается.

В статической сетевой модели, рассматриваемой на втором этапе, конфигурация поступления и использования водных ресурсов представлена более подробно, чем на первом этапе; определяются не только количественные, но и их качественные показатели. ВХС структурируется в виде сети, конфигурация которой воспроизводит конфигурацию движения воды и примесей в системе. Потoki в сети моделируют объемы воды и массы примесей. Потoki, соответствующие реальным объемам и массам, образуют группу системных переменных; потоки, изображающие их ориентировочные величины, являются индивидуальными переменными. Модель описывается задачей **В** максимизации математического ожидания суммарной эффективности использования регионами водных ресурсов и управления их качеством. Допустимое множество задачи выделяется уравнениями, описывающими баланс масс воды и примесей в вершинах и законы преобразования потоков в дугах сети, а также неравенствами, включающими требования, предъявляемые к количеству и качеству водных ресурсов и их ориентировочным величинам.

Задача **В**, которой моделируется совместное управление количеством и качеством водных ресурсов, – многоэкстремальная [3]. Ее целевая бисепарабельная функция, вообще говоря, невогнутая. В ограничениях, налагаемых на переменные, присутствуют билинейные уравнения, порождающие невыпуклость допустимого множества. Общих методов решения многоэкстремальных задач нет. Однако указанная особенность задачи **В** позволяет построить метод ее решения. Процедура решения представляет собой детализацию

схемы ветвей и границ, в которой решение исходной задачи с погрешностью, не превосходящей заданную, сводится к решению конечной последовательности оценочных задач выпуклого программирования [7]. В формировании оценок промежуточных решений задачи B , используемых в методе ветвей и границ, включаются имеющие самостоятельное значение подзадачи выпуклого программирования, описывающие рациональное использование водных ресурсов без учета их качества (задача B_1) и управление качеством водных ресурсов при фиксированных их объемах (задача B_2). Включение подзадач B_1 и B_2 в процедуру решения задачи B образует сходящийся итерационный процесс, дающий возможность оценивать взаимодействие количественных и качественных особенностей водных ресурсов. Отделимость ограничений, формирующих допустимые множества задач B , B_1 и B_2 , делают возможным использовать метод групповой координатной оптимизации для оценивания последовательных приближений к оптимальному решению.

Сетевая модель второго этапа, так же как веерная модель первого этапа, оценивает возможность удовлетворения запросов регионов. При этом более подробно учитываются возможности поставок водных ресурсов из различных частей ВХС и их качество. При анализе решений, получаемых в модели B , так же, как в модели A , участвуют значения надежности гарантированного водопользования, рисков, шансов и стоимостных оценок показателей водных ресурсов. При отсутствии допустимого вектора задачи B она пересматривается. Если в задаче не удастся достичь положительного результата, то осуществляется возврат на первый этап и задача корректируется. При положительной оценке результата следует переход к третьему этапу, представленному сетевой динамической задачей для более полной оценки рационального использования водных ресурсов и управления их качеством не только в пространстве, но и во времени.

Рассматриваемая на третьем этапе модель согласования интересов регионального водопользования отличается от модели второго этапа переходом от статики к описанию процессов использования водных ресурсов и управления их качеством в дискретном времени. Задача C , описывающая модель, и ее подзадачи C_1 и C_2 аналогичны рассматриваемым на втором этапе задачам B , B_1 и B_2 . Задачи C , C_1 и C_2 преобразуются в эквивалентные задачи B , B_1 и B_2 на расширенной сети, формируемой на базе исходной дублированием ее

столько раз, на сколько интервалов времени разбит весь расчетный период. Решение этих задач, отличающихся от задач B , B_1 и B_2 второго этапа только большей размерностью, осуществляется так же, как на втором этапе. При получении в этой задаче приемлемого результата осуществляется переход к еще более детальной имитационной модели четвертого этапа, в противном случае – возврат на второй этап.

Учет особенностей водопользования и водоотведения, отсутствующих в оптимизационных моделях, отражается в имитационной модели D на четвертом этапе. В ней со значительно большей подробностью представлены параметры и процессы, неучтенные в моделях оптимизации, рассматриваемые на предыдущих этапах. Отсутствие в модели D целевой функции дает возможность структурировать ВХС в виде сети, более подробно отражающей взаимосвязи элементов, чем в моделях первых трех этапов. При этом также можно более подробно представить динамические особенности использования водных ресурсов и множество реализаций стохастических условий. Если в результате серии имитационных экспериментов с использованием модели D удастся найти приемлемое решение, то процесс выработки стратегии согласования интересов регионального водопользования можно полагать завершенным. В противном случае осуществляется возврат к модели третьего этапа, которая трансформируется в соответствии с невязками, выявленными на четвертом этапе.

Описанную выше взаимосвязь четырех этапов выработки стратегии согласования интересов регионального водопользования иллюстрирует рис. 1, где блоки соответствуют: (1) – всеерной статической, (2) – сетевой статической, (3) – сетевой динамической и (4) – имитационной моделям.

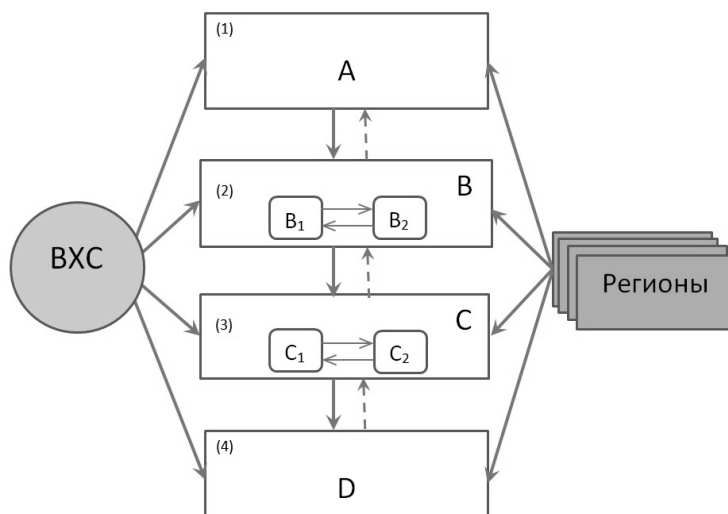


Рис.1 – Взаимосвязь моделей согласования регионального водопользования

Литература

1. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Расчет многолетнего регулирования речного стока на основе теории вероятностей// Труды ВИСУ. Гидротехнический сборник. 1932. №4. С.7–31.
2. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Производственные функции в условиях неопределенности // Экономика и математические методы. 2007. Т. 43. №1. С.16–26.
3. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – М.: Научный мир, 2010. 230 с.
4. Беллман Р. Динамическое программирование.– М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. 400 с.
5. Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Методы расчета и синтеза импульсных автоматизированных систем// Автоматика и телемеханика. 1963. №12, С. 1643–1659.
6. Райков Л.Д. Вопросы построения и применения АВМ для многовариантных задач.// Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: МИЭМ, 1966. 239 с.
7. Лазебник А.И., Хранович И.Л., Цаллагова О.Н. Обобщенные сепарабельные задачи и их приложения // Автоматика и телемеханика. 1981. №8. С.107–118.

ИЗМЕНЕНИЕ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БАСЕЙНА РЕКИ ОКИ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Демин А.П., Болгов М.В, Филиппова И.А.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
deminap@mail.ru

Река Ока – крупнейший правый приток Волги. Длина реки – 1499 км. Площадь бассейна равна 245 тыс. км². Река берёт начало в Глазуновском районе Орловской области, проходит по Среднерусской возвышенности. Максимальная ширина поймы – в среднем течении, в месте впадения р. Пра, около 2,5 км. Крупнейшие города, стоящие на Оке – Орёл, Калуга, Алексин, Серпухов, Ступино, Коломна, Рязань, Касимов, Муром, Павлово, Дзержинск, Нижний Новгород. На притоках Оки расположены города Тула, Москва, Тамбов, Владимир, Иваново.

Сток р. Оки все еще остается незарегулированным, за исключением части ее левых притоков, протекающих в пределах Московской области. Здесь выделяются Можайское (0,22 км³), Рузское (0,22 км³), Истринское (0,18 км³) и Озернинское (0,14 км³) водохранилища, которые входят в состав Москворецкой водной системы, обеспечивающей водой г. Москву и Московскую область. Выделяется также система водохранилищ на канале им. Москвы: Икшинское, Пестовское, Угличское, Пяловское, Клязьминское и Химкинское. Помимо транспортного назначения эти водохранилища играют важную роль в водоснабжении г. Москвы и Московской области, а также в обводнении рек Москвы, Яузы, Клязьмы и Учи.

Водохозяйственная система р. Оки обеспечивает водоснабжение населения и объектов экономики Московской, Ивановской, Калужской, Тульской, Орловской, Рязанской, Владимирской, Тамбовской, Пензенской и Нижегородской областей, республики Мордовия, а также водный транспорт, рыбозапасоведение, гидроэнергетику и специальные экологические попуски. Таким образом, бассейн р. Оки охватывает 12 субъектов Российской Федерации (включая г. Москву), входящих в 2 федеральных округа. В ближайшей перспективе роль данной водохозяйственной системы в водообеспечении населения и секторов экономики, а также в обеспечении экологической безопасности территории и водных объектов еще более усилится. Это обусловлено, прежде всего, важностью региона в со-

циально-экономической жизни России и необходимостью улучшения экологического состояния территории и водных объектов.

Нагрузка на водные ресурсы любого региона характеризуется коэффициентом использования водных ресурсов $K_{исп}$, равным отношению в процентах величины полного водопотребления к возобновляемым водным ресурсам. По мнению специалистов ГГИ для оценки реальной нагрузки на водные ресурсы необходимо принимать минимальную за период наблюдений среднюю годовую величину водных ресурсов за три следующих друг за другом маловодных года. Для анализа состояния водных ресурсов в любом регионе может быть применена следующая классификация по коэффициенту использования водных ресурсов $K_{исп}$ или нагрузки на водные ресурсы [1].

1-я категория: $K_{исп} < 10\%$ – низкая нагрузка на водные ресурсы; обычно регионы не испытывают серьезных проблем с водообеспечением (за исключением проблем загрязнения).

2-я категория: $K_{исп} = 10–20\%$ – умеренная нагрузка на водные ресурсы; уровень водообеспеченности становится фактором, ограничивающим развитие региона.

3-я категория: $K_{исп} = 20–40\%$ – высокая нагрузка на водные ресурсы; для устойчивого развития необходимо регулировать предложение и спрос на воду.

4-я категория: $K_{исп} = 40–60\%$ – очень высокая нагрузка на водные ресурсы; имеет место серьезный дефицит воды и настоятельная необходимость регулирования и ограничения водопотребления, привлечение дополнительных источников водообеспечения.

5-я категория: $K_{исп} > 60\%$ – критически высокая нагрузка; дефицит водных ресурсов становится критическим фактором развития экономики и жизнедеятельности.

Согласно представлениям специалистов ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», $K_{исп}$ рассчитывается как отношение водозабора на хозяйственные нужды к минимальной водности рек в лимитирующий зимний период [2].

Оценка изменения параметров минимального стока относится к числу наиболее актуальных задач гидрологии, поскольку с его расчетами связаны важнейшие практические задачи планирования водохозяйственных мероприятий, регулирования стока, водообеспечения территории, внутрибассейнового и территориального распре-

деления водных ресурсов. Наступление минимальной водности следует рассматривать как экстремальное событие, поскольку оно лимитирует водопользование; проблемы дефицита воды и ее качества ассоциируются именно с минимальным стоком.

Основой изучения современных изменений минимального стока в бассейне р. Оки является комплексный статистический анализ рядов многолетних наблюдений за минимальным стоком средних рек (площадь водосбора от 1000 до 25000 км²) с продолжительностью наблюдений более 50 лет и минимальным количеством пропусков в наблюдениях. Для отобранных постов (см. табл. 1) имеются данные о средних расходах за 30 суток в пределах межени для зимнего периода. Основное значение для формирования минимального 30-ти-суточного расхода имеет величина подземного питания в меженный период, к которой добавляется некоторая величина поверхностного стока. Получена оценка изменения минимального стока рек в последние десятилетия, когда на преобладающей части страны произошло наиболее существенное повышение температуры воздуха за весь период инструментальных наблюдений [3]. Изменение среднего многолетнего 30-ти-суточного расхода в долях (коэффициент K) и приращение модуля минимального стока Δq за 1978-2010 гг. относительно предыдущего периода представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Изменение минимального стока в бассейне р. Оки в долях относительно предыдущего периода (до 1978 г.)

№	Код поста	Водный объект	Пост	K	Δq , л/с/км ²
1	75284	р. Унжа	г. Кологрив	1,52	0,83
2	75286	р. Унжа	г. Мантурово	1,58	0,89
3	75287	р. Унжа	г. Макарьев	1,9	1,52
4	75311	р. Ока	г. Белев	1,87	1,38
5	75348	р. Нугрь	г. Болхов	1,95	0,98
6	75359	р. Упа	с. Орлово	1,64	1,33
7	75368	р. Жиздра	г. Козельск	2,16	1,63
8	75382	р. Угра	пгт. Товарково	1,7	1,19
9	75389	р. Протва	с. Спас-Загорье	1,83	1,26
10	75480	р. Бужа	д. Избище	2,08	0,96
11	75500	р. Мокша	с. Шевелевский Майдан	2,49	1,14
12	75514	р. Цна	с. Кузьмина Гать	2,33	1,21
13	75518	р. Цна	с. Княжево	2,68	1,45
14	75552	р. Клязьма	г. Владимир	1,66	1,36
15	75553	р. Клязьма	г. Ковров	1,59	1,17

Очевидно, что в бассейне р. Оки наблюдается фактическое увеличение минимального стока за зимний период, произошедшее в последние 30 лет (в 2 и более раз). Основным фактором подобных изменений считается увеличение температуры воздуха за зимний период, повлекшее за собой увеличение оттепелей и более интенсивное питание подземных вод в зимнюю межень за счет снеготаяния [3].

Достаточно надежные данные по водопотреблению стали публиковаться с 1980 г., с введением статистического отчета по форме № 2-ТП (водхоз). По притокам р. Оки имеются данные за 1995-2010 гг. (по р. Клязьма за 1990-2010 гг.). Помимо забора воды из поверхностных источников учитывался ущерб речному стоку вследствие забора воды из подземных источников. Коэффициенты ущерба речному стоку брались по данным ГГИ. Они снижаются с 0,4 для верхних притоков р. Оки до 0,32 для нижних притоков, составляя в среднем для р. Оки 0,36.

На верхних притоках р. Оки – реках Упа и Жиздра за 15 лет забор воды из поверхностных источников сократился соответственно в 1,8 и 2,1 раза. В бассейне р. Протва этот показатель снизился в 3,6 раза, в бассейнах р. Мокша – в 4,4 и р. Клязьма – в 2,8 раза (табл. 2).

Таблица 2 – Сокращение забора воды в 2010 г. по сравнению с 1995 г. в притоках р. Оки (в долях от единицы)

Источники водоснабжения	Притоки Оки				
	Упа	Жиздра	Протва	Мокша	Клязьма*
Поверхностные источники	1,8	2,1	3,6	4,4	2,8
Подземные источники	1,7	2,4	1,3	1,5	1,5
Ущерб речному стоку за счет забора воды из всех источников водоснабжения	1,8	2,2	1,5	2,4	2,3

* по сравнению с 1990 г.

Сокращение забора воды из подземных источников было значительно меньшим, в результате чего доля водообеспечения населения и объектов экономики из этого источника постоянно растет. В 2010 г. в бассейне р. Клязьмы забор из подземных вод составлял 62% общего водозабора, в бассейне р. Упы – 68% в бассейне р. Жиздры – 76%, в бассейне р. Мокши – 85%, в бассейне р. Протвы – 96%. Совокупный ущерб речному стоку в результате забора воды из всех источников сократился за 15 лет от 1,5 раз в бассейне р. Протвы до 2,4 раза в бассейне р. Мокши.

В бассейнах рек Упа, Нара, Клязьма в начале 1990-х гг. было развито промышленное производство. Один из крупнейших притоков Оки – р. Клязьма, по берегам которой проживает около 1,7 млн. человек, а в речном бассейне в целом – свыше 3,3 млн. Река обеспечивает водой как многочисленные производства, так и жителей крупных поселений в среднем и нижнем течении.

В бассейнах рек Жиздра и, особенно Мокша, расположенной в основном в лесостепной зоне Черноземья, был развит агропромышленный сектор. Здесь использование воды на сельскохозяйственные нужды (орошение, сельскохозяйственное водоснабжение, прудовое рыбоводство) превышало объемы водопотребления на другие нужды (рис. 1). Однако сельскому хозяйству в годы кризиса был нанесен наибольший урон, от которого оно до сих пор не оправилось.

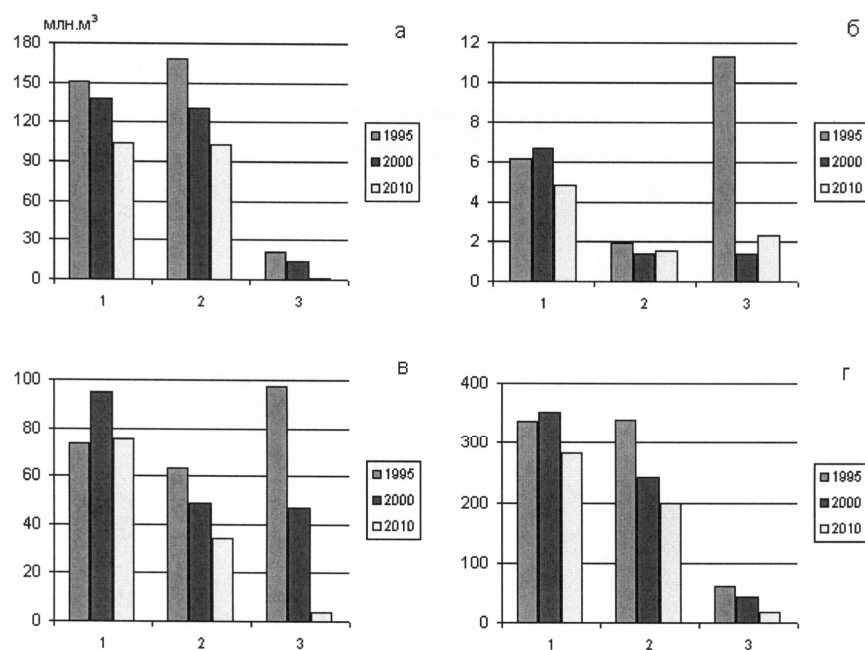


Рис. 1 – Динамика использования воды на хозяйственные нужды (млн. м³) в бассейнах рек Упа (а), Жиздра (б), Мокша (в), Клязьма (г) за 1995-2010 гг.: 1 – хозяйственно-питьевые; 2 – производственные; 3 – сельскохозяйственные нужды

Резко сократилось финансовое обеспечения отрасли, площадь ежегодно поливаемых орошаемых земель в бассейне р. Оки снизилась с 170-180 тыс. га до 65 тыс. га в 2010 г. Из-за неисправности

оросительной сети и поливной техники, резкого удорожания стоимости электроэнергии и услуг водохозяйственных организаций в большинстве регионов не поливается 70-90% земель, числящихся в составе орошаемых.

В связи с резким падением поголовья скота в общественном секторе, частичной передачей сельских водопроводов с баланса сельскохозяйственных предприятий на баланс ЖКХ, сокращением орошаемых земель, объем использования воды на нужды сельского хозяйства в бассейне р. Жиздра за 15 лет снизился в 5 раз, в бассейне р. Мокша – в 24 раза, на других притоках Оки – в 3-5 раз.

Из отраслей экономики бассейна р. Оки наиболее водоемкая – промышленность. После 1991 г. объем использования свежей воды на производственные нужды сокращался в связи общей экономической дестабилизацией в стране: уменьшением выпуска промышленной продукции в регионе, переходом многих предприятий на работу по неполному графику и даже их закрытием. Наиболее резко падение промышленного производства отмечалось в машиностроении и легкой промышленности.

Интегральный показатель водоснабжения городского населения – использование воды на хозяйственно-питьевые нужды. Его максимальное значение в бассейне р. Оки было отмечено в 1992 г. В последующие годы оно хотя и не намного, но постоянно уменьшалось. В настоящее время во многих городах проводится комплекс водосберегающих мероприятий по рациональному расходованию воды в жилищном фонде, включающий реконструкцию и наладку систем водоснабжения жилых микрорайонов, устранение утечек в подводящих и внутридомовых сетях, установку регуляторов расхода воды, установку водосберегающей санитарно-технической аппаратуры и квартирных водосчетчиков, совершенствование системы учета воды. В большинстве регионов бассейна р. Оки удельное водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды за 1990-2010 гг. снизилось на 20-30%, в г. Москве – на 51%, в Тамбовской и Орловской областях, республике Мордовия оно осталось практически неизменным.

Снижение забора воды на фоне роста минимального стока в зимний период привело к заметному падению $K_{исп}$ в бассейнах рек Упа и Клязьма (рис. 2). Если в начале-середине 1990-х гг. $K_{исп}$ составлял 22–27%, то к 2010 г. его значения снизились до 12–17%. Эти реки перешли из категории рек с высокой нагрузкой на водные

ресурсы в категорию рек с умеренной нагрузкой. Реки Протва и Мокша перешли из категории рек с умеренной нагрузкой на водные ресурсы в категорию с низкой нагрузкой.

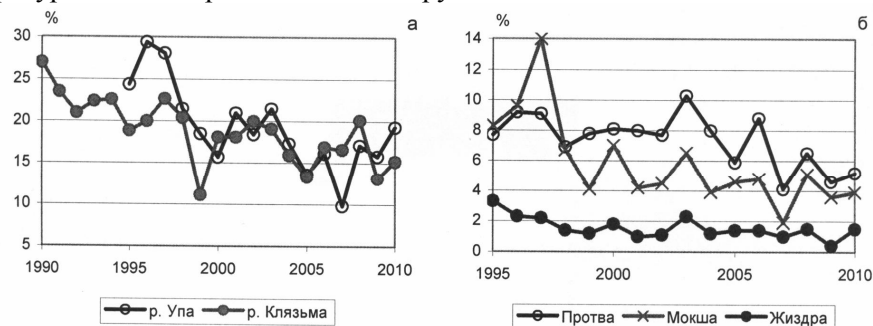


Рис. 2 – Динамика изменения коэффициента использования водных ресурсов в притоках р. Оки

В целом по бассейну р. Оки отмечается заметный рост забора воды в 1980-1986 гг., относительная его стабилизация до 1991 г. и резкое снижение в последующем. С 1991 по 2010 г. объем забора пресных вод из поверхностных и подземных источников сократился на $2,3 \text{ км}^3$ (42 %) и $0,91 \text{ км}^3$ (39%) соответственно [4-6].

На рис. 3а показана динамика изменения 30-ти суточного минимального стока р. Оки (створ г. Горбатов) за зимний период 1980-2010-х. гг. Видно, что в результате климатических изменений минимальный сток растет.

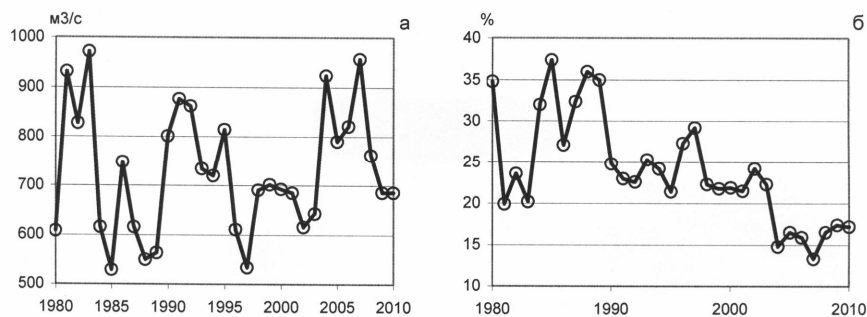


Рис. 3 – Динамика изменения 30-ти суточного минимального стока за зимний период (а) и коэффициента использования водных ресурсов (б) в бассейне р. Оки (г/п Горбатов)

Снижение забора воды на фоне роста минимального стока в зимний период привело к заметному падению $K_{исп}$ в бассейне р. Оки (рис. 3б). Если в 1980-х гг. он находился на уровне 30–35%, то к концу 2000-х гг. его значения снизились до 15–17%. Река Ока перешла из категории рек с высокой нагрузкой на водные ресурсы в категорию рек с умеренной нагрузкой.

Выполненные исследования позволили сформулировать вывод, что климатический и антропогенный факторы оказывают равноценное влияние на изменение коэффициента использования водных ресурсов $K_{исп}$ в бассейне р. Оки.

Литература

1. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. Шикломанова И.А. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
2. Воды России (состояние, использование, охрана). Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ. 1992. 96 с.; 1993. 96 с.; 1994. 86 с.; 1995. 88 с.; 1996. 104 с.; 1998. 134 с.; 1999. 146 с.; 2001. 158 с.; 2002. 138 с.; 2003. 136 с.; 2005. 133 с.; 2006. 112 с.
3. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги // Метеорология и гидрология. 2014. №3. С. 75-85.
4. Использование и охрана водных ресурсов в СССР (анализ данных государственного учета использования вод) Минск: Изд-во ЦНИИКИВР, 1981. Вып. 1. 162 с.; 1982. Вып.2. 174 с.; 1983. Вып.4. 268 с.; 1984. Вып. 5. 258с.; 1985. Вып.6. 260 с.;1986. Вып.7. 254 с.; 1987. Вып.9. 212 с.; 1988. Вып.10. 210 с.;1989. Вып. 11. 195 с.
5. Основные показатели использования вод в СССР за 1980...1989 гг. М.:Минводхоз СССР, 1981. 40 с.; 1982. 38 с.; 1983. 36 с.; 1984. 44 с.; 1985. 43 с.; 1986. 48 с.; 1987. 48 с.; 1988. 48 с.; 1989. 48 с.; 1990. 45 с.
6. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2011 году (Статистический сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского и А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа, 2012. 268 с.

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПОЛИТИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУСАМИ ОТДЕЛЬНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ В БАССЕЙНЕ Р.ДОН

Жукова С.В.

Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства,
г. Ростов-на-Дону
riasfp@aaanet.ru

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2009 г. № 349 «Об утверждении Положения о разработке, согласовании и утверждении правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил использования водохранилищ» и распоряжением Правительства Российской Федерации от 14 февраля 2009 г. № 197-р. «Об утверждении перечня водохранилищ, в отношении которых разработка правил использования водохранилищ осуществляется для каждого водохранилища....» под эгидой Министерства природных ресурсов проведена исключительно важная работа по разработке Правил использования водохранилищ (далее Правила), которые являются основным нормативным документом, регламентирующим их использование.

Проведенный анализ Правил отдельных водохранилищ, созданных в бассейне р. Дон, позволяет заключить, что многие водохранилища уже утратили принцип комплексного использования и не имеют установленной на этапе их проектирования значимости в части использования водных ресурсов. Это связано не только с изменением экономической ситуации в стране, но и с пренебрежением во многих случаях при проектировании принципами рационального использования природных ресурсов и сохранения устойчивости водных и околотоводных экосистем. Напрашивается вывод, что методы управления водными ресурсами водохранилищ, а возможно, и вопросы дальнейшего их существования, должны быть пересмотрены. В частности, это касается Ремонтненского водохранилища, расположенного в Ремонтненском районе Ростовской области на р. Чикалда, являющейся притоком р. Западный Маныч (водохозяйственный участок 05.01.05.007 – «р. Западный Маныч от истока до Пролетарского гидроузла без рек Калаус и Б. Егорлык»). Длина водохранилища 9,5 км. Водосборный бассейн составляет 378 км². Чаша водохранилища расположена на территории Краснопартизанского сельского поселения. Год ввода в эксплуатацию – 1960. Пери-

од начального заполнения водохранилища – 1961 г. Сведения о достижении проектных отметок отсутствуют.

Согласно Правил [1], водные ресурсы Ремонтненского водохранилища по первоначальному проекту использовались для следующих целей:

- орошение (0,5 тыс. га);
- обводнение (35,8 тыс. га).

Фактическое использование водных ресурсов на момент начала разработки проекта Правил (цитируется текст из Правил) включает:

«- орошение из Ремонтненского водохранилища не осуществляется;

- попытки рыборазведения, предпринимавшиеся в начале 2000-х годов, не увенчались успехом; в настоящее время водохранилище утратило свое значение как рыбопромысловый водоем. Виды водных биоресурсов, обитающих там, находятся в депрессивном состоянии в связи со значительным засолением водохранилища. Любительский лов рыбы имеет место, как вид отдыха населения;

- в рекреационных целях водоём используется в форме неорганизованного отдыха населения».

В настоящее время водохранилище используется в целях обводнения (водопой скота и содержание сельскохозяйственных животных), и локально для рекреации и любительского лова рыбы. Водохранилище не является водно-болотным угодьем Ростовской области, имеющим международное значение, главным образом, в качестве мест обитания водоплавающих птиц (Постановление Администрации РО от 9 октября 2002 г. № 463).

Необходимо отметить, что Проектом создания водохранилища правила эксплуатации и использования водных ресурсов Ремонтненского водохранилища не предусматривались, поэтому служба эксплуатации за период 1960-2014 гг. отсутствовала, и представленные Правила его использования составляются впервые.

По данным администраций сельских поселений «в перспективе зарыбление Ремонтненского водохранилища и прудов в целях товарного рыбоводства не планируются, в связи с исключительной важностью водоемов для водопоя и содержания большого стада сельскохозяйственных животных».

Из табл. 1 «Допустимый и фактический объемы использования водных ресурсов в бассейне р. Чикалда» следует, что объемы воды на испарение (1852.2) и фильтрацию (179.6) существенно превышают

расходуемые объемы на сельскохозяйственное и коммунально-бытовое водоснабжение и содержание (водопой) сельскохозяйственных животных, составляющие в сумме всего 290.83 тыс.м³. Все вышесказанное наводит на размышления о целесообразности существования водохранилища, эксплуатация которого требует привлечения значительных средств для его технического благоустройства и безопасной эксплуатации.

Таблица 1– Среднемноголетний укрупненный водохозяйственный баланс Сальского водохранилища, млн.м³ [2]

ПРИХОДНАЯ ЧАСТЬ	
1. Сток на участке	34.50
2. Потери стока в верховых прудах	10.18
3. Остаточный приток в водохранилище	24.32
РАСХОДНАЯ ЧАСТЬ	
1. Орошение	1.984
2. Потери на испарение	2.70
3. Потери на фильтрацию	2.13
4. Санитарная проточность	4.17
5. Холостой сброс	–
6. Поступление воды в нижний бьеф	6.30
РЕЖИМ ВОДОХРАНИЛИЩА	
1. Наполнение, млн.м ³	13.34
2. Сработка, млн.м ³	–
3. Объем на конец года, млн.м ³	16.80
4. Уровень на конец года, м БС	28.11
5. Площадь на конец года, км ²	7.31

Аналогичное комплексное использование водных ресурсов выявлено и при анализе Правил Сальского водохранилища, которое построено в 1940 г. на р. Ср. Егорлык Ростовской области для целей орошения и рыбного хозяйства. В соответствии с проектом, планировалось строительство ГЭС, которая не была построена.

В соответствии с данными государственной статистической отчетности по форме 2-ТП (водхоз) «Сведения об использовании воды» за 2012 и 2013 гг. в пределах Сальского водохранилища водопользователей, забирающих воду для использования из поверхностных водных объектов, не зарегистрировано, осуществляется лишь забор воды из подземных источников на орошение 310 га. Объекты водного транспорта и гидроэнергетики на водохранилище отсутствуют. Рыбное хозяйство существует лишь на небольшом участке

площадью – 564.0 га, в границах которого обитают малоценные (сорные) виды биологических ресурсов.

Анализируя укрупненные показатели среднесного водного баланса Сальского водохранилища, можно заключить, что современный объем водопотребления, осуществляемый только из подземных источников (1.98 млн. м³), значительно ниже расходов воды на испарение, фильтрацию и прочих потерь в верховых прудах и самом водохранилище, составляющих 15.01 млн. м³. При этом объем притока в водохранилище равен 24,32 млн. м³, а объем собственно водохранилища составляет на конец года 16.8 млн. м³ (см. табл. 1).

В то же время русло р. Средний Егорлык в современных условиях представляет собой цепочку прудов, бесцельно расходующих воду на испарение и нередко пересыхающих в меженный период. Гидротехнические сооружения на всех прудах и водохранилищах находятся в крайне неудовлетворительном состоянии, в русле преобладают процессы интенсивного зарастания, заиления и деградации. Примеры таких водохранилищ в Донском бассейне не единичны. Подобные водохранилища имеются и в верховье, и в среднем течении р. Дон.

По мнению автора современные требования рационального использования природных ресурсов, улучшения системы управления водным хозяйством страны обуславливают необходимость проведения детального изучения объективности существования таких водохранилищ, разработки системы научно-обоснованных мер по возможному демонтажу плотин, разблокировке русел малых и средних рек, от экологического благополучия которых зависит состояние экосистем крупных рек.

В мировой практике примеры демонтажа плотин уже имеются. Восстановление экосистем предпринималось в целом ряде стран, где развитие национального законодательства потребовало введения более высоких стандартов в области минимизации воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду. В Соединенных Штатах и Франции плотины выводятся из эксплуатации для восстановления параметров речных экосистем, зачастую связанных с проходными видами рыб (лососевых) и при условии продления лицензии на дальнейшую деятельность по восстановлению биопродуктивности реки.

На сегодняшний день в США демонтировано 467 плотин, 28 из которых являлись крупными плотинами с высотой более 15 метров. Причины демонтажа были самые разные: соображения безопасности, восстановление рыбного хозяйства, финансовые аспекты или снос несанкционированных сооружений [3].

В контексте изменения политики управления водными ресурсами России хотелось бы коснуться еще одного момента. За рамками проведенной работы по составлению Проектов использования водохранилищ (ПИВ) во многих случаях осталась объективная оценка рыбохозяйственного использования водного фонда. Об этом свидетельствуют факты отсутствия во многих ПИВ современной достоверной рыбохозяйственной характеристики водоемов, а также – конкретных требований рыбного хозяйства к водным ресурсам. Нередко отсутствует и гидрохимическая характеристика водохранилищ, многие из которых заполнены водой с повышенной минерализацией, характерной для природных вод восточных районов Ростовской области.

Полагаем, что в современных условиях, когда от успешного функционирования агропромышленного, рыбохозяйственного и природоохранного комплексов Российской Федерации зависят продовольственная и экологическая безопасность, назрела необходимость постановки вопроса о проведении регулярного (или периодического) эколого-рыбохозяйственного мониторинга всех водоемов страны. Это будет способствовать не только решению проблемы создания общегосударственного реестра водоемов с кадастровой оценкой их рыбохозяйственной продуктивности, но и получению объективной оценки таких важных компонентов природной среды как водно-биологические ресурсы и качество природной воды.

Литература

1. Пояснительная записка к Проекту «Правила использования Ремонтненского водохранилища» (рукопись), Ростов-на-Дону, 2014, 406 с.
2. Проект «Правила использования Сальского водохранилища» (рукопись). Новочеркасск, 2014. 156 с.
3. Тематическое сообщество – проект «Белая книга. Плотины и развитие» (интернет-сайт: <http://solex-un.ru/dams>).

НАУЧНО ОБОСНОВАННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПРИРОДООХРАННЫХ И ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ВОДОЕМАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Игнатьева Н.В.

Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург
natali_ignatieva@mail.ru

Влияние урбанизированных территорий – одна из наиболее глубоких, активных и комплексных форм антропогенного воздействия на городские водоемы, приводящая к нарушению естественных процессов формирования качества воды и функционирования экосистем в целом. В то же время, водоемы являются неотъемлемой частью городской среды обитания, поэтому их экологическое благополучие является одной из составляющих качества жизни современного городского населения. Для сохранения городских водоемов в условиях высокой антропогенной нагрузки необходимо вести постоянный квалифицированный контроль их экологического состояния и своевременно осуществлять природоохранные и оздоровительные мероприятия.

В настоящее время в России наиболее распространенным и зачастую единственным оздоровительным мероприятием, применяемым к городским водоемам, является дноочистка «сухим способом». Однако часто это не приводит к ожидаемому улучшению экологической ситуации. Одной из причин является то, что при планировании оздоровительных мероприятий на водоеме не были выявлены причины экологического неблагополучия и не определен характер негативных процессов. Дноочистка может, в лучшем случае, привести к снижению поступления загрязняющих и биогенных веществ из донных отложений в водную массу водоема, т.е. уменьшению внутренней нагрузки на водоем. Однако, если внутренняя нагрузка намного меньше поступления извне, т.е. внешней нагрузки, то изъятие верхнего слоя донных отложений без применения других мероприятий на водосборе и в самом водоеме заведомо не может привести к заметному улучшению его состояния. Кроме того, полное извлечение донных отложений из городских прудов, являющихся относительно «молодыми» водоемами, в результате дноочистки и, особенно, дноуглубления несет в себе опасность обнажения слоя грунта, содержащего еще большее количество загрязняющих

веществ. Другой причиной отсутствия положительного эффекта может являться экологически безграмотное выполнение работ, когда изъятые из водоема отложения не вывозятся за пределы водосборной территории, а просто складываются неподалеку, либо из них делаются откосы вокруг водоема. В результате загрязняющие и биогенные вещества со склоновым стоком вновь попадают в водоем. В ряде случаев дноочистка водоемов, расположенных на садово-парковой территории, выполняется одновременно с работами по благоустройству газонов и высадкой зеленых насаждений, когда на прилегающую к водоему территорию завозится земля и вносятся удобрения, в то время как водоем, после изъятия донных отложений, естественным путем заполняется водой. Все это приводит к тому, что по прошествии очень непродолжительного промежутка времени состояние водоема вновь резко ухудшается и эффективность оздоровительных мероприятий сводится к нулю.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что для достижения положительного эффекта на многих водоемах требуется применение иных мероприятий, необходимость которых должна быть научно обоснована. Как правило, это комплекс, включающий внешние и внутренние меры. Для разработки оптимального комплекса оздоровительных мероприятий большинства городских водоемов достаточно одноразового (или двухразового) обследования, в ходе которого определяется ограниченное число гидрохимических и гидробиологических характеристик водоема. Подобное обследование может быть выполнено, например, в рамках практического применения «Системы ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на городских водоемах» [1, 2], разработанной в Институте озераведения РАН. Однако, если в результате такого обследования причины, приведшие к экологическому неблагополучию, или характер развивающихся в водоеме негативных процессов не достаточно ясны, то разработка оптимального комплекса мероприятий требует комплексного подхода. Такой подход необходим также в случае уникальных и социально значимых водоемов.

Научно обоснованный комплексный подход к оценке экологического состояния городских водоемов, разработке и выполнению оздоровительных мероприятий включает:

1. сбор и анализ архивной информации о водоеме;
2. выявление источников поступления загрязняющих и биогенных веществ в водоем;

3. оценку (качественную и/или количественную) современного уровня антропогенного воздействия на водоем;

4. выявление характера негативных процессов, развивающихся в водоеме, причин их развития и оценку современного экологического состояния на основе анализа данных натурных исследований на водоеме;

5. разработку оптимального комплекса природоохранных и оздоровительных мероприятий;

6. осуществление контроля состояния экосистемы водоема в ходе практической реализации намеченных оздоровительных мероприятий с целью возможной оперативной их корректировки.

Архивная информация о водоеме должна содержать ответы на вопросы: о происхождении; морфометрических характеристик; типе использования водоема на всех этапах его существования; характере и интенсивности антропогенного воздействия на каждом этапе функционирования водоема; антропогенном вмешательстве в функционирование экосистемы водоема и пр.; а также данные относительно характеристик качества воды и донных отложений, биологической продуктивности, структуры и уровня развития биологических сообществ и т.д. (если таковые имеются).

Анализ собранной информации позволит определить тип использования водоема на современном этапе, проследить динамику развития негативных процессов на водоеме, дать оценку эффективности проведенных ранее оздоровительных мероприятий (если таковые проводились), что позволит избежать ошибок при планировании комплекса мероприятий на современном этапе.

Для выявления источников поступления загрязняющих и биогенных веществ и оценки современного уровня антропогенного воздействия на водоем необходимо выполнить исследования на водосборе, в ходе которых должна быть оценена его структура, выявлено наличие точечных источников загрязнения, а также притоков, и определено качество воды в них. Кроме того, должна быть оценена (качественно или количественно) роль склонового стока и атмосферных выпадений в формировании суммарной нагрузки на водоем загрязняющими и биогенными веществами. Для этого возможно использование официальных данных соответствующих государственных структур, осуществляющих контроль качества атмосферного воздуха на данной территории.

Работы на самом водоеме должны включать: гидрохимические, гидробиологические (фитопланктон, зоопланктон, бактериопланктон, бентос, высшая водная растительность, водные грибы и др.), санитарно-гигиенические, геохимические (оценку степени загрязненности донных отложений), батиметрические (при отсутствии данных о морфометрических характеристиках водоема) исследования; оценку объема заиления водоема и роли донных отложений в формировании качества воды (внутренней нагрузки на водоем биогенными и загрязняющими веществами), а также другие специализированные исследования (например, токсикологические при наличии источников загрязнения водоема, орнитологические, радиологические и др.), необходимость выполнения которых определяется спецификой конкретного водоема.

Натурные наблюдения должны выполняться в течение не менее одного года, желательно, двух – трех лет, чтобы учесть межгодовую изменчивость показателей. Как правило, городские водоемы мелководны и имеют небольшую площадь водного зеркала; кроме того, искусственные водоемы (пруды) характеризуются меньшим запасом энергии по сравнению с озерами. Все это обуславливает существенную межгодовую вариабельность гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей в зависимости от погодных условий разных лет. В течение годового цикла натурные наблюдения должны выполняться как минимум один раз в гидрологический сезон. Число точек отбора проб в водоеме, как по горизонтали, так и по вертикали, должно быть достаточным для получения достоверной оценки состояния всего водоема.

Анализ данных натурных наблюдений позволит выявить наличие и степень загрязнения, определить характер негативных процессов, установить причины их развития, оценить трофический статус и экологическое состояние водоема на современном этапе, что послужит основой для разработки оптимального комплекса оздоровительных мероприятий.

В мире накоплен достаточно большой опыт применения различных водоохранных мероприятий на водоемах, оценена их эффективность [3]. По отношению к городским водоемам, большая часть которых является ландшафтными и рекреационными, следует стремиться к сохранению их экосистем в состоянии, при котором, несмотря на возможные изменения, они все же сохраняют способность к саморегуляции и самоочищению. Оздоровительные водоох-

ранные мероприятия необходимо проводить в двух направлениях: на водосборном бассейне, что составляет *комплекс внешних мер*, и на водоеме – *комплекс внутренних мер*, основанный на инженерных, химических и биологических методах. При разработке стратегии водоохранных мероприятий необходимо иметь в виду, что первоочередной мерой должна быть не ликвидация негативных для водоема последствий антропогенного воздействия, а устранение причин, приведших к ним. В случае если реализация внешних мероприятий окажется недостаточной для стимуляции механизмов самоочищения водоема, комплекс внешних мер следует дополнить внутренними мерами.

На городских водоемах к числу внешних мер могут быть отнесены:

- благоустройство водоохранных зон, прибрежных полос и прилегающих территорий;
- отведение сброса сточных вод в коллекторы городской канализационной сети;
- выполнение комплекса противоэрозионных мер;
- в проточных водоемах выявление источников загрязнения вод притоков и выполнение соответствующего комплекса водоохранных мероприятий на речных водосборах, а также увеличение проточности водоема путем прочистки русел водотоков, впадающих и вытекающих из него, особенно устьевых участков и истоков;
- создание в прибрежных зонах водоемов полос древесно-кустарниковой растительности и «биобревен» для снижения поступления биогенных и загрязняющих веществ со склоновым стоком.

В качестве внутренних мер на городских водоемах применяется: дноочистка (при высокой внутренней нагрузке) и дноуглубление (в случае измельчания водоема); принудительная аэрация гипolimниона; биологические методы, в том числе, заселение макрофитами, периодическое выкашивание воздушно-водной растительности, сбор плавающей растительности и подводное выкашивание макрофитов; частичная или полная замена воды; уборка листового опада с поверхности водоемов в осенний период; обработка водной массы или донных отложений рядом химических соединений, таких как FeCl_3 , Ca(OH)_2 , $\text{Ca(NO}_3)_2$, сульфат алюминия (квасцы) и др.

Химические методы, несмотря на свою эффективность, в условиях города применяются не часто, поскольку работа с химикатами представляет опасность для населения и требует соблюдения осо-

бых мер предосторожности. Для предупреждения «заморных» явлений в связи с истощением запасов кислорода подо льдом, помимо принудительной аэрации, устраивают искусственные полыньи, однако в условиях города, где большинство прудов расположено внутри жилых кварталов, а также в садах и парках, ежедневно посещаемых значительной частью населения, в том числе детьми, это может представлять определенную опасность.

Важнейшим условием эффективности применения разработанного для конкретного водоема комплекса природоохранных мероприятий является экологически грамотный подход к проведению работ. Все природоохранные мероприятия должны проводиться только на основе заключения экологической экспертизы. При выборе рекомендаций по обеспечению экологической безопасности и выполнению природоохранных работ на водоемах, при прочих равных условиях, с экологических позиций приоритет следует отдавать более щадящим мерам, направленным на стимулирование внутренней потенциальной способности водоема к саморегуляции и самоочищению, если эта способность еще не утрачена. В случае, когда применение щадящих мер не привело к ожидаемому улучшению состояния водоема, следует рассмотреть вопрос о применении более жестких мер воздействия на функционирование экосистемы водоема.

Предлагаемый подход к оценке экологического состояния и разработке природоохранных и оздоровительных мероприятий на практике был реализован на 9 прудах Московского парка Победы, созданного в период с 1945 по 1957 гг. в южной части Санкт-Петербурга. Площадь прудов составляет от 3 998 до 29 111 м², средняя глубина 1.04 – 3.44 м, все пруды бессточны, при этом пять прудов соединены между собой короткими протоками, расположенными под мостами, образуя единую водную систему. На протяжении всей истории существования прудов их следует рассматривать как ландшафтные водоемы, используемые населением исключительно в целях рекреации. Внешняя нагрузка химическими компонентами на водоемы формируется главным образом за счет склонового стока и атмосферных выпадений.

Натурные исследования проводились на прудах парка в период с 2003 по 2008 гг. На каждом водоеме был выполнен полный комплекс исследований. Результаты исследования показали, что, несмотря на то, что пруды Московского парка Победы имеют одина-

ковый «возраст», расположены на небольшой территории, в одном микроландшафте и испытывают практически одинаковую антропогенную нагрузку, они различаются практически по всем характеристикам. В ходе проведенного исследования признаков химического загрязнения не выявлено ни в одном из прудов. Основной экологической проблемой данных водоемов является антропогенное эвтрофирование, при этом оценка трофического статуса варьирует от мезотрофного до гиперэвтрофного с признаками дистрофии. Степень загрязнения донных отложений оценивается от «допустимой» до «умеренно опасной». Для большинства прудов донные отложения являются значимым источником вторичного поступления биогенных элементов в водную массу. Наиболее высокий трофический статус и наихудшая экологическая ситуация характерны для трех изолированных мелководных бессточных прудов парка. На основе результатов исследования для каждого водоема был разработан комплекс оздоровительных мероприятий.

Результаты выполненных работ свидетельствуют о том, что полученная информация является достаточной для оценки экологической ситуации на водоеме и разработки оптимального комплекса природоохранных и оздоровительных мероприятий. В случае расположения водоемов на ограниченной территории, в условиях одного микроландшафта, требуется выполнение комплекса исследовательских работ индивидуально для каждого водоема.

Литература

1. Румянцев В.А., Игнатьева Н.В. Система ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на городских водоемах. – СПб : ВВМ, 2006. – 152 с.
2. Игнатьева Н.В., О.М. Сусарева, Д.Д. Кузнецов, О.А. Павлова. Система оперативного контроля экологического состояния водоемов урбанизированных территорий // Теория и практика восстановления внутренних водоемов. – СПб: Лема, 2007. – С. 143-152.
3. Прыткова М.Я. Научные основы и методы восстановления озерных экосистем при разных видах антропогенного воздействия. – СПб: Наука, 2002. – 152 с.

СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЧНЫМ СТОКОМ В УСЛОВИЯХ ЕГО НЕСТАЦИОНАРНОСТИ

Красов В.Д.

Воронежский государственный университет, г. Воронеж,
v_d_krasov@mail.ru

Под управлением поверхностными водными ресурсами понимается всякое воздействие на речной сток, осуществляемое с целью рационального использования и устойчивого развития природных систем. Теоретические основы такого управления исследовались в трудах В.И. Данилова-Данильяна, В.Г. Пряжинской, И.Л. Храновича [1], а также в работах зарубежных авторов: J.F. Craig, D.P. Loucks, P. Nijkamp, Z. Kaczmarek и др.

Важная (а в некоторых случаях – при недостатке насыщения экономической информацией) и основная роль в разработке управленческих моделей названного типа принадлежит гидролого-водохозяйственной составляющей – С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель [2]. При этом стадию выбора параметров водохранилищ, продуцирующую величины полезного объема, гарантированной отдачи, холостых сбросов и дефицитов, необходимых для экономического и экологического анализа, можно отнести к стратегическим элементам модели. Диспетчерские графики работы водохранилища при выбранных параметрах являются инструментом оперативного управления.

В [3] разработана стратегия управления поверхностными водными ресурсами в условиях нестационарности, использующая в качестве критерия оптимальности надежность водообеспечения (расчетную обеспеченность). Она отображает внутреннюю организацию получения информации для инстанций и лиц, принимающих решения в области водохозяйственного строительства и природообустройства. Стратегия имеет следующую структуру.

Блок А (гидрологический), содержащиеся в нем подблоки предусматривают:

1. Анализ однородности и репрезентативности исходной информации по стоку.
2. Моделирование длительной последовательности стока объемом N , обеспечивающим достаточную близость получаемых параметров (нормы стока $\bar{k}$, стандарта σ , коэффициентов вариации

ции C_v , асимметрии C_s , и автокорреляции r , соотношения $\eta = C_s / C_v$) с их заданными значениями.

3. Принятие на период N сценария трансформации стока (на основе прогноза роста безвозвратного изъятия воды на хозяйственные цели, привлечения дополнительного стока из других бассейнов, учета климатических изменений и влияния других факторов).

4. Формирование модифицированных последовательностей стока на период N . Эти последовательности рассматриваются в качестве возможного притока к водохранилищу.

Блок Б (регулирование стока в процессе управления водными ресурсами). Его основной задачей является выявление динамики гарантированной отдачи и других параметров водохранилища в зависимости от показателей изменения стока рек, получаемых в гидрологическом блоке.

В соответствии со спецификой водохозяйственных задач в блоке Б предусматриваются подблоки:

I. Многолетнего режима водохранилища, в котором оценивается динамика его основных параметров (полезный объем β , гарантированная отдача α , надежность водоснабжения P) в зависимости от сценария трансформации притока (величины β и α выражены в долях нормы стока).

II. Режим первоначального наполнения, который рассматривается при выбранных параметрах водохранилища, и в свою очередь, может существенно влиять на их величину. В каждом из указанных выше подблоков может оцениваться режим водохранилища в двух вариантах: эксплуатационном и проектном. Для подблока I эксплуатационный вариант соответствует наличию водохранилища полезной емкостью β к началу трансформации притока, с гарантированной отдачей α и надежностью водоснабжения P . Возникает задача – оценить новую гарантированную отдачу α^* при изменившемся притоке и прежней надежности водоснабжения. Функцией проектного варианта является оценка всего комплекса характеристик режима водохранилища при трансформированном стоке на основе рассмотрения различного сочетания параметров регулирования.

Указанные выше подблоки и варианты модели могут быть задействованы в трех подвариантах. Первый: 1-р и 2-р, что соот-

ветствует применению в качестве критерия оптимальности норматива надежности водообеспечения; второй: 1-э и 2-э, что указывает на использование при оценке оптимальности экономических критериев; третий: 1-эк и 2-эк, при которых учитываются экологические требования.

Центральным звеном научно-методических построений в рамках предлагаемой стратегии является получение координат y_i обобщенных водохозяйственных характеристик (ОВХ) на основе решения уравнения водного баланса водохранилища за период N лет с использованием модифицированных последовательностей, позволяющего определять результирующие балансы y_{pi} в пределах выбранных временных отрезков ($i=1,2,\dots,N$). При годовом осреднении величин речного стока значения результирующих будут:

$$y_{pi} = x'_i + k_i^* - \sum_i (a_i + d_i) - \alpha, \quad (1)$$

где y_{pi} – результирующая балансы ($i=1,2,\dots,N$), x'_i – наполнение водохранилища к началу года (при $i=1$ $x'_i = 0$, при $i>1$ $x'_i = y'_{i-1}$), $y'_i - 1$ – наполнения водохранилища к концу ($i-1$) года, k_i – немодифицированный приток, a_i – изъятие стока, d_i – дефицит стока ($d_i < 0$), α – полезная отдача водохранилища.

Найденные значения y_{pi} путем ранжирования по убыванию преобразуются в величины y , представляющие собой ординаты ОВХ, соответствующие различным вероятностям превышения $\Phi(y) = m / N + 1$, где m – ранг величин в убывающей последовательности.

В результате получаем N пар координат характеристики, которая в вероятностной форме отображает основные элементы режима водохранилища. Кривая ОВХ в общем случае является непрерывной функцией притока и других параметров. Вместе с тем, она обладает важным свойством: в отдельных зонах ею характеризуются распределение вероятностей наполнений y' водохранилища, холостых сбросов c и дефицитов отдачи d :

$$y' = y \text{ (в пределах } 0 \leq y \leq \beta \text{)}, \quad c = y - \beta \text{ (в пределах } y > \beta \text{)}, \\ d = y \text{ (при } y < 0 \text{)}. \quad (2)$$

На рис.1 представлена ОВХ для сочетания параметров стока и регулирования: норма стока $\bar{k}=1,0$; коэффициенты вариации $C_v=0,5$; асимметрии $C_s=1,0$; автокорреляции $r=0,3$; гарантированная отдача водохранилища $\alpha=0,8$; полезная емкость водохранилища $\beta=1,6$; надежность водообеспечения (расчетная обеспеченность) $P=0,95$ для разных значений изъятия ($\lambda=0\div 0,5$, где λ – максимальное изъятие в долях нормы стока).

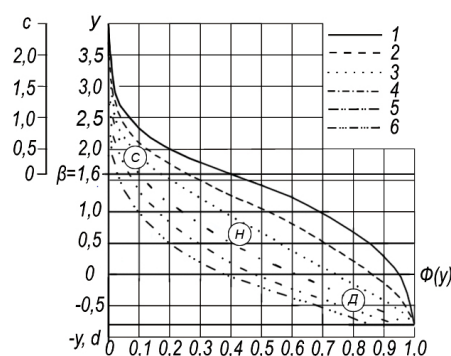


Рис. 1 – Обобщенная водохозяйственная характеристика (ОВХ)
1-6 – варианты λ ; C – холостые сбросы; H – наполнения; D – дефициты

На ОВХ выделены зоны наполнений, холостых сбросов и дефицитов водоотдачи. По абсциссе $\Phi(y=0)$ можно судить о надежности водоснабжения P , разность $1-\Phi(y=0)$ характеризует вероятность наступления перебоев. Абсциссы $\Phi(y \geq \beta)$ обозначают вероятность наступления холостых сбросов воды.

Учет экологических требований. Независимо от величины и внутригодового режима экологического минимума, предложенные подходы адаптированы к их удовлетворению. В этой связи следует отметить, что предлагаемая стратегия управления поверхностными водными ресурсами обладает важным свойством: используемая в ее алгоритмах величина $a_{\text{ли}}$ в i -ом интервале времени может рассматриваться не только как изъятие стока выше водохранилища, но и как обязательный объем попусков из него для экологических целей $a_{\text{эи}}$. В этом случае средняя величина остаточного стока $\bar{k}_0 = \bar{k} - \bar{a}_{\text{э}}$ представляет собой предел, который может быть использован для регулирования ($\bar{a}_{\text{э}}$ – средний объем экологического попуска за N лет). В случае необходимости обеспечить «экологический» гидро-

граф в рамках предложенной стратегии следует полагать $a_{Иi} = a_{Эi}$ ($a_{Эi}$ – годовой объем «экологического» гидрографа). Требуемый объем экологического попуска за j -й внутригодовой интервал i -го года $a_{Эij}$ можно получать по соотношению: $a_{Эij} = a_{Иij} = \gamma_{Иij} a_{Эi}$, где $\gamma_{Иij}$ – доля $a_{Эij}$ в годовом объеме $a_{Эi}$ «экологического» гидрографа, $i=1,2,\dots,N$ (N – число лет в последовательности стока), $j=1,2,\dots,m_1$ (m_1 – число внутригодовых интервалов).

Таким образом, в случае учета экологических требований, получаемые в гидрологическом блоке для сценариев изъятия водных ресурсов результаты исследований по динамике параметров, квантилей стока, его выборочных оценок можно в полной мере отнести к характеристикам остаточного стока.

Экономическая составляющая управления. Во всех предложенных выше подвариантах не только не исключается применение стоимостных показателей, но, наоборот, имеются все возможности для их использования. Отправной позицией в этом отношении является наличие на ОВХ в рассматриваемых сценариях изъятия зоны интегральной функции распределения дефицитов $\Phi(d^*)$ при отдаче α^* в интервале $q^*=1-P^*$ (d^* – дефицит отдачи при заданном изъятии, P^* – обеспеченность отдачи, q^* – вероятность перебора, Φ – символ функции, “*” – знак модификации стока). Задачи выбора оптимального значения $\alpha^*_{опт}$ сводится к минимизации выражения:

$$M(S) = \int_0^{\alpha} y U(y) \Phi'(y) dy, \quad (3)$$

где $M(S)$ – математическое ожидание суммарных затрат, y – ордината ОВХ, $U(y)$ – функция удельных затрат от недодачи воды потребителям в объеме $y=d^*$, представляющая собой разность между ущербами $F(d^*)$ от дефицита воды и стоимостью мероприятий $R(d^*)$ по его преодолению (создание иных источников воды или энергии, резервирование продукции аналогичного вида и т.п.), $\Phi'(y)$ – плотность распределения вероятности функции $\Phi(y)$.

Исследование динамики параметров регулирования стока. На основе разработанной стратегии исследована динамика параметров регулирования, оценены пределы их трансформации в зависимости от изменения стока (как в сторону уменьшения, так и при увеличении). На рис. 2 представлена зависимость гарантированной

отдачи водохранилища α_p^* при ее обеспеченности P от величины изъятия $\bar{a}_H$ и увеличения стока $\bar{a}_H$ для сценариев а, б, в и двух вариантов: эксплуатационного (1) и проектного (2).

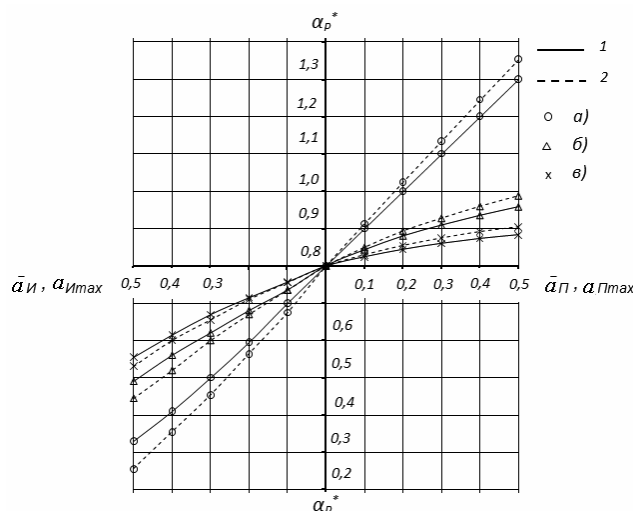


Рис. 2 – Изменение гарантированной отдачи водохранилища от величин изъятия $\bar{a}_H$ и увеличения $\bar{a}_H$ стока в вариантах: 1 и 2;
 $a_{H \max}$, $a_{H \max}$ – максимальное изъятие и увеличение стока
 (а – константа; б – прямая; в – парабола-1)

Из анализа рис. 2 видно, что в группе сценариев зоны изъятия в эксплуатационном варианте (при $\beta^* = \beta$) уменьшение α_p^* до $\bar{a}_H = 0,3$ в сценарии «константа» практически равно изменению $\bar{a}_H$; эта тенденция замедляется при $\bar{a}_H = 0,4$, (на 6,7%) и $\bar{a}_H = 0,5$ (на 25%), что является следствием влияния интервала нулевого стока. В сценариях нелинейного изменения $\alpha_{H_i}^*$ градиент снижения α_p^* увеличивается с ростом изъятия повсеместно. Это подтверждает тот факт, что изменение водоотдачи водохранилищ здесь обусловлено не только уменьшением нормы стока, но и его последствиями: расширением границ критических маловодных периодов и уменьшением их стока. В зоне увеличения стока приращения отдачи в случаях $a_{H_i} = \bar{a}_H = const$ практически аналогичны изменению $\bar{a}_H$. В нелинейных случаях возрастание α_p^* ниже, чем при таких же значениях

изъятия – из-за меньшей степени использования стока за счет холостых сбросов.

Учет внутригодовых колебаний стока позволяет рассматривать полезный объем водохранилища как единый параметр и ввести оценку надежности не только по числу бесперебойных лет P_L , но и по числу бесперебойных внутригодовых интервалов (месяцев) P_M . Оценка динамики параметров регулирования для данного случая проведена применительно к условиям Цимлянского водохранилища на р. Дон. В процессе исследований не только установлены пределы изменения гарантированной отдачи и ее надежности в зависимости от изъятия (см. рис. 3), но и получены рекомендации в отношении величины «рыбного» попуска при современном уровне безвозвратных потерь стока.

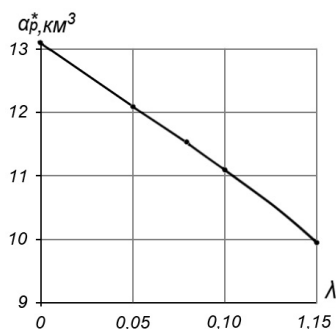


Рис. 3 – Зависимость гарантированной отдачи Цимлянского водохранилища от изъятия стока (при изъятии из внутригодовых значений стока)

Выявлена устойчивость в рассмотренном диапазоне изъятий разности между оценками надежности водообеспечения по числу бесперебойных месяцев и бесперебойных лет.

По мнению автора, программы по использованию ресурсов стока р. Дон выше Цимлянского гидроузла, связанные с безвозвратными отъемами стока реки, могут негативно сказаться на водопользовании в низовьях р. Дон. Проблема водообеспечения в бассейне р. Дон должна решаться на основе концепции интегрированного управления водными ресурсами [4].

Литература

1. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – М.: Научный мир, 2010. 230 с.

2. *Крицкий С.Н.* Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1982. – 271 с.

3. *Красов В.Д.* Управление поверхностными водными ресурсами в условиях нестационарности – Воронеж: Изд. Научная книга, 2014. – 252с.

4. *Косолапов А.Е.* Опыт применения принципов интегрированного управления водными ресурсами Схем КИОВО // Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции «Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования». Калининград: Капрос, 2011. С.216-222.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
СОЗДАВАЕМЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В КРИОЛИТОЗОНЕ
(на примере Нижне-Богучанского водохранилища)**

Курбатова И.Е.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

irenkurb@yandex.ru

Регулирование режима речного стока с помощью водохранилищ ради решения широкого круга хозяйственных задач является одним из самых кардинальных вмешательств человека в естественную жизнь реки и прилегающих территорий, которое провоцирует значительные природные и социально-экономические изменения. Строительство такого крупного водохозяйственного объекта как водохранилище требует проведения государственной экологической экспертизы, а на самом раннем предпроектном этапе - выполнения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Последняя задача многофакторная, поскольку влияние водохранилищ на окружающую среду разнообразно и неодинаково как в разных географических регионах и высотных поясах, так и на разных участках водоема. Специфические особенности и масштабы влияния русловых водохранилищ на прилегающие территории должны быть обязательно выявлены при разработке информационного обеспечения конкретного водоема и учтены при выполнении ОВОС.

К одним из наиболее сложных по комплексу последствий относятся водохранилища, создаваемые в зоне многолетней мерзлоты.

Они оказывают серьезнейшее влияние на значительные территории, приводя к нарушению устойчивости криогенной системы за счет изменения температурного и влажностного режимов почвогрунтов. При наполнении этих водохранилищ к естественным экзогенным процессам добавляется термоабразия, в свою очередь, усиливающая интенсивность склоновых процессов (оползни, оседания склонов, солифлюкция). Результаты обследований [1] показали, что за счет просадок дна при оттаивании мерзлых пород происходит увеличение объемов водохранилищ на 15% и более. Это задерживает достижение нормального подпорного уровня (НПУ), осложняет условия эксплуатации водохранилищ и ставит под угрозу безопасность инженерных сооружений, снижает выработку энергии.

Труднодоступность территорий зоны многолетней мерзлоты ограничивает проведение систематических наблюдений для получения качественного материала по этой проблематике, поэтому объем фактических данных о переработке мерзлых берегов и других негативных процессах в зоне влияния водохранилищ крайне мал [1]. Эколого-географическими обследованиями эти регионы также обеспечены слабо. В связи с этим очевидна актуальность поиска новых методов проведения оценки воздействия водохранилища на экологическое состояние криолитозоны и необходимость привлечения дополнительных источников информации, среди которых наиболее перспективные, по мнению автора, показаны на рис. 1.

Факторы взаимосвязей между компонентами окружающей среды и искусственным водоемом образуют сложно структурируемый массив информации. Поэтому актуальной и перспективной задачей является развитие и научное обоснование системы наблюдений за формированием водохранилища и окружающей его средой с помощью геоэкологического мониторинга и ГИС-технологий. Совокупность этих систем позволяет структурировать информационные массивы, обеспечивать их хранение, визуализировать отображение разнообразных пространственно-временных данных для анализа современного состояния территории и прогноза ее дальнейшего развития.

Одним из эффективных подходов к структурированию информации в ГИС является картографический, с помощью которого реализуется пространственный анализ получаемых разнородных данных, обобщение и преобразование результатов наблюдений и ис-

следований в картографические документы разного уровня и тематики. Роль карт в ГИС двояка: с одной стороны, это форма хранения и передачи информации; с другой, это средство познания и моделирования геосистем при различных сценариях их развития, в том числе при возникновении антропогенной нагрузки и оценке ее последствий.



Рис. 1 – Структура информационного обеспечения ОВОС в условиях дефицита наземных наблюдений

В качестве объекта исследования была рассмотрена территория планируемого строительства Нижне-Богучанской ГЭС. Это пятое водохранилище на Ангаре, его плотина будет находиться в 107 км от Богучанской ГЭС ниже по течению реки (рис. 2). Предполагается, что строительство Нижне-Богучанской ГЭС закончится в 2022 г. [2], и в соответствии с предварительным графиком строительства ГЭС подготовка проектной документации и проведение государственной экспертизы намечены на 2016-2017 гг.



Рис. 2 – Границы будущего Нижне-Богучанского водохранилища на р. Ангаре

Регион расположен в зоне распространения многолетней мерзлоты островного типа, что влияет на условия формирования микро-рельефа, роста растений, почвообразования и водного режима [3]. Островная мерзлота характеризуется малыми мощностями мерзлотных толщ и температурами, близкими к 0°C . Для Нижнего Приангарья характерны глубины промерзания от 15 до 60 м. Большую часть региона занимают южно-таёжные леса. Земли в районах массовых вырубок лесов, разработки карьеров и строительных работ подвержены деградации, основными типами которой являются: развевание, дефляция; водная эрозия; переуплотнение, заболачивание, уничтожение плодородного слоя, химическое и физическое загрязнение при скоплении отходов и др. [4].

Для предварительного изучения возможных изменений окружающей среды в зоне создания Нижне-Богучанского водохранилища была использована ГИС «Карта 2011» – универсальная геоинформационная система, предназначенная для сбора, создания и ведения базы пространственных данных, создания и обновления цифровых карт и планов, создания информационных систем различного назначения. Система позволяет создавать цифровые модели рельефа и их производные, отображать и обрабатывать данные ДЗЗ. Из набора отдельных снимков местности разного масштаба и вида могут создаваться электронные ортофотопланы на большие территории с постепенным наполнением векторными данными (в виде пользовательских карт), привязкой к внешним базам данных. При

совместном применении ортофотопланов и матриц высот рельефа могут решаться большинство задач планирования, оперативного управления на местности. Данные космической съемки высокого разрешения в оптическом диапазоне используются для обновления содержания топографических карт, выявления различий в сезонном состоянии природных комплексов и уточнения современных контуров природных и антропогенных объектов.

Тематика карт, разрабатываемых с помощью ГИС формированием многослойного информационного образа изучаемого региона, должна быть нацелена на осуществление комплексной или покомпонентной оценки состояния территории в зоне создания водохранилища. Такой образ формируется последовательным нанесением на базовую цифровую топографическую основу слоев с тематической информацией различного рода – границы ландшафтных комплексов, спутниковые изображения, дополнительные данные. В результате образуется самостоятельный информационный слой, на основе анализа которого разрабатывается тематическое содержание карты и его оформление (рис 3).



Рис. 3 – Пример совмещения разных информационных слоев:
а) фрагмент топографической карты масштаба 1:1 000 000; б) космическое изображение ИСЗ Landsat-7, 2014 г.; в) комбинированное изображение

С помощью ГИС «Карта 2011» разработана карта «Изменение природной среды зоны затопления Нижне-Богучанского водохранилища» масштаба 1:200 000, для которой использованы цифровые

топографические карты масштабов: обзорного – 1:1 000 000; регионального – 1:200 000, локального -1:50 000 (на отдельные участки), ландшафтная карта, а также космическая информация высокого разрешения с ИСЗ Landsat-7 и IKONOS за 2014 г.

Совмещение слоев с топографическим содержанием и ландшафтным районированием позволило выявить закономерности пространственной дифференциации географической среды; определить границу зоны затопления территории, соответствующую планируемому НПУ (140 м); выбрать зону косвенного влияния, ограниченную горизонталью 160 м. Рис. 4 наглядно отображает распределение пологих участков местности.

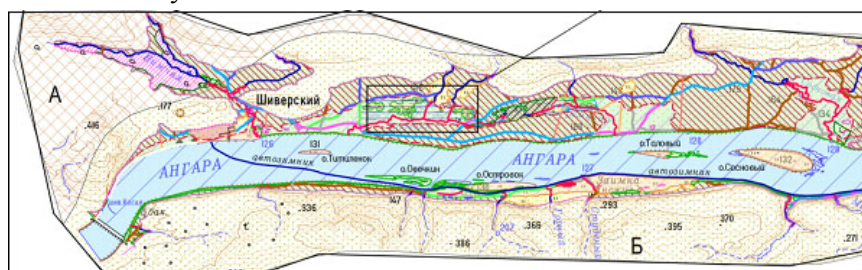


Рис. 4 – Фрагмент карты «Изменение природной зоны затопления Нижне-Богучанского водохранилища»

Анализ карты показал, что основные площади затопления из-за создания Нижне-Богучанской ГЭС будут расположены узкими полосами вдоль берегов Ангары и значительно расширяться в долинах рек Талая, Сосновка и Мура. Суммарная длина всех приустьевых частей многочисленных притоков Ангары, которые будут затоплены водохранилищем – больше 50 км, а в зоне косвенного влияния суммарно окажутся почти 160 км русел рек. Значительные площади затопления будут наблюдаться в районе болотного массива Еланское и на островах. Ряд населенных пунктов вдоль русла Ангары (Невонка, Гольявино, Глубокое, Хребтовый, Говорково, Климино и др.) будут частично или полностью находиться в зоне проявления негативных процессов – затоплений, подтоплений, переработки и обрушений берегов, оползневых процессов, солефлюкции и т.д. В зоне влияния водохранилища окажутся 26 км автодороги Богучаны-Кодинск, 75 км грунтовых проселочных и лесных дорог будет полностью затоплено, а 173 км – попадет в зону косвенного влияния, что может привести к подтоплениям отдельных участков дорог.

Рассчитанные площади и длины объектов, попадающих в зоны планируемого затопления и косвенного влияния, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры природных и антропогенных объектов, попадающих в зоны планируемого затопления и косвенного влияния Нижне-Богучанского водохранилища

Объекты	Зона затопления		Зона косвенного влияния	
	Площадь, км ²	Длина, км	Площадь, км ²	Длина, км
Природные объекты				
Реки (с учетом Ангары)	184,45	-	-	159,66
Острова	18,99	-	-	-
Леса	28,90	-	133,05	-
Поросль леса	1,611	-	1,43	-
Вырубленные леса	0,28	-	0,79	-
Леса редкие высокие	-	-	4,91	-
Луговая растительность	25,14	-	34,67	-
Болота	4,64	-	2,63	-
Пески	0,34	-	-	-
Каменистые россыпи	-	-	0,03	-
Скалы	-	-	0,13	-
Антропогенные объекты				
Населенные пункты	0,43	-	5,53	-
Автодороги с покрытием	-	1,91	-	24,04
Автодороги без покрытия	-	16,89	-	66,43
Грунтовые просел. дороги	-	12,01	-	16,111
Полевые и лесные дороги	-	45,65	-	101,77
Зимние дороги (автозимник)	-	81,00	-	-
Промышленные предприятия	0,16	-	3,44	-

Содержание разработанной карты может быть использовано для составления предварительного прогноза и оценки риска развития экосистем, попадающих в зону подтопления, путем привлечения дополнительных данных об основных системообразующих факторах: глубине летнего оттаивания грунтов и уровне повышения грунтовых вод при наполнении водохранилища. Устойчивость деревьев к подтоплению зависит от их местоположения, форм рельефа, частоты, продолжительности и уровня повышения вод [5]. Подпор уровня воды в боковых притоках будущего водохранилища будет провоцировать периодическое затопление и переувлажнение залесенных долин, тальвегов и суходолов, создавая риск полного или частичного отмирания древостоев (табл. 2).

Таблица 2 – Возможные изменения природных комплексов в зонах влияния создаваемого водохранилища (с использованием материалов [5])

Ландшафтные комплексы Нижнего Приангарья		Зона постоянного затопления	Зона косвенного влияния
А	<i>плато увалисто-холмистые и грядовые</i> – денудационно-эрозийные структурные, густо расчлененные, с солифлюкционными формами, осыпями, с елово-пихтовыми травяно-зелено-мошными лесами, вдоль рек с сосновыми и лиственнично-сосновыми травяными лесами	Территории с этими природными комплексами не попадают в зону затопления. Изменений нет.	Практически не будут подвержены изменениям. Эпизодическое кратковременное подтопление вдоль притоков в результате высокого уровня подпора не вызовет серьезных изменений в состоянии древостоев
Б	<i>плато холмистые, расчлененные</i> , денудационно-эрозийные трапцевые со ступенчатыми склонами, с лиственнично-сосновыми травяно-зеленомошными и кустарничковыми лесами	Территории с этими природными комплексами не попадают в зону затопления. Изменений нет.	Возможны небольшие изменения древостоя по сухим балкам в результате периодического подтопления корневой системы
В	<i>поймы и низкие надпойменные террасы</i> – аллювиальные аккумулятивно-денудационные плоские, заболоченные, с мелкими озерами, старицами, с сосновыми и лиственнично-сосновыми травяными лесами	Гибель всех полностью затопленных наземных экосистем. Сосны и ели на мелководье гибнут через 2-3 года. Леса по береговой линии максимальных уровней водохранилищ заменят кустарниковые пны	Дифференцированное переформирование экосистем зависит от рельефа, почв, сезона и продолжительности повышения уровня грунтовых вод, устойчивостью древесных пород к подтоплению
В ₁	<i>поймы крупных рек</i> – аллювиальные аккумулятивные, плоские, сегментно-островные, с протоками, со злаково-осоковыми, лугами и кустарниковыми пняками	Гибель всех полностью затопленных наземных экосистем. На месте ушедших под воду болотных массивов возможно появление торфяных островов	По мере увеличения влажности уменьшается прирост древостоя, а в условиях заболачивания значительно сокращается. Возможны проявления термоабразии

Разработанные карты представляют начальный этап использования ГИС «Карта 2011» и содержат базовую информацию для дальнейшего более детального и проблемно-ориентированного изучения последствий создания очередного водохранилища в сложных природных условиях.

Литература

1. Проблемы гидротехнического строительства в криолитозоне: особенности, криогенные процессы, мониторинг, прогнозирование (отчет о результ. научн. исслед.). Отв. исп. Разумов С.О. Якутск, 2009.30 с. Электрон. ресурс <http://do.gendocs.ru/docs/index37913.html>

2. Плотина. НЕТ! Нижнее-Богучанская ГЭС. [Электронный ресурс]: сайт – Красноярск, 2007-2015. – Режим доступа: www.plotina.net.],
3. Вечная мерзлота. [Электронный ресурс]: сайт –2002. – Режим доступа: www.gordon0030.narod.ru.
4. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2013 году». – Красноярск, 2014. 282 с.
5. Даниленко О.К., Узрюмов Б.И., Яремчук Р. Влияние затопления Богучанского водохранилища на продуктивность древостоев береговой полосы. (БрГУ, г. Братск, РФ)
[Электронный ресурс] Режим доступа: http://science-bsea.bgita.ru/2007/les_2007/danilenko_vlijanie.htm

**МЕТОДОЛОГИЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ
МЕРОПРИЯТИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
(на примере водохозяйственного комплекса Нижней Волги)**

Левит-Гуревич Л.К., Болгов М.В.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
lev-gyr@yandex.ru

Методология обоснования приоритетных водохозяйственных мероприятий представляет собой инструмент рационального выбора, сочетающий решение оптимизационных задач с неформальными эвристическими подходами. Выбор мероприятий проводится на водохозяйственном участке крупной реки или в бассейне средней реки. Для нашего примера – это Нижняя Волга – уникальный по природным богатствам регион России, на территории которого сталкиваются интересы разных отраслей народного хозяйства, использующих водные ресурсы. Кроме рыбного хозяйства есть другие направления: питьевое и промышленное водоснабжение, орошение и обводнение, речной и морской транспорт. Хозяйственное развитие региона требует эффективного управления в увязке с работой Волжско-Камского каскада водохранилищ (ВКК). Особенностью региона является сетевое строение водотоков.

В 21 км выше Волгограда от Волги отделяется левый рукав — Ахтуба (длина 537 км), которая течёт параллельно основному руслу р. Волги. Междуречье — Волго-Ахтубинская пойма (14 тыс. км²) на

всем протяжении прорезана рукавами, протоками, воложками, здесь масса мелководных озер, много крупных островов. Дельта площадью 19 тыс. км² делится на три зоны: верхнюю, среднюю, нижнюю – с интенсивными разветвлениями русел. Водотоки верхней и средней зон также разделяются по крупности: главное русло, рукава, протоки, ерики, банки, каналы, - всего 482 водотока.

Обоснование приоритетных водохозяйственных мероприятий комплекса Нижней Волги включает *три уровня детальности*. На *верхнем уровне* рассматривается регион в целом и водное хозяйство как совокупность общих отраслей: водопотребление и водопользование, охрана водных объектов, защита от вредного воздействия вод, поддержание хорошего качества вод и высокого экологического состояния водных объектов.

На *среднем уровне* выделяются ограниченные водные территории: район Волго-Ахтубинской поймы от плотины Волжской ГЭС до села Каменный Яр, ниже этого села до г. Нариманов, головной узел дельты Волги и верховья дельты, средние Восточная и Западная части дельты, район Западных подстепных ильменей, прибрежные части дельты у Каспийского моря (рис.1). Принятие решений состоит в выборе агрегированных направлений водохозяйственной деятельности, детализирующих перечисленные выше отрасли водного хозяйства.

Нижний, детальный уровень состоит в выборе конкретных мероприятий на водных объектах, примыкающих к городам, населенным пунктам, предприятиям и промыслам.

Рассматриваются следующие виды мероприятий:

- технические разовые (строительство и реконструкция сооружений: шлюзы, дамбы, очистные сооружения, насосные станции и пр.);
- технические продолженные (действия, повторяющиеся целенаправленно, например, укрепление берегов, расчистка русла и расчистка дна водоемов и ильменей, и пр. в условиях режима постоянного заиливания и занесения наносами);
- экологические, направленные на сохранение качества среды в сфере экологии водных объектов (разведение, поддержание флоры и фауны, установление границ водоохранных зон, восстановление растительности, приведение в порядок территорий, очистка и обустройство прибрежных полос, работы по сетям ливневой канализации, защита подземных вод от загрязнения, зарыбление и пр.);

- организационные (выполнение требуемых режимов работы, вододделение по водотокам дельты и др.).

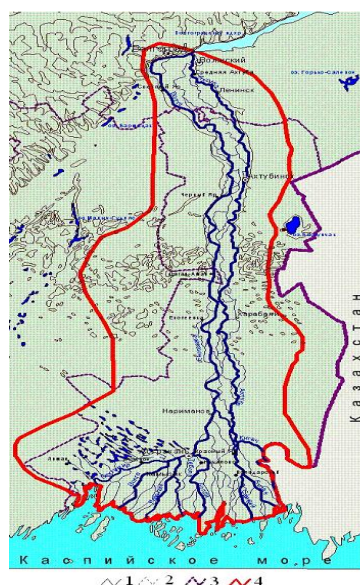


Рис. 1 – Карта-схема региона Нижней Волги в границах водосборной площади и областей: 1 – изолинии, 2 – граница областей, 3 – граница РФ, 4 – граница водосборной площади

На этапах методологии обосновываются основные параметры общих отраслей водного хозяйства, агрегированных видов и конкретных мероприятий в виде фондов этих отраслей, видов, мероприятий. Фонды включают не только совокупность сооружений, систем и пр., но и результат выполненных работ на водных объектах, например, укрепление берегов. Стоимость фондов оценивается по укрупненным показателям стоимости сооружений, технических и иных мероприятий, также, как и показатели их результативности. При этом не все виды и мероприятия имеют экономическую эффективность (например, обоснование оценки эффективности мероприятий экологического характера проблематично).

Порядок расчетов стоимости и эффективности сформулирован отдельными положениями. Учитывается, что если намечено новое строительство или выполнение работ, то через определенный промежуток времени Δt_m в несколько лет появляется необходимость реконструкции или ремонта (рассматривается как самостоятельное

мероприятие). Временные рамки необходимой реконструкции определяются по сроку службы, изношенности оборудования и пр. Рассматривается многолетний период, поскольку сроки строительства сооружений и осуществления мероприятий могут превышать один год, а эффект от их осуществления имеет влияние продолжительное время в последующие годы.

Аналогично стоимостям принимаются ежегодные эксплуатационные затраты по удельным величинам для впервые осуществляемого мероприятия (новое строительство) и для действующих сооружений. При выборе очередности строительства оперируют не стоимостями K и эксплуатационными затратами E , а приведенными стоимостями $Z = E + K/T_n$, где T_n - нормативный срок окупаемости в годах. При выборе конкретных мероприятий находится год t_m^0 начала (строительства, проведения работ) на шкале лет $t = \overline{1, T}$. Капитальные затраты предположительно равномерны при осуществлении мероприятия по годам, а эксплуатационные растут линейно от начала до конца реализации, затем постоянны.

Идеи выбора приоритетных мероприятий следующие.

1. Совокупность гидрологического стока реки и хозяйственно-экономических условий региона как прогноз на многолетний период представляют собой природно-экономический сценарий, дополняемый по мере проведения расчетов основными параметрами и оценками объемов и стоимостей фондов отраслей водного хозяйства, видов и конкретных мероприятий.

2. Оцениваются объемы и стоимости максимально возможных водохозяйственных фондов Φ^T по всем водным отраслям и направлениям (видам мероприятий) в перспективе на далекий год T . Ежегодно выполняемые работы по отраслям и направлениям водохозяйственной деятельности устанавливаются в соотношении найденных фондов в перспективе.

3. Выбор очередности водных мероприятий осуществляется в рамках одного сценария по этапам:

- оценка фондов отраслей водного хозяйства в перспективе и по годам развития,
- выбор рационального варианта агрегированных направлений водохозяйственной деятельности (видов мероприятий) на основе проведенного оценочного выбора отраслей,
- выбор конкретных мероприятий с определенными допущениями в опережении или отставании на основе выбранных направлений.

4. Выбор фондов развития отраслей водного хозяйства и агрегированных направлений водохозяйственной деятельности (видов мероприятий) осуществляется по всем отраслям и видам одновременно. При этом рассматриваются как доходные отрасли: рыбное хозяйство, водный транспорт, орошение, водоснабжение, так и «бездоходные» отрасли, ущерб от невыполнения мероприятий которых определить сложно.

Технология выбора рациональных мероприятий на основе высказанных выше идей представляет собой процесс разработки сценариев развития водного хозяйства региона и проводится по этапам, в состав которых включается решение следующих вычислительных задач:

А) расчеты объемов и стоимости фондов направлений водохозяйственной деятельности;

В) определение характеристик развития водохозяйственной деятельности в многолетний период;

С) определение рационального режима пропуска расходов по сети водотоков;

Д) рациональный выбор конкретных мероприятий.

Задача А. Определяются объемы и стоимости фондов Φ_m^T , $m = 1, M$, различных видов мероприятий водного хозяйства на перспективу – т.е. осуществляется стоимостная оценка материальной базы водного хозяйства и водной деятельности на конечный год T (например, $\Phi_{укрпл_берегов}^T = f \cdot s_f$, где s_f - площадь берегов, а f - удельная стоимость их укрепления; $\Phi_{орошение}^T = F \cdot s_F$, где s_F - площадь орошения, а F – удельная стоимость нового строительства либо реконструкции). Целесообразная площадь орошения определяется при решении оптимизационной задачи развития экономики региона. Аналогично находятся стоимости фондов других видов водохозяйственных мероприятий.

Задача В. Вычисляются суммарные ежегодные затраты на осуществление всех видов мероприятий водохозяйственной отрасли в многолетний период с помощью разработки укрупненной стратегии развития отрасли на основе принципов глобального моделирования [1]. Используется агрегированное описание влияющих факторов, показателей развития и связей обобщенными соотношениями (техническими, экономическими, водобалансовыми). Предполагается, что длительность развития охватывает перспективу в 20-30 лет, временная единица развития - год. Направления водохозяйственной

деятельности описывается стоимостью производственных фондов (зданий, сооружений, оборудования) $\Phi(t)$ с изменением во времени от Φ_m^0 до Φ_m^T . При этом выполняется определенное в задаче А соотношение производственных фондов направлений водной деятельности $\Phi_1^T : \Phi_2^T : \dots : \Phi_m^T \dots \Phi_{M-1}^T : \Phi_M^T$ как детализации общих фондов водопотребления, водопользования (гидроэнергетика, рыбное хозяйство, водный транспорт); вычисляется и суммарная их стоимость: $\Phi_{\Sigma m}^T = \Phi_1^T + \Phi_2^T + \dots + \Phi_m^T + \dots + \Phi_{M-1}^T + \Phi_M^T$.

Процесс перехода от начальных значений стоимости фондов к фондам в перспективе по каждому виду m мероприятий или по сумме всех видов Σm описывается уравнением:

$$\Phi_{\Sigma m}(t) = \Phi_{\Sigma m}^T - \alpha_{\Sigma m} e^{-\varphi t} + \beta_{\Sigma m} e^{-\psi t},$$

где α , φ , β , ψ - зависят от $\Phi_{\Sigma m}^0$, $\Phi_{\Sigma m}^T$, удельных стоимостей и коэффициента темпов развития λ :

$$\lambda = [\alpha_{\Sigma m}/(\varphi+1) - \beta_{\Sigma m}/(\psi+1)] / [\alpha_{\Sigma m} - \beta_{\Sigma m}], \quad 0 < \lambda < 1.$$

При $\lambda=0.90-0.75$ – происходит быстрое развитие, при $0.74-0.60$ – умеренно ускоренное, значения $0.59-0.40$ соответствуют средним темпам, $0.40-0.25$ – замедленным, $\lambda=0.25-0.10$ обозначают слабое развитие. Определяются необходимые затраты по годам.

Основные фонды всех водохозяйственных элементов водной отрасли как функции времени в соответствии с решением уравнений развития характеризуются начальным сравнительно быстрым изменением объемов и стоимостей водных отраслей путем нового строительства, затем медленным приближением к значениям, заданным в перспективе. Производственная строительная база постепенно, потом полностью, переходит на работу по реконструкции объектов. На рис. 2. приведены гипотетические примеры графиков зависимостей стоимостей фондов водной отрасли при анализе уравнения развития, где: 1 – монотонное развитие; 2 – задержка интенсивного этапа, 3 – сокращение устаревших, затем наращивание модернизированных, 4 – наращивание модернизированных фондов, сокращение устаревших.

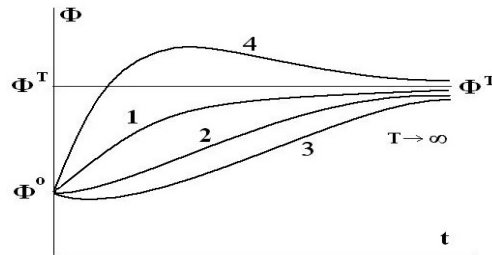


Рис. 2 – Примеры графика развития фондов водной отрасли

Кроме фондов и затрат определяется доход от водного хозяйства по годам, где d – удельный доход на единицу фондов. Тогда

$$D = d \int_0^T \Phi(t) e^{-\delta t} dt, \text{ и по приведенному выше уравнению развития}$$

$$D = d [\Phi^T / \delta + a / (\varphi + \delta) - b / (\psi + \delta)], \text{ где } \delta - \text{коэффициент дисконта.}$$

Затраты по годам и доход водного хозяйства зависят от среднегодового объема водных ресурсов W^+ , W^* поступающих в регион и уходящих, и коэффициента использования воды $0 \leq u \leq 1$, $u = W / W^+$.

Эксплуатационная задача С. Определяется рациональный режим пропуска расходов по сети водотоков. На Нижней Волге решение этой задачи позволяет выбрать поперечные регулирующие сооружения на водотоках с целью оптимизации режима распределения расходов - целесообразные места установки сооружений и основные их параметры. Так как междуречье Волги и Ахтубы, и дельта - сеть водотоков, - в результате решения этой задачи могут быть снижены холостые сбросы воды в море [4].

Задача D. Выбираются конкретные мероприятия водохозяйственной деятельности, включая очередность строительства и реконструкции (рис. 3). Выбирается t_m^0 – год начала реализации m -го мероприятия, $m=1, 2, \dots, M$, Δt_m - продолжительность проведения работ, $\Delta Z_m(t)$ – затраты на осуществление мероприятия в t -м году. Суммарные затраты ограничиваются кривой $Z(t)$, полученной по решению задачи на этапе В.

Задача может быть решена по принципу ранжирования: мероприятия назначаются в порядке уменьшения величины $\Delta D_m / \Delta Z_m$, где ΔD_m – общий доход от осуществления мероприятия при $t > t_m^0$. Выполняется условие одновременного развития разных видов мероприятий по их стоимостям: если $\Delta \Phi_m = \Phi_m^T - \Phi_m^0$, то с некоторым до-

пуском соотношение $\Delta\Phi_1:\Delta\Phi_2:\Delta\Phi_3\ldots:\Delta\Phi_M$ соответствует приведенному выше $\Phi_1^T:\Phi_2^T:\ldots:\Phi_m^T\ldots:\Phi_{M-1}^T:\Phi_M^T$. Осуществляется также контроль смысловой правильности выбора путем логических «таблиц решений» [2], - глупо, например, сначала строить насосную станцию, а потом лишь сам водоем.

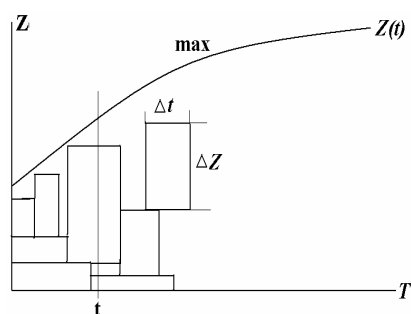


Рис. 3 – Иллюстрация постановки и решения задачи выбора конкретных мероприятий

Водохозяйственная зональность Нижней Волги, проблемы региона и пути их решения подробно изложены в [3]. Виды мероприятий развития водного хозяйства Нижней Волги это: I. Повышение водообеспеченности региона в целом; II. Водоснабжение (промышленное, коммунальное, питьевое); III. Рыбохозяйственные мероприятия (рыбозаводы, рыбные хозяйства, нерестилища и др.); IV. Мероприятия на водотоках (расчистка, углубление, вододеление); V. Обустройство водоемов, ильменей (расчистка, углублении, поддержание флоры и фауны); VI. Ирригация (площади орошения, повышение эффективности оросительных систем); VII. Гидротехническое строительство на водотоках (шлюзы, насосные станции, каналы); VIII Защита от загрязнений (очистные сооружения, водоохранные зоны); IX Защита от затоплений и подтоплений (обвалование, вынос из зон затоплений, пр.); X. Развитие и обустройство водного транспорта (пирсы, бакены, затоны, пристани); XI. Водоотведение (в промышленности, коммунальное, сельскохозяйственное, с ферм); XII. Обводнение пастбищ и водоснабжение животноводческих ферм; XIII. Противозрозионные мероприятия; XIV. Мероприятия, связанные с подземными водами; XV. Борьба с посадкой уровней в водотоках Нижней Волги - укрепление дна основных водотоков ниже Волгоградского гидроузла.

Анализ общих направлений развития водного хозяйства на Нижней Волге приводит к формулировке детальных видов мероприятий (их число около 40), предложенных для решения проблем региона.

Анализ перспективных и существующих фондов направлений развития водного хозяйства на Нижней Волге, оценки затрат и доходностей, которые удалось собрать, позволили наметить рациональную очередность реализации видов мероприятий. Виды мероприятий не привязаны к определенному месту реализации, лишь комплексное мероприятие повышения водообеспечения относится к первым створам ниже Волгоградской плотины. Основанием для выстраивания очередности явились оценки затрат на реализацию водохозяйственных мероприятий и возможной доходности их с учетом примерного числа лет реализации. В очередь вошли и «бездоходные» экологические мероприятия, преследующие цели улучшения и сохранения состояния водотоков и водоемов Волго-Ахтубинского междуречья и дельты Волги в соответствии с высокими экологическими требованиями.

Очередность проведения комплексов мероприятий представляется следующей. I. Повышение водообеспеченности региона в целом. II. Приведение в порядок ильменей, в особенности Западных подступных ильменей. III. Хозяйственное и питьевое водоснабжение. IV. Рекреация. V. Расширение орошаемых площадей, реконструкция оросительных систем. VI. Рыбохозяйственные мероприятия. VII. Обустройство нерестилищ. VIII. Постоянно выполняемые мероприятия: очистка русел, обустройство водотоков, укрепление берегов, контроль водоотведения и сбросов сточных вод, развитие водоохранных мероприятий, промывки засоленных почв и др. (ежегодно в определенных объемах).

Оценка необходимости и выбор очередности водохозяйственных мероприятий должны повторяться каждые несколько лет, что гарантирует хорошее отслеживание региональных природных и хозяйственно-экономических изменений. Список предлагаемых к реализации конкретных мероприятий выявляется в результате анализа местных условий.

Литература

1. *Левит-Гуревич Л.К.* Формализация стратегии развития водного хозяйства и водоемких отраслей на основе принципов гло-

бального моделирования // Моделирование устойчивого регионального развития. Материалы третьей международной конференции. Часть II, Нальчик, 2009. С.140-148.

2. Хамби Э. Программирование таблиц решений. М: Мир, 1976. – 86 с.

3. Болгов М.В., Левит-Гуревич Л.К. Задачи и функции системы поддержки водохозяйственных решений по управлению водными ресурсами Нижней Волги // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. №5. - С. 507-518.

4. Левит-Гуревич Л.К. Метод динамического программирования выбора рационального водораспределения в дельте реки// Известия Самарского научного Центра РАН, Том 12, № 1(4), Самара: - изд-во Самарского научного Центра, 2010. - С. 950-957.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОД КАК УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОЙ ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Розенталь О.М.

Институт водных проблем РАН, Москва,
orosental@rambler.ru

Мониторинг качества вод обеспечивает органы управления и водопользователей информацией о составе и свойствах вод, достоверность которой снижается в условиях пространственно-временной изменчивости контролируемых показателей. Для иллюстрации трудностей интерпретации результатов мониторинга качества вод рассмотрим пример (рис. 1), свидетельствующий о неоднозначности заключений органов водного контроля, получаемых при анализе проб, отобранных с разной периодичностью.

Если учитываются только результаты ежемесячного анализа (здесь – в июне-ноябре), то о промежуточной концентрации можно судить, соединив соответствующие точки №№1, 5, 9, 13, 17, 21 прямыми отрезками (сплошная линия на рис. 1). Если же проводится также анализ через полмесяца (№№ 3, 7, 11, 15, 19), то получим более детальную информацию (штриховая линия), а если раз в неделю – еще более детальную (пунктирная). Поскольку предельно допустимая концентрация меди (ПДК) равна 1 мкг/дм^3 , то видно, что результаты ежемесячных наблюдений свидетельствуют о соответ-

вии воды установленному требованию, а результаты еженедельных измерений – о преимущественном несоответствии (в 12 случаях из 21). При этом данные промежуточных измерений указывают на эпизодические несоответствия (в 3 случаях из 11).

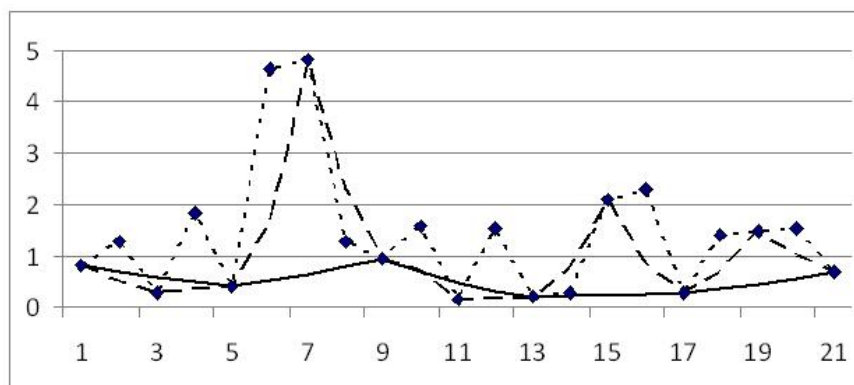


Рис.1 – Концентрация меди, мг/дм³ в р. Тагил (Иртышский бассейновый округ) на створе ниже г. Н.Тагил в летне-осенний период 2007 г.

Неоднозначность заключений связана с опорой органов водного контроля на концепцию «абсолютной точности», в рамках которой выясняется выполнение неравенства $C \leq \text{ПДК}$ (C и ПДК – фактическая и предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде). Необходим отказ от такого подхода и принятие концепции приемлемого риска, ограничивающего следующую вероятность P :

$$P\{C \leq \text{ПДК}\} \geq R_3, \quad (1)$$

где, R_3 – заданное значение вероятности, $1 - R_3$ – приемлемый риск.

Вероятность может быть «измерена» только косвенными методами (выборочного контроля), что ограничивает набор методов оценки соответствия воды установленным требованиям. Общее правило такой оценки основано на выполнении условия, определяющего так называемый толерантный интервал

$$P\left\{\int_A^B f(x)dx \geq R_3\right\} = \gamma, \quad (2)$$

где $f(x)$ – плотность распределения вероятности измеряемого показателя x , γ – доверительная вероятность.

В современной практике водного контроля оценивается не уровень удаленности исследуемой концентрации от ее нормативного значения, а лишь констатируется факт нормативной/сверхнормативной концентрации загрязняющего воду вещества. В рамках концепции приемлемого риска это соответствует случаю использования непараметрического толерантного интервала, не зависящего от вида плотности вероятности контролируемого показателя. Количественно разность $|C - ПДК|$ не оценивается, а лишь учитывается число d неудовлетворительных результатов измерений и $n-d$ удовлетворительных из их общего числа n , а также соответствующие оценки вероятности $\hat{R} = 1 - \frac{\hat{d}}{n}$ и $1 - \hat{R} = \frac{\hat{d}}{n}$.

Здесь вместо истинного числа несоответствий d фиксируется выборочное значение $\hat{d}$, представляющее собой случайную величину. Поэтому случайной оказывается точечная оценка вероятности $\hat{R}$, вместо которой может быть построен непараметрический толерантный интервал, ограниченный вероятностями нижней (R_n) и верхней (R_b) доверительными границами. Для этого следует задать доверительную вероятность $\gamma = P\{R_n \leq R \leq R_b\}$ с ограничением отклонения $\hat{d}$ от d сверху и снизу: $P\{d \leq \hat{d}\} = 1 - \gamma_2$, $P\{d \geq \hat{d}\} = 1 - \gamma_1$, $\gamma_1 + \gamma_2 - 1 = \gamma$.

Относительно оцениваемого неизвестного значения R могут быть сформированы гипотезы, представленные в табл. 1. Для односторонних решающих правил принимается либо $\gamma_1 = 1$ (для R_n), либо $\gamma_2 = 1$ (для R_b). Выбор нулевой гипотезы имеет важное значение. Так, при выборе нулевой гипотезы в ситуации №1 (гипотезы «недоверия») и выполнении условия $R_n > R_3$ вероятность ошибки первого рода α (то есть вероятность $R \leq R_3$) мала. Однако из опущенных здесь известных уравнений Клоппера-Пирсона для интервальной оценки R [1] следует, что при $R_n = R_3$ вероятность получить необходимую для выполнения условия $R_n > R_3$ комбинацию $(n, \hat{d})$ также мала, и будет признано несоответствие контролируемого показателя нормативу.

Таблица 1 – Гипотезы, сформированные относительно оцениваемого неизвестного значения R

№	Нулевая гипотеза H_0	Альтернативная гипотеза H_1	Решающие правила		Ошибки	
			Принятие H_0	Принятие H_1	α	β
1	$R \leq R_3$	$R > R_3$	$R_n \leq R_3$	$R_n > R_3$	$1 - \gamma_2$	γ_2
2	$R \geq R_3$	$R < R_3$	$R_b \geq R_3$	$R_b < R_3$	$1 - \gamma_1$	γ_1

Обозначения в табл. 1: $\alpha = \text{Вер}\{\text{пр}H_1 / H_0\}$ и $\beta = \text{Вер}\{\text{пр}H_0 / H_1\}$.

Для получения высокой вероятности требуемой комбинации $(n, \hat{d})$ нужно при фиксированном n либо иметь «запас» типа $R_1 > R_3$, либо допускать большее число нарушений требований к контролируемому показателю (концентрации загрязняющего воду вещества).

Аналогичные рассуждения могут быть проведены в случае проверки нулевой гипотезы о «соответствии». При выполнении условия $R_e < R_3$ вероятность неравенства $R \geq R_3$ мала, однако из уравнений Клоппера-Пирсона следует, что при $R_e = R_3$ вероятность получить комбинацию $(n, \hat{d} - 1)$ велика. Поэтому в том случае, когда $\hat{d} > d - 1$ (повышенное число несоответствий), скорее всего, принимается нулевая гипотеза, так что вода не будет признана несоответствующей. Для признания несоответствия необходим «недобор» по вероятности ($R_2 \ll R_3$), либо большее число наблюдаемых несоответствий.

Как следует из изложенного, ошибки первого и второго рода α и β для двух рассмотренных нулевых гипотез имеют различное содержание. При проверке гипотезы о несоответствии α — это вероятность реализации неравенства $R \leq R_3$ при принятии решения о соответствии ($R > R_3$), а β — вероятность $R > R_3$ при принятии решения $R \leq R_3$. При проверке гипотезы о соответствии α — вероятность реализации неравенства $R \geq R_3$ при принятии решения $R < R_3$, а β — вероятность $R < R_3$ при решении $R \geq R_3$.

На основании проведенного выше исследования можно сделать выводы о качестве воды путем оценки числа проб с нормативной и сверхнормативной концентрацией загрязняющих веществ без численного учета значения величиной и нормативом $|C - ПДК|$. Однако, численный учет этого интервала позволяет сократить необходимое для заключений контролирующих органов количество измерений. В этом случае используется параметрический толерантный интервал, зависящий от вида плотности вероятности контролируемого показателя.

Прежде чем показать это, отметим, что если бы закон распределения исследуемой концентрации C был известен, то вопрос о соответствии воды установленным требованиям проводился бы расчетным методом. Так, в случае нормального закона распределения $C \sim N(m, \sigma^2)$ и условия $P\{C \leq ПДК\} > R_z$ имеем следующее решающее правило для признания соответствия воды установленным требованиям: $m + U_{R_z} \sigma < ПДК$, где m – математическое ожидание, σ – стандартное отклонение, U_{R_z} – квантиль стандартного нормального распределения с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией.

Однако, на практике параметры m, σ^2 неизвестны, и их оценивают путем обработки данных измерений: $\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$;

$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2$, где C_i – концентрация исследуемого вещества в воде при i -ом измерении ($i=1, \dots, n$). Для получения решающих правил в этом случае необходимо знать распределение случайной величины $\bar{C} + kS$, где $k \neq U_{R_z}$ учитывает отличие статистических оценок от истинных значений оцениваемых параметров.

В соответствии с [2] случайная величина $k = \frac{ПДК - \bar{C}}{S}$, начиная уже с $n \geq 5$ близка к нормальной с математическим ожиданием $M[k] = U_R$ и дисперсией $D[k] = \frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}$, благодаря чему могут быть построены двусторонние доверительные границы:

$$k_H = U_R - U_{\frac{1+\gamma}{2}} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}}; \quad k_B = U_R + U_{\frac{1+\gamma}{2}} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}} \quad \text{или од-}$$

$$\text{носторонние доверительные границы: } k_H = U_R + U_{1-\gamma} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}};$$

$$k_B = U_R + U_{\gamma} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{k^2}{2(n-1)}}. \quad \text{При подстановке } U_R = U_{R_3} \text{ получим}$$

значения коэффициента, определяющего параметрический доверительный интервал при признании соответствия или несоответствия воды установленным требованиям: $\bar{C} + k_B S \leq \text{ПДК}$; $\bar{C} + k_H S \geq \text{ПДК}$.

Так, например, для $R_3 = 0.99$, $\gamma = 0.9$, $U_{R_3} = 2,327$ коэффициент k_B меняется от 4,6 до 2,4, а k_H – от 1,25 до 2,26 при увеличении n от 5 до 1000. В общем случае необходимый объем измерений может быть рассчитан, исходя из допустимого отклонения коэффициента k от своего предельного значения U_{R_3} .

Сравним теперь возможности методов непараметрического и параметрического интервалов для обработки результатов измерений состава вод. Воспользуемся типичными значениями следующих величин: $R_3 = 0,99$, $\gamma = 0,9$. Тогда для одностороннего решающего правила получим из уравнений Клоппера-Пирсона при $\hat{d} = 0$ условие: $R_3^n = 1 - \gamma$. Подставляя в него заданное $\gamma = 0,9$, находим, что при непараметрическом методе необходимо провести $n=230$ проверок для установления справедливости гипотезы «недоверия». Используя же приведенные выше выражения для односторонних доверительных границ в методе параметрического интервала, получим существенно более низкий результат: $n = 35$.

Заметим в заключение, что защита гидробиоты в промышленных зонах с повышенным уровнем водопользования и связанной с этим значительной нестабильностью состава вод часто требует ограничения предельно допустимой дисперсии $\sigma = \sigma_3$. Например, Директива 91/271/ЕЭС Совета Европейских сообществ "Об очистке городских сточных вод" от 21 мая 1991 года ограничивает эту величину уровнем 2ПДК. Одновременно следует ограничивать также

требования к математическому ожиданию и дисперсии: $m = m_3$, $\sigma^2 = \sigma_3^2$, скорее всего, предприятием-водопользователем. Тогда задача проверки статистических гипотез будет уже не одномерной, а двумерной, что означает применение доверительной вероятности в соответствии с правилом $\gamma_{\text{общ}} = \gamma_1 \cdot \gamma_2$, так что $\gamma_{\text{общ}} = 0,9$ можно получить при $\gamma_1 = \gamma_2 = 0,95$.

Выводы. 1. Наиболее доступным для решения задач водного контроля и мониторинга качества вод является метод непараметрического толерантного интервала, не требующий информации о законе распределения вероятностей исследуемого показателя качества вод. Недостаток этого метода связан с необходимостью повышенного объема измерений.

2. С точки зрения получения достоверной информации о контролируемых показателях при минимальном количестве измерений более эффективен метод параметрического интервала.

Литература

1. Судаков Р.С. Теория испытаний. – М.: Изд-во военной академии ПВО. – 1985. – 228 с.
2. Джонсон Н. Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. – Москва: Мир, 1980, 610 с.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В СТРАНАХ ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА

Сивохип Ж.Т.
Институт степи УО РАН, г. Оренбург
sivohip@mail.ru

Одной из ключевых проблем в современном мире является неравномерное распределение водных ресурсов и недостаточная обеспеченность населения и экономики многих стран пресными водами. Особая напряженность водно-экологических ситуаций наблюдается в границах международных трансграничных речных бассейнов, которые занимают около 45% территории суши. В пределах данных территорий проживает около 40% населения мира и сосредоточено более 60%

мирового речного стока [1]. Результатом проявления данной заинтересованности стало принятие многочисленных международных документов (Хельсинские правила использования вод международных рек (1966); Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 1992)). В целом, за последние 50 лет зафиксировано 1228 совместных инициатив по использованию трансграничных водотоков и международных озер, в том числе подписано 150 соглашений об использовании вод, которые делают международные отношения в области управления водными ресурсами более устойчивыми [2]. Кроме того, в связи с обострением водных проблем в мире, вопросы устойчивого обеспечения водными ресурсами государств рассматриваются в контексте проблем национальной безопасности.

Острота ситуации с водообеспечением отраслей экономики и населения государств постсоветского пространства связана с относительной ограниченностью водных ресурсов в ряде регионов, неравномерностью их распределения по территории, значительной изменчивостью гидрологического режима и высокой степенью антропогенного загрязнения. В связи с этим, в трансграничных речных бассейнах бывших союзных республик уже достаточно длительное время обсуждаются вопросы интегрированного управления водными ресурсами. Интегрированный подход к управлению водными ресурсами речных бассейнов позволяет устойчиво и сбалансировано управлять водными ресурсами, учитывая социальные, экономические и природоохранные интересы. В случае трансграничного положения речного бассейна проблема интегрированного управления водными ресурсами выходит на межгосударственный уровень, и ее решение будет определяться эффективной координацией национальных стратегий использования и охраны вод.

В отличие от многих государств мира, где проблема вододеления в пределах трансграничных бассейнов обозначена уже многие десятилетия, постсоветские государства находятся на начальном этапе идентификации данных проблем. История развития институциональных основ трансграничного сотрудничества в речных бассейнах на постсоветском пространстве начинается в 1991 г. Первое международное многостороннее Соглашение по трансграничным водам было подписано в г. Алма-Ата 18 февраля 1992 г. – соглашение между республиками Центральной Азии (Кыргызстан, Казахстан, Узбекистан, Туркменистан, Таджикистан). В соответствии с этим Согла-

шением была учреждена Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия (МКВК) Центральной Азии, с основной сферой интересов в бассейнах Амударьи и Сырдарьи и входит в состав Международного Фонда Спасения Арала, созданного в 2003 году.

1 января 2015 г. вступил в силу Договор о Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС) (Россия, Белоруссия, Казахстан, Армения и Киргизия (подпишет договор в мае 2015 г.)), утверждающий создание экономического союза, в рамках которого обеспечивается свобода движения товаров, услуг, капитала и рабочей силы, проведение скоординированной, согласованной или единой политики в отдельных отраслях экономики (табл. 1). Создание новых интеграционных форм экономического сотрудничества открывает перспективы для реализации уже достигнутых соглашений и разработки межгосударственных стратегий, направленных на реализацию интегрированного управления водными ресурсами в трансграничных речных бассейнах.

Таблица 1 – Страны-участницы Евразийского экономического союза

Страны-участники	Численность населения, млн.	Темпы роста ВВП, %	Речной сток, км ³ /год	Подземный сток, км ³ /год	Удельная водобеспеченность, м ³ /чел
Российская Федерация	146,2	1,3	4258,6	787	29944
Республика Беларусь	9,5	2,1	57,9	15,8	5800
Республика Казахстан	17,4	5,0	26,05	16,4	5041
Кыргызстан	5,6	7,4	44,1	13,0	8480
Армения	3,2	4,6	7,7	4,0	2945

Для речных бассейнов стран ЕАЭС актуальными являются проблемы совместного использования вод рр. Иртыш и Урал в пределах Российской Федерации и Республики Казахстан, рр. Чу и Талас – Республика Кыргызстан и Республика Казахстан; в европейской части актуальны проблемы трансграничного водопользования для России и Белоруссии - реки Западная Двина и Днепр.

Следует отметить, что в рамках ЕАЭС предлагается создание целого ряда наднациональных структур, в т.ч. актуальных и перспективных для решения проблем трансграничного водопользова-

ния. К таким форматам межгосударственного взаимодействия можно отнести создание Комиссии по сырьевым ресурсам (устанавливает цены и квоты на сырьевые товары и энергоносители), Комиссии по экологии, Фонда по делам экономического и научно-технического сотрудничества, формирующегося за счет вкладов стран ЕАЭС, Международный арбитраж ЕАЭС и др.

Из всех перечисленных трансграничных бассейнов максимальная напряженность в водохозяйственной обстановке наблюдалась в азиатских странах-партнерах ЕАЭС – Республиках Казахстан и Кыргызстан. Развитие дефицита водных ресурсов обусловлено физико-географическими особенностями трансграничных бассейнов рек Чу и Талас, значительная часть водосборной площади, которых, расположена в предгорных и аридных ландшафтах Кыргызстана (рис. 1), характеризующихся крайне неравномерным распределением влаги. Кроме природных факторов, рост напряженности в водохозяйственной сфере в пределах данных бассейнов обуславливается растущими объемами водопотребления в связи с положительной динамикой социально-экономических процессов.



Рис. 1 – Трансграничные бассейны рр. Чу и Талас с водохозяйственными объектами (БЧК – Большой Чуйский Канал) [3]

В современных условиях межгосударственное взаимодействие в трансграничных бассейнах рек Чу и Талас является примером успешного сотрудничества при решении водохозяйственных вопросов в странах ЕАЭС. Переломным моментом в вопросах трансграничного водodelения стало подписание в 2000 г. межправительственного Соглашения по использованию водохозяйственных сооружений межгосударственного пользования на реках Чу и Талас, на основе которого в 2006 г. была создана межгосударственная водохозяйственная Комиссия по данным рекам. Успешное функционирование единого координационного органа позволяет обеспечивать максимальную прозрачность в сфере трансграничного водопользования, способствует комплексному мониторингу гидрологического режима рек и создает условия для эффективной эксплуатации гидротехнических сооружений.

В итоге, в новых условиях экономической и политической интеграции в ЕАЭС, положительный опыт трансграничного сотрудничества в трансграничных бассейнах Чу и Талас может стать одной из стартовых площадок для разработки межгосударственных стратегий решения проблем трансграничного водodelения в других регионах.

Серьезные межгосударственные противоречия, обусловленные трансграничными аспектами водodelения, наблюдаются в бассейнах рек Иртыш и Урал, которые располагаются в сфере национальных интересов Российской Федерации и Республики Казахстан. Очевидно, что геополитическое, экономическое и социально-культурное значение трансграничных российско-казахстанских взаимодействий огромно. Территории двух стран имеют самую протяженную в мире общую границу – свыше 7500 км (рис. 2), население их приграничных районов составляет около 30 млн. человек. Исключительная важность водных ресурсов для промышленного, сельскохозяйственного, питьевого и пр. водоснабжения приграничных регионов обеих стран, предотвращение загрязнения, сохранение экосистем Урала и Иртыша вызывают необходимость урегулирования трансграничных проблем в области водопользования на межгосударственном и межрегиональном уровне.

Несмотря на накопленный российско-казахстанский опыт международного сотрудничества по общим водотокам, механизм управления ими далек от совершенства, о чем свидетельствует неудовлетворительное состояние трансграничных рек, протекающих

по территории двух государств [5]. Можно отметить, что большая часть законодательных и нормативно-правовых документов России и Казахстана ориентирована на решение проблем развития приграничных территорий и обеспечение их межгосударственного взаимодействия. Вместе с тем, для решения проблем интегрированного управления водными ресурсами в трансграничных речных бассейнах таких межрегиональных соглашений недостаточно.

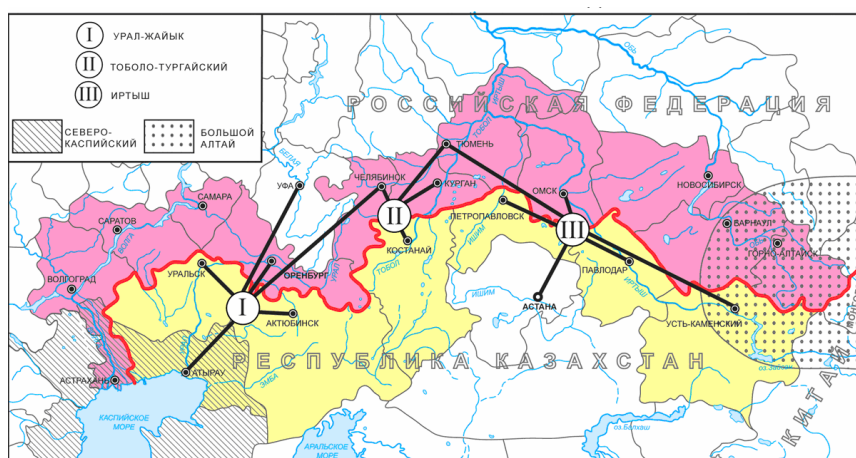


Рис. 2 – Перспективные еврорегионы приграничного Российско-Казахстанского сотрудничества [4]

Следует отметить, что еще в советский период большое внимание общественности и хозяйствующих субъектов уделялось охране и рациональному использованию водных ресурсов бассейна р. Урал. Результатом такой заинтересованности стало создание в 1977 г. общественного Межреспубликанского комитета по р. Урал (1977-1994 гг.), основной целью которого было привлечение общественности для координации научной и практической деятельности и усиление их внимания к проблемам оптимизации природопользования [6]. В настоящее время в соответствии с межправительственным Соглашением о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов на территории РФ и РК от 7.09.2010 г. функционирует Российско-Казахстанская комиссия по бассейну р. Урал, но деятельность ее в отличие от Межреспубликанского комитета не столь продуктивна.

В последние десятилетия вопрос управления трансграничным бассейном р. Урал поднимался неоднократно в рамках целого ряда

межгосударственных совещаний. Из межгосударственных совещаний, отметим заседание Межправительственной российско-казахстанской комиссии 5 мая 2009 г. в г. Астана (Республика Казахстан), в рамках которого обсуждались вопросы о создании Межгосударственного Комитета по проблемам трансграничной р. Урал и принятии Межгосударственного Соглашения между РК и РФ по совместной охране и рациональному использованию трансграничных вод р. Урал. В 2013 г. в Астане состоялся круглый стол «Актуальные проблемы трансграничного бассейна р. Урал и возможные пути их решения», организованный министерством охраны окружающей среды РК совместно с Мажилисом Парламента Казахстан.

По инициативе правительства Оренбургской области РФ и Мажилиса РК проводится работа по созданию Фонда по сохранению экосистемы трансграничной реки Урал. Основной задачей Межгосударственного Фонда будет являться финансирование и кредитование совместных практических действий и перспективных программ и проектов по сохранению экосистемы реки Урал. Направления деятельности фонда – реализация совместных межгосударственных экологических и научно-практических программ и проектов, организация совместных фундаментальных и прикладных исследований, научно-технических разработок по восстановлению экологического равновесия, рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды и т.д.

Анализ трансграничного сотрудничества в области водопользования, изучение международного опыта в данной области свидетельствует о необходимости системного подхода в организации управления водными ресурсами в бассейнах трансграничных рек [7]. Несмотря на значительные успехи в решении ряда проблем трансграничного водопользования в странах ЕАЭС, создание нового экономического формата межгосударственного взаимодействия должно активизировать разработку интегрированных стратегий для достижения устойчивого водопользования в трансграничных речных бассейнах.

Литература

1. *Wolf A.T., Stahl K, Macomber M.F.* Conflict and cooperation within international river basins: the importance of institutional capacity / *Water Resources Update*, 125, 2003. P.31-40.
2. *Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л.* Управление водными

ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – М.: Научный мир, 2010. – 232с.

3. <http://www.chutalas-commission.org/> (Комиссия Республики Казахстан и Кыргызской Республики по использованию водохозяйственных сооружений межгосударственного пользования на рр. Чу и Талас), дата обращения – 2.04.2015.

4. Российско-Казахстанский трансграничный регион: история, геоэкология и устойчивое развитие / Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 216 с.

5. Порох А.Н. Россия и Казахстан в решении трансграничных водных проблем // Вестник Волгоградского гос. ун-та. Сер. 4., Ист. 2009. № 2 (16). С. 25-33.

6. Чибилёв А.А. Бассейн Урала: история, география, экология / Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 312 с.

7. Сивохин Ж.Т., Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А. Трансграничные речные бассейны Азиатской России: эколого-географические особенности институционального сотрудничества // Известия Самарского научного центра. Том 15, № 3 (3), 2013. С. 954-957.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ⁶

Щеголькова Н.М., Веницианов Е.В.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
nshegolkova@mail.ru

Водохозяйственные мероприятия, связанные с отбором воды для водоподготовки и водоотведением в водные объекты, всегда сочетаются с оценкой воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду и проблемой использования и утилизации сточных вод. В этой связи эти мероприятия, как правило, содержат:

- перечень технологий и рекомендаций, направленных на улучшение качества воды сточных вод от сосредоточенных источников (предприятий, поселений),
- рекомендации по снижению нагрузки от рассредоточенных (диффузных) источников загрязнения.

⁶Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00672).

Однако «маршрут» перемещения загрязняющих веществ от источников к водному объекту нельзя сводить к триаде: источник загрязнения – очистное сооружение – водный объект. Необходимо, во-первых, учесть вариативность технологий очистки, которые нельзя оценивать только по качеству отводимого в водный объект стока, во-вторых, учитывать, биогеохимические потоки веществ, возникающих при очистке загрязненных вод.

Необходим новый подход, который позволяет комплексно управлять потоками веществ, попадающих в сточные воды в пределах регулируемой территории (речной бассейн, часть бассейна, водохозяйственная система). Эти потоки распределяют большую часть органических и минеральных веществ на территории, причем и в естественных условиях и в условиях антропогенной нагрузки. Источник загрязнения, как сосредоточенный, так и диффузный, является только частью транспорта и трансформации вещества в целостной водохозяйственной системе. Это грунтовые и подземные воды, водотоки, поверхностный сток, потоки сточных и очищенных вод в трубопроводах и коллекторах. Это минеральные и органические осадки и суспензии, образующиеся при обработке сточных и природных вод, потоки смешения загрязненных и чистых вод в водных объектах при водоотведении.

Следовательно, одна лишь оценка поступления загрязняющих веществ в поверхностные водоемы при водоотведении является недостаточной для эффективного снижения экологических рисков. Необходимо проследить динамику перемещения веществ в регулируемой водной системе в целом.

Новый подход основан на оценке воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду в целом и водные объекты, в частности, с учетом их «жизненного цикла» на примере одной важной группы загрязняющих веществ – биогенных, а именно, соединений азота и фосфора. Следует рассматривать совокупность технологий и процессов, в которых участвуют эти вещества:

- очистка воды на сооружениях,
- обработка осадка,
- ландшафтная очистка воды в процессах, происходящих на водосборе,
- процессы самоочищения в водных объектах,

а также структуру, технологии и сооружения подачи воды потребителям и ее водоотведения после использования.

Авторами выделены количественные и качественные критерии для оценки экологической и экономической эффективности водохозяйственных мероприятий, связанных с очисткой и использованием биогенных веществ, т.е. оценкой их антропогенных и природных потоков. Рассмотрены некоторые важнейшие элементы этих потоков, критерии оценки эффективности их функционирования и методы управления ими, основанные на исследовании потоков веществ в московской водохозяйственной системе [1-7].

1. Очистка воды. Для комплексного управления потоками веществ в пределах регулируемой территории необходимо учитывать следующие параметры.

– *Доля удаленного азота из воды и осадка, поступающего в атмосферу безвозвратно* (в виде N_2 и оксидов азота).

Существующие сегодня технологии очистки воды позволяют перераспределить потоки азота, поступающего со сточными водами в разных пропорциях между твердой (осадок), жидкой (очищенная вода) фазами и газообразным потоком, которые образуются в результате очистки. Доля удаленного в атмосферу азота меняется от 0 до 60-70%. Остальной азот перераспределяется между очищенной водой и образующимся осадком. Именно этот азот может быть повторно использован для производства продуктивной биомассы, как-то: сельскохозяйственной продукции, биотоплива, лесопосадок и пр. Если на регулируемой территории очищенная вода сразу поступает в водоприемник (река, водохранилище), то единственным критерием эффективности очистки является качество сточной воды, которое должно соответствовать существующим нормативам, которые и диктуют выбор технологии очистки. Однако если на данной территории ощущается дефицит азота в почвах, то азот, содержащийся в сточной воде, может быть направлен на получение биомассы. Тогда следует выбрать технологию очистки сообразно этим нуждам. В этом случае доля азота, безвозвратно удаленного в атмосферу, становится критерием для выбора технологии водоочистки.

– *Доля биогенных элементов в очищенной воде и осадке, предназначенных для производства биомассы.*

Если на данной территории существует необходимость использования азота (фосфора) для производства биомассы, то техническое решение будет диктовать выбор водоочистной технологии, которая обеспечит возможность использования сточной воды и осадка сточных вод для эффективного производства биомассы.

– *Удаленность транспортировки биогенных элементов от очистного сооружения к месту производства биомассы.*

Критерий необходим при планировании и постройке новых очистных сооружений. Рентабельность производства биомассы зависит от близости источника ее производства к очистному сооружению.

– *Использование биоценоза очистного сооружения для повышения эффективности процессов самоочищения в водном объекте, в который производится водоотведение.*

Биологическая очистка сточных вод приводит к образованию в очищенных стоках микробиоценоза, повышающего скорость самоочищения природных вод. При строительстве очистного сооружения и выборе технологии очистки следует учитывать влияние гидрологических и биологических факторов на самоочищение с максимальной эффективностью.

– *Площадь, отводимая для размещения и функционирования очистного сооружения с учетом также площади сооружений по утилизации осадка и санитарно-защитных зон.*

За последние годы разработаны технологии очистки воды, позволяющие размещать сооружения водоочистки вблизи от городской/сельской застройки, так как они не выделяют неприятных запахов. Эти технологии позволяют к тому же утилизировать осадок без вывоза его на специальные полигоны и площадки обезвоживания. Применение технологий, именуемых в российской научной литературе фитоочисткой, требует в 2-5 раз больше площади на очистное сооружение в расчете на единицу стока. Однако если расчет удельной площади сделан с учетом санитарно-защитной зоны и земель, выделяемых на утилизацию осадков, то площадь этих сооружений будет сравнима с площадью классических очистных сооружений. Таким образом, расчет вышеназванного показателя позволяет оценить достоинства и недостатки действующих технологий в комплексе [8].

2. Обработка осадка.

– *Принципиальная возможность использовать осадок для производства промышленной продукции и/или биомассы.*

Следует иметь в виду, что комплекс загрязняющих веществ содержит наряду с утилизируемыми («полезными») компонентами токсичные («вредные») вещества, которые даже при небольших концентрациях могут воспрепятствовать утилизации осадков. Не-

обходимо разрабатывать мероприятия и технологии, которые смогут обезвредить осадок, включая регулирование качества поступающих на очистные сооружения стоков.

– *Дальность транспортировки осадка от очистного сооружения до места переработки.*

– *Доля углерода, выбрасываемая в атмосферу, при утилизации осадка.*

Проблема антропогенного изменения климата, оставаясь до сих пор спорной в частностях, имеет одну бесспорную составляющую: за последнее столетие в десятки раз возросло количество сжигаемого невозобновляемого углеродного топлива. Следовательно, когда речь идет о выборе между «почвенной» утилизацией осадка, который является для коммунальных очистных сооружений уникальным органическим удобрением, и сжиганием осадка, обладающим малой калорийностью, то «биосферные резоны» склоняют в сторону первого пути утилизации.

3. Очистка сточных вод в естественных биоценозах (ландшафтных и водных).

– *Оценка экологической безопасности и эффективности ландшафтной очистки стоков.*

– *Оценка возможности повышения потенциала самоочищения водных объектов в результате изменений технологий очистки сточных вод, в том числе путем дополнительной ландшафтной очистки.*

4. Ремедиация рек и ландшафтов.

– *Возможность использования биогенных элементов очищенных вод в производстве биомассы, в том числе для производства биопродукции и ремедиации ландшафтов.*

5. Организация подачи бытовой воды и сбор водосточков.

– *Оценка ущерба от загрязнения водных объектов биогенными веществами, включая риски повышения заболеваемости населения при растущей антропогенной нагрузке биогенными веществами.*

Избыточная биогенная нагрузка на водные объекты может привести к снижению потребительских свойств водного ресурса вследствие ухудшения качества вод при повышении трофического статуса. Симптомом кризисной ситуации служит повышенная заболеваемость населения вследствие потребления некачественной воды.

– *Принципиальная возможность усовершенствования системы водоснабжения, в том числе за счет организации отдельной пода-*

чи коммунально-бытовой и питьевой воды.

В районах с высокой плотностью населения при безвозвратной потере качества воды в источниках водоснабжения стоимость водоподготовки значительно возрастает. Для снижения рисков заболевания населения необходимо плановое гарантированное разделение питьевой (бутилирование) и бытовой воды. Тогда подготовка питьевой воды станет рентабельной.

– *Оценка энергетических и финансовых затрат на организацию раздельного сбора серой и коричневой сточной воды.*

Очистка воды от душевых и кухонь (серый сток) и очистка воды от туалетов (коричневый сток) существенно различается по стоимости. В европейских странах и в Австралии распространен раздельный сбор сточных вод с разными технологиями очистки. При подобном способе серый сток при незначительных затратах на его очистку направляется на повторное использование (ирригация, промышленное производство). При проектировании водных систем необходимо сразу рассматривать раздельный сбор как альтернативный вариант водопользования.

Перечисленные критерии могут использоваться при разработке водохозяйственных и водооохраных мероприятий, например, в рамках разработки Схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО).

Литература

1. *Shchegolkova N.M., Adgienko V.E., Danilovich D.A., Kozlov M.N.* Role of the Moscow Wastewater Treatment Plant in elements real-locating in Moscow Urboecosystem. / Functions of soils in the geosphere-biosphere systems // Materials of the international symposium. – Moscow, 2001. – P. 307-308.

2. *Щеголькова Н.М., Гусев Д.В., Грачев В.А.* Оценка информативности показателей, характеризующих твердую фазу образцов, в экологическом и технологическом мониторинге // Мат-лы XI научно-практ. семинара «Вопросы аналитического контроля качества вод». – М.: Аналитический центр контроля качества воды ЗАО «Росса», 2006. – С. 97-100.

3. *Щеголькова Н.М.* Оценка экологического состояния реки по многолетней динамике самоочищения // Сб. статей I Межд. интерактивной научн. конференции «Современные аспекты экологии и экологического образования». Назрань: Пилигрим, 2007. С. 117-124.

4. Щеголькова Н.М., Шапкина П.С. Интенсификация восстановления качества речной воды и роль биологически очищенных вод в самоочищении // Водное хозяйство России. №2. 2010. С.88-100.

5. Щеголькова Н.М., Мойжес О.В., Шапкина П.С. Фотобиореактор для очистки сточной воды от биогенных элементов и обеззараживания // Вода: химия и экология. №2, 2010. С. 9-16.

6. Щеголькова Н.М. Утилизация азот- и фосфор-содержащих отходов в городе и проблемы развития биотопливной энергетики // Вода: химия и экология. №2, 2012 г. С. 38-44.

7. Щеголькова Н.М., Смагин А.В., Рыбка К.Ю. Методологические аспекты конструирования почвогрунтов: агрофизические свойства. Вода: химия и экология. 2013. № 7. С. 9-17.

8. Щеголькова Н.М., Диас В., Криксунов Е.А., Рыбка К.Ю. Фитосистемы для очистки сточных вод: современное решение экологических проблем // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2015. №2. С.50-59.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПРИНЯТИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ⁷

Эльпинер Л.И., Шаповалов А.Е.,
Институт водных проблем РАН, г. Москва
elpiner@rambler.ru

Сложившаяся в России негативная медико-демографическая обстановка подчеркивает необходимость обязательного учета интересов охраны здоровья населения при управлении водными ресурсами. В ряде недавних публикаций эта проблема рассматривается преимущественно применительно к использованию поверхностных водных объектов. Так в [1] было показано, что, в свете современных научных данных, изменение каждой составляющей гидрологической обстановки (режим, качество и количество вод) может оказывать отрицательное влияние на медико-экологическую ситуацию в зависимости от характера и интенсивности изменений влияния вод-

⁷Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований №13-05-00197.

ного фактора на состояние здоровья населения. Именно в этой связи каждое принимаемое управленческое водохозяйственное решение должно учитывать его возможные негативные последствия для здоровья населения. При управлении водными ресурсами решаются задачи распределения и охраны водных ресурсов с учетом приоритетов тех или иных интересов в конкретных территориальных условиях с использованием гидротехнических и/или регламентирующих приемов. Последние предусматривают использование активных приемов изменения гидрологической обстановки (режимов, качества и количества вод) в интересах улучшения экологических и социальных условий жизни населения, полноценного функционирования всех отраслей хозяйства [2].

Эти задачи неизбежно приобретают комплексный характер и требуют системного подхода для решения. В полной мере это относится и к такой общегосударственной проблеме как охрана здоровья населения. Современные официальные и научные данные свидетельствуют о сформировавшейся глобальной проблеме дефицита воды поверхностных водоемов и водотоков и о связи ряда заболеваний с использованием некондиционных питьевых вод [3].

Она может существенно зависеть от гидрологической обстановки в среде обитания человека, что определяет необходимость учета этого обстоятельства при разработке и принятии решений по управлению водными ресурсами. Разработанная система создания безопасных условий питьевого водоснабжения населения при управлении водными ресурсами замыкает в единое целое оценочные и прогностические построения, базирующиеся на медико-экологических интерпретациях прогностических положений смежных дисциплин: гигиены, эпидемиологии, паразитологии, санитарной гидробиологии, экологии суши, гидрологии и гидрохимии, гидрогеологии и некоторых других. Официальные данные и материалы научных исследований свидетельствуют о прямом и косвенном влиянии качества питьевой воды на характер и уровень инфекционной, неинфекционной и паразитарной заболеваемости населения РФ на основе эпидемиологически доказанных ситуаций [4].

Междисциплинарный характер этой системы определяет необходимость дальнейшего развития совместных подходов к созданию безопасных условий питьевого водоснабжения населения. Все большее внимание в этой проблеме привлекают подземные водоисточники, на протяжении ряда лет считавшиеся наиболее защищен-

ными от антропогенных загрязнений и безопасными. В большинстве развитых и развивающихся стран мира подземные воды являются главным, а порой и единственным источником питьевой воды. Например, 100% – в Австрии и Дании, более 90% – в Италии, 88% – в Венгрии. Европейское общество в целом использует для этих целей почти 79% подземных вод. В Европе это и основной источник городского хозяйственно-питьевого водоснабжения крупных городов с населением свыше одного млн. человек. В России их доля в коммунальном водоснабжении составляет 41%. Наибольшее использование подземных вод отмечено, в основном, в европейской части страны. Однако, практически единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Екатеринбурга, Омска, Волгограда, Челябинска, Ростова в значительной степени являются не защищенные от загрязнения поверхностные воды. В то же время, использование подземных вод создает возможности создания резервных водоисточников, особенно в ситуациях резкого ухудшения качества поверхностных вод, используемых для водоснабжения (их опасного загрязнения или заражения). Здесь нельзя не высказать сожаление по поводу замораживания хорошо разработанного проекта использования подземных вод для водоснабжения Москвы.

Однако интенсивно накапливающаяся информация, свидетельствует о существенных изменениях представлений о повсеместно высоком качестве подземных вод. Особенно это касается территорий, где в силу различных обстоятельств (административно-правовых, технико-технологических, геологических) нарушаются природные условия формирования и сохранения их состава [5].

На территории России, по данным Государственного мониторинга состояния недр, выявлено 6456 участков загрязнения подземных вод, в том числе 3386 участков связаны с загрязнением подземных вод на водозаборах хозяйственно-питьевого назначения. Во многих регионах страны водоносные горизонты характеризуются повышенным (по отношению к нормативам) содержанием железа, фтора, брома, бора, марганца, стронция, нефтепродуктов и других нормируемых микро- и макроэлементов. Для степных зон европейской территории страны дополнительные проблемы создает необходимость использования для питьевых целей подземных вод повышенной минерализации. Особое внимание привлекают сведения Геоцентра «Москва» о случаях загрязнения подземных вод высоко-

токсичными хлорированными полиароматическими соединениями – диоксинами [6].

Развернутый анализ зарубежных источников свидетельствует о глобальных масштабах проблемы деградации качества подземных вод, как в развитых, так и в развивающихся странах. Перечень обнаруживаемых неорганических и органических веществ антропогенного происхождения весьма велик – это сотни соединений: тяжелые металлы, токсичные микроэлементы, хлорированные алканы, этилены, бензолы, ароматические углеводороды, пестициды, побочные продукты обеззараживания воды, а также целый ряд других органических компонентов – продуктов производств органического синтеза, нефтехимической промышленности, а также растворителей, моющих, красящих средств и др.

Обращает внимание всё более нарастающая информация об обнаружении в подземных водоисточниках загрязнений лекарственными веществами [7]. Вообще это отдельная тема, заслуживающая весьма пристального изучения.

Загрязнение подземных вод особо опасными веществами — новый раздел экологической гидрогеологии. В совокупности с другими данными о влиянии антропогенного пресса на качество подземных вод и о патогенетическом значении возможных особенностей их природных включений он существенно изменяет ранние представления об экологической безопасности подземных водоисточников. Как отечественные, так и зарубежные исследования свидетельствуют о причинно-следственных связях выявленной неинфекционной и инфекционной патологии с низким качеством подземных вод. Особое внимание привлекают сведения о связях наиболее распространенных и опасных раковых заболеваний с использованием подземных вод, загрязненных химическими веществами [8].

Эти связи обнаруживают американские, японские, аргентинские, пакистанские, китайские, индонезийские, хорватские исследователи. Речь идет об увеличении риска развития раковой патологии при использовании подземных вод, содержащих повышенные концентрации нитратов, асбестопродуктов, радионуклидов, неорганического мышьяка, вторичных продуктов хлорирования воды, пестицидов, фтора. Анализ публикаций позволяет отметить географическую распространенность процессов загрязнения подземных вод и связанную с ними заболеваемость населения, особенно в промышленно развитых странах. Масштабы и интенсивность загрязнения и

заболеваемости различны на отдельных территориях, но наиболее выражены при использовании подземных вод первого от поверхности земли водного горизонта.

Анализ характера и причин изменений качества подземных вод в сочетании с патогенетической направленностью действия гидрохимических составляющих состава вод положен в основу предложенной систематизации характеристик подземных водных объектов с медико-экологических позиций. Она предусматривает оценку состояния подземных водных объектов на основе совместного рассмотрения гидрогеологических и гидрохимических данных, условий водопользования населения и медико-экологической обстановки (по медико-статистическим и исследовательским данным о инфекционной, неинфекционной и паразитарной заболеваемости, связанной с влиянием водного фактора). По качеству вод выделены 4 основные группы подземных питьевых водоисточников: 1 – абсолютно пригодных для питьевого водоснабжения, 2 – требующих коррекции природного химического состава, 3 – требующих применения очистных сооружений для устранения антропогенных биологических и химических загрязнений, 4 – требующих комплексной очистной и корректирующей минеральный состав обработки воды. Для 2–4 групп определены подгруппы, сформированные по характеру необходимых приемов водообработки в зависимости от исходного состава воды водоисточника и медико-экологической ситуации на территории его использования.

Наращивание всей этой информации связано с интенсификацией антропогенного пресса и с совершенствованием методов гидрохимических исследований. Кроме того, сформировались и новые представления о патогенетическом значении повышенных или пониженных концентраций ряда природных химических компонентов подземных вод. Ряд обстоятельных эколого-эпидемиологических исследований по изучению причинно-следственных связей соматической (неинфекционной) заболеваемости населения с природным составом и антропогенным загрязнением питьевой воды в последние 10-15 лет проведен в России. Спектр неинфекционных заболеваний включает заболевания сердечно-сосудистой, выделительной, пищеварительной, нервной, иммунной систем; опорно-двигательного аппарата, аллергии, страдания наследственности, дефекты развития и др. Связи раковых заболеваний в России с химическими загрязнениями воды также отмечены для ряда территорий. Внима-

ние привлекают эколого-токсикологические доказательства таких связей сердечно-сосудистой и раковой патологии, доминирующей в причинах высокой смертности населения России [9]. Следует особо отметить всё более интенсивно используемую отечественными и зарубежными исследователями методологию оценки риска для здоровья, придающую этим работам высокую достоверность [10].

Новая экологическая ситуация требует и новых подходов к оценке качества подземных вод и к формированию более интенсивной деятельности по их охране, обеспечению безопасного водопользования. Возникает очевидная необходимость учета современных медико-экологических интерпретаций гидрогеохимической информации при оценке условий питьевого водопользования и при выборе новых подземных водоисточников.

Для обеспечения эффективных управленческих водохозяйственных решений, соподчиненных приоритетам охраны здоровья населения, необходимо получение достаточно надежных данных, характеризующих медико-экологическую ситуацию, связанную с гидрогеологическими условиями водопользования. Без прогнозов ее изменения во времени и пространстве правильный выбор таких решений маловероятен. Но, прежде всего, важно базирование исследований медицинского профиля на полноценной гидрогеохимической информации. Такая задача может быть решена только при условии достаточной взаимной осведомленности специалистов об исходных предпосылках работ по обеспечению принятия безопасных для здоровья населения управленческих водохозяйственных решений. Речь идет о серьезной междисциплинарной проблеме.

Таким образом, в учении о подземных водах сформировалось важное медико-экологическое направление.

Новая экологическая ситуация требует и новых подходов к оценке качества подземных вод и к формированию более интенсивной деятельности по их охране, обеспечению безопасного водопользования. Возникает очевидная необходимость учета современных медико-экологических интерпретаций гидрогеохимической информации при оценке условий питьевого водопользования и выборе новых подземных водоисточников.

Предлагаемая система создания безопасных условий питьевого водоснабжения населения при управлении водными ресурсами замыкает в единое целое оценочные и прогностические построения, базирующиеся на медико-экологических интерпретациях прогно-

стических положений смежных дисциплин: гигиены, эпидемиологии, паразитологии, санитарной гидробиологии, экологии суши, гидрологии и гидрохимии, гидрогеологии и некоторых других.

Практическая значимость таких исследований связана с необходимостью формирования научных основ построения региональных программ контроля качества питьевой воды в соответствии с новыми российскими нормативными документами. Развитие названных направлений исследований требует дальнейшего совершенствования методов установления причинно-следственных связей состояния здоровья населения с водным фактором. Возникающие при этом исследовательские задачи связаны с созданием единой методологии и унифицированных методов экологической эпидемиологии и токсикологии. Это ближайшая приоритетная тематика в рамках развития медико-экологических исследований водных проблем, проводимых в ИВП РАН.

Литература

1. Эльпинер Л.И. Влияние гидрологической обстановки и антропогенных загрязнений воды на здоровье населения. // В кн.: Современные глобальные изменения природной среды. М.: Научный мир, 2012. С. 495-515.
2. Обоснование стратегии управления водными ресурсами /Отв. ред. В.И. Данилов-Данильян,.- М: Научный мир, 2006.- 336 с.
3. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Научные основы федерального закона – технического регламента “О безопасности питьевой воды». //Сб. докл. конференции Международной водной ассоциации (IWA), (электронный ресурс). – М.: Сибико-Интернешнл, 2010.
4. Эльпинер Л.И. Прогностические гипотезы возможного влияния изменений гидрологической обстановки на состояние здоровья населения. // В кн.: Современные глобальные изменения природной среды. – М.: Научный мир, 2006, С. 592-597.
5. Онищенко Г.Г., Рахманин Ю.А., Кармазинов Ф.В., Грачев В.А., Нефедова Е.Д. Бенчмаркинг качества питьевой воды.- СПб.: Новый журнал, 2010, 432 с.
6. Вакар Н.Г., Зеегофер Ю.О., Овсянников В.М. Геохимические аспекты диоксиновой проблемы. //Сб. "Диоксины. Супертоксиканты XXI века. Федеральная программа". Инф. выпуск №2, М., ВИНТИ, 1998. С. 113-129.

7. Баренбойм Г.М., Чиганова М.А., Аксенов А.В. Оценка биологической опасности органических ксенобиотиков // Методы оценки соответствия. №7. 2011. с. 28-33.
8. *Gottlieb MS, Carr JK, Morris DT.* Cancer and drinking water in Louisiana: colon and rectum // *Int J Epidemiol* 1981 Jun; 10(2); 117-25.
9. Онищенко Г.Г. Вода и здоровье.// Экология и жизнь. 1999. №4, С.12-13.
10. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.П., Буштуева К.А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002, 408 с.

Сборник научных трудов (в двух томах)

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Научное обеспечение реализации
«Водной стратегии Российской Федерации
на период до 2020 г.»**

г. Петрозаводск, 06–11 июля 2015 г.

(Том 2)

Формат	Объем	п.л
Тираж... 180 экз.	Заказ №	

г. Петрозаводск, ул.
Отпечатано в РИО Кар НЦ РАН по оригинал-макету