

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«РОССИЙСКИЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ И
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ЦЕНТР»**

**ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ:
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ, ОХРАНА**

**Сборник материалов Всероссийской
научно-практической конференции
с международным участием**

20-25 сентября 2021 года, г. Сочи

Ростов-на-Дону

2021

УДК 556.5:342.9(082)

ББК 26.22:67.401я43

Т 654

Редакционная группа:

Беспалова Л.А., д-р геогр. наук;

Болгов М.В., д-р техн. наук;

Косолапов А.Е., д-р техн. наук;

Трофимчук М.М., канд. биол. наук;

Фролова Н.Л., д-р геогр. наук

Т 654 Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Сочи, 20-25 сентября 2021 г. - Новочеркасск: Лик, 2021. - 406 с.

ISBN 978-5-907391-37-6

В настоящем сборнике опубликованы доклады участников Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана» (г. Сочи, 20-25 сентября 2021 г.), посвященные проблемам трансграничного сотрудничества, организации и развития экологического мониторинга, состоянию водных ресурсов и экосистем трансграничных водных объектов.

Доклады опубликованы в авторской редакции с незначительными техническими правками. Сборник не рецензируемый.

In this proceedings, the reports of the participants of the All-Russian theoretical and practical conference with the international participation «Trans-boundary water bodies: use, management, conservation» (Sochi, September 20-25, 2021), devoted to the problems of trans boundary water cooperation, organizing and developing ecological monitoring, the state of water resources and ecosystems of trans boundary water bodies are published.

The reports are published in the author's version with insignificant technical corrections. The proceedings are not licensed.

УДК 556.5:342.9(082)

ББК 26.22:67.401я43

ISBN 978-5-907391-37-6

© Федеральное агентство водных ресурсов, 2021

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр», 2021

Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана» посвящена обсуждению актуальных проблем, решение которых непосредственно связано с обеспечением водной безопасности России и сопредельных государств при использовании и управлении трансграничными водными объектами.

В сборник материалов включены доклады ведущих ученых академических и научно-исследовательских институтов, крупных вузов страны и специалистов территориальных органов, подведомственных организаций Росводресурсов, Росгидромета и других ведомств, проектных и производственных организаций, занимающихся вопросами управления и охраны трансграничных водных объектов.

The All-Russian theoretical and practical conference with international participation «Trans boundary water bodies: use, management, conservation» is devoted to discussing actual problems whose solution is directly connected with securing water safety of Russia and allied states when using and managing trans boundary water objects.

The reports by leading researchers, academic and research institutes, large institutes of higher education of the country and experts of territorial bodies, lower organizations of Rosvodresources, Roshydromet and other agencies, design and productive organizations being engaged in the problems of management and conservation of water bodies are included into the proceedings.

СОДЕРЖАНИЕ

Агафонова С.А., Банщикова Л.С., Магрицкий Д.В. Ледотермический режим рек трансграничного бассейна Урала и последствия его изменения.....	8
Абаев Н.Н., Терехов А.Г., Тілләкәрім Т.А., Елтай А.Ф. Спутниковый мониторинг условий маловодья в китайской части бассейна реки Или в сезоне 2020 года.....	13
Алиева М.Б., Сидорова М.В., Кашутина Е.А. Прогноз стока в бассейне реке Урал в 21 веке.....	18
Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н., Игнатова Н.А., Аль-Гиззи М.А.Б. Методические аспекты оценки экотоксичности вод трансграничных водотоков	22
Безматерных Д.М., Пузанов А.В., Ермолаева Н.И. К вопросу об экологических последствиях строительства Белокатунской ГЭС (Республика Алтай - Казахстан).....	25
Беляев А.И., Истомин А.П., Пугачева А.М., Жихарев А.Г., Сухов А.А., Арьков Д.П. Комплекс мер, направленных на сохранение уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области.....	30
Белякова С.А., Сидорова М.В. Возможные изменения стока Западной Двины в 21 веке под влиянием климатических изменений	35
Беспалова Л.А., Глушко А.Е. Микропластик в Азовском море: уровень накопления в аэрозолях, воде, донных и пляжевых отложениях.....	39
Болгов М.В. Трансграничное озеро Ханка: причины экстремальных уровней и возможные мероприятия по снижению рисков затопления территорий.....	45
Бубер А.А., Талызов А.А. Гидродинамическое моделирование, как перспективный способ регулирования стока при пропуске экстремальных половодий в бассейнах крупных рек в условиях противоречивых требований водопользователей.....	51
Бубер А.Л., Бубер В.Б. Оперативное управление водными ресурсами Ангарского каскада водохранилищ на основе долгосрочного гидрологического прогноза, методов оптимизации и многокритериального анализа в условиях возможного изменения климата	57
Бубер В.Б., Бубер А.Л. Прогнозирование посуточной приточности к водохранилищам Волжско-Камского каскада на основе данных долгосрочных гидрологических прогнозов гидрометцентра России.....	64
Веницианов Е.В., Лепихин А.П. Современные методы расчета необходимых для регулирования качества вод нормативов.....	69
Гаранжа Е.Б. Трансграничное сотрудничество в области охраны и рационального использования трансграничных вод с Эстонской Республикой.....	74
Гармаев Е.Ж. Отклик глобального изменения климата на водный сток трансграничной реки Селенга и общие принципы совместного использования ее водных ресурсов.....	78
Гертман Л.Н., Глинская А.Н., Бладыко В.Д., Буко И.Ю. Развитие системы гидроморфологического мониторинга на трансграничных участках рек.....	83
Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Молчанова Т.Г. Многолетние изменения стока рек бассейна Урала и их причины.....	87
Голубева Е.М., Кондратьева Л.М. Особенности распределения элементов во льдах трансграничной реки Амур.....	92

Горелиц О.В., Ермакова Г.Е., Землянов И.В., Сапожникова А.А. Гидрологический режим восточной части дельты Волги и ее трансграничных водотоков.....	97
Демин А.П., Зайцева А.В. Прогноз водопотребления в российской части бассейна трансграничной реки Дон.....	103
Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С., Никитина О.И. О методических указаниях по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) и их актуализации.....	109
Евстигнеев В.П., Остроумова Л.П., Лемешко Н.А., Вишневская И.А., Милосердов П.Г. Расчет составляющих водного баланса Азовского моря с учетом его трансграничного статуса.....	114
Емельянова В.П., Оленникова Н.Н. Динамика загрязненности, качества воды реки Аргунь и протоки Прорва в районе п. Молоканка (2007-2020 гг.)....	120
Емельянова В.П., Оленникова Н.Н. Тенденции многолетних изменений загрязненности, качества воды реки Аргунь на участке с. Кути – с. Олочи (2007-2020 гг.).....	126
Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Фетгер Г.В., Рыбакова И.В., Безматерных Д.М., Вдовина О.Н., Романов Р.Е. Оценка современного состояния экосистем озер трансграничной территории Большого Алтая (плато Укок).....	132
Жукова С.В., Шишкин В.М., Карманов В.Г., Бурлачко Д.С., Подмарева Т.И., Лутынская Л.А., Тарадина Е.А. Водно-экологические проблемы Азовского моря как трансграничного водного объекта и пути их решения.....	137
Зарубина Е.Ю., Фетгер Г.В. Динамика химического состава озер бассейна реки Мульта (Алтае–Саянский экорегион, ТБР «Большой Алтай») за период 1933-2020 гг.....	143
Ивкина Н.И., Галаева А.В., Долгих С.А., Смирнова Е.Ю. Сток реки Урал на территории Казахстана с учетом изменения климата.....	149
Извекова О.В., Патрушева М.П. Состояние водных ресурсов трансграничных водных объектов бассейна реки Днепр.....	154
Илич В.П., Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Новый метод выявления потенциальных гидрополитических конфликтов в трансграничных речных бассейнах.....	160
Исаева С.Д. Повышение эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве.....	164
Исупова М.В. Влияние зарегулирования стока в верхнем бассейне реки Или (Казахстан, Китай) на водный режим ее дельты в условиях изменяющегося климата.....	169
Казьмина М.В. Россия – Финляндия, пограничные водные системы, взаимодействие и сотрудничество.....	174
Кашницкая М.А., Болгов М.В. Оценка влияния строительства гидротехнического сооружения на гидрологический режим трансграничной реки Ульдза (Российская Федерация и Монгольская Народная Республика)....	179
Кирилюк В.Е., Обязов В.А., Шаликовский А.В., Курганович К.А., Босов М.А., Никитина О.И., Горошко О.А. Предварительная оценка влияния на экосистему Торейских озер плотины, строящейся на трансграничной реки Ульдза в Монголии	185

Клименко О.А., Геков В.Ф., Чмыхов А.А. Усовершенствование наблюдений за выносом химических веществ с речным водным стоком на трансграничных участках рек.....	191
Коваленко А.А., Решетняк О.С. Тенденции изменений химического состава воды трансграничного участка реки Амур.....	197
Козлова М.А. Опыт управления, организации мониторинга и координации деятельности при чрезвычайных ситуациях на реки Огайо (США)	203
Кондратьева Л.М. Организация экологического мониторинга на трансграничном участке реки Амур: проблемы и перспективы.....	208
Корнюхова О.В. Анализ качественного состояния поверхностных вод трансграничных рек Казахстан – Россия.....	214
Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С. Особенности трансграничного водообмена в России.....	221
Косолапов А.Е., Калиманов Т.А., Шефер Е.А., Чмыхов А.А., Косолапова Н.А. Ридель С.А. К вопросу о возможности изменения режимов водохранилищ на реке Урал.....	225
Косьяненко А.А., Ермолина Т.В. Состояние водохранилищ бассейна трансграничной реки Патсо-Йоки.....	234
Кузнецова А.Б., Куличенко А.Ю. Анализ внедрения принципов водной дипломатии в области управления трансграничными водами на примере Российско-Финляндского соглашения по использованию пограничных водных систем.....	238
Лепихин А.П., Возняк А.А., Ляхин Ю.С. Проблемы региональных ПДК для трансграничных рек (на примере реки Урал).....	242
Лобойко В.Ф., Соловьева О.А. Водохозяйственные проблемы на юге России.....	247
Лукьянов К.В., Кашутина Е.А., Коронкевич Н.И. Источники загрязнения рек в российской части бассейнов Западной Двины и Урала.....	251
Лысенко В.С., Усова Е.В., Краснов В.П. Многолетняя динамика концентраций ионов аммония и нитрата в трансграничной реки Северский Донец.....	255
Мажайский Ю.А., Гертман Л.Н. Трансграничные реки Российской Федерации и Республики Беларусь: водосберегающая политика в условиях изменения климата.....	260
Макаров А.В., Бортин Н.Н., Милаев В.М. Бассейн рекит Амур: трансграничные водно-экологические проблемы	265
Махинов А.Н., Ким В.И., Лю Шугуан., Махинова А.Ф., Матвеев Д.В., Дугаева Я.Ю. Трансграничные геоэкологические проблемы бассейна реки Амур.....	270
Махинова А.Ф., Махинов А.Н., Ким В.И., Liu Shuguang. Содержание химических элементов в реке Амур и их миграция в период наводнений.....	275
Митина Н.Н., Дроздова Е.А., Чаоин Чжоу, Се Цэнь. Особенности государственного управления трансграничными реками в Китайской Народной Республике.....	279
Нестеренко Ю.М., Соломатин Н.В., Халин А.В. Хозяйственная деятельность на водосборе и пограничный транзит стока реки Урал.....	284
Падалко Ю.А. Трансграничные водные объекты на государственной границе России и Казахстана.....	288

Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А., Голосов С.Д., Шмакова М.В., Зверев И.С., Коробченкова К.Д. Чудско-Псковское озеро – крупнейший трансграничный водоём Европы: опыт моделирования.....	292
Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Рыбкина И.Д., Зиновьев А.Т., Кошелева Е.Д., Ловцкая О.В. Трансграничные проблемы реки Иртыш: современное состояние и прогноз до 2030 года.....	299
Расулова А.М. Моделирование процессов испарения Сайма-Вуоксинского водосбора.....	304
Расулова А.М., Измайлова А.В. Методы поиска аномальных характеристик озерных экосистем на примере трансграничных водоемов.....	309
Решетняк О.С. Пространственно-временная изменчивость качества воды и состояния фитопланктона реки Северский Донец (в пределах Ростовской области).....	314
Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н. Автоматизированный расчет характеристик качества трансграничного речного стока с целью изучения их изменчивости.....	319
Рыбкина И.Д., Курепина Н.Ю., Орлова Е.С., Губарев М.С. Проблемы водоснабжения бессточных территорий трансграничных речных бассейнов (на примере Оби и Иртыша).....	324
Сазонов А.Д., Даниленко А.О. Динамика переноса химических веществ из Республики Казахстан на территорию Российской Федерации с водами трансграничных рек	330
Санин А.Ю., Кулаковская В.И. К вопросу о загрязнении акватории Балтийского моря и противодействию ему.....	334
Сивохиц Ж.Т. Проблемы комплексного использования водных ресурсов трансграничных рек степной зоны Евразии.....	339
Солодухин А.А., Шаликовский А.В., Шаликовский Д.А. Развитие ситуации вокруг переброски стока в трансграничном бассейн реки Аргунь.....	344
Суходолов А.П., Аношко П.А., Суходолов Я.А., Колесникова А.В. Трансграничная территория водосборного бассейна Байкала: международно-правовые аспекты управления.....	349
Трофимчук М.М. Проблема экологической оценки трансграничных водных объектов и способ ее решения.....	354
Ульзетуева И.Д., Гомбоев Б.О., Жамьянов Д.Ц.-Д. Эколого-гигиеническая оценка канцерогенного риска питьевых поверхностных вод трансграничного бассейна реки Селенга на территории Монголии.....	361
Усова Е.В., Воробьев Е.В. Многолетняя динамика концентрации ионов меди в реке Кундрючья.....	365
Федорова Т.А., Крыленко И.Н., Беликов В.В. Опыт моделирования смещения русла пограничной реки Урал.....	370
Фролова Н.Л. Гидрополитика или тайная власть воды.....	377
Хорошевская В.О., Матвеева Н.П., Голубкина М.А. Изменение содержания загрязняющих веществ в воде реке Амур на трансграничном участке государственной границы РФ с КНР в 2016-2020 гг.....	382
Шаликовский А.В. Трансграничные наводнения в бассейне реки Амур.....	389
Шестеркин В.П. Особенности формирования химического состава воды озера Ханка.....	393
Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Изменение содержания аммонийного азота в воде реки Амур в зимнюю межень после трансграничного загрязнения в 2005 году.....	398
Юмина Н.М., Магрицкий Д.В., Ефимова Л.Е. Проблемы водопользования в низовьях реки Урал (Жайык).....	402

ЛЕДОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК ТРАНСГРАНИЧНОГО БАССЕЙНА УРАЛА И ПОСЛЕДСТВИЯ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

Агафонова С.А.¹, Банщикова Л.С.², Магрицкий Д.В.¹

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

² Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург

E-mail: sv_ice@list.ru

Аннотация. В статье представлен анализ временной изменчивости характеристик термического и ледового режимов р. Урал и его основных притоков. В качестве исходных данных использовались материалы наблюдений на гидрологических постах за период с 1940 по 2018 гг. Показано влияние водохозяйственной деятельности в бассейне и наблюдаемых климатических изменений на величину теплового стока и сроки ледовых явлений. В современных условиях продолжительность периода с положительными температурами воды выросла в низовьях р. Урал на 14 сут., сокращение продолжительности периода ледовых явлений составляет 5–8 сут. для незарегулированных участков рек и до 20 сут. – для зарегулированных.

Ключевые слова: река Урал, ледовый режим рек, изменение климата

ICE AND THERMAL REGIME FOR THE RIVERS OF THE URAL TRANS-BOUNDARY BASIN AND THE CONSEQUENCES OF ITS CHANGE

Agafonova S.A.¹, Bانشchikova L.S.², Magrickij D.V.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow

² State Hydrological Institute, Saint Petersburg

E-mail: sv_ice@list.ru

Abstract: The article presents an analysis for the time variability in the characteristics in the thermal and ice regime of the Ural River and its main tributaries. As the initial data, the materials of observations at hydrological posts for the period from 1940 to 2018 were used. The influence of water management activities in the basin and observed climate change on the amount of heat runoff and the timing of ice events was shown. In modern conditions, the positive water temperature duration has increased in the lower reaches of the Ural River by 14 days; the reduction in the ice condition duration is 5-8 days for unregulated sections of rivers and up to 20 days for the regulated ones.

Key words: the Ural River, river ice regime, climate change.

Бассейн р. Урал занимает площадь 237 тыс. км² (с бессточными территориями Урало-Эмбинского междуречья – 380 – 400 тыс. км²), расположен на территории России и Казахстана [1] (рис. 1). Крупные города и промышленные центры: Верхнеуральск, Магнитогорск, Орск, Медногорск, Оренбург (Россия), а также Уральск, Атырау и Актобе (Казахстан). Площади российской и казахстанской частей бассейна примерно равны, но уровень освоенности территорий различается. Земли «хронического загрязнения» занимают 20,4% российского водосбора и 5,6% – казахстанского [2]. Реки уральского бассейна отличаются высокой внутригодовой и межгодовой изменчивостью стока воды, значительная часть исследуемой территории относится к районам с недостаточным увлажнением. Основные «водные проблемы» региона связаны с острой нехваткой чистой и пресной воды для населения и хозяйства, ограничениями использования водно-транспортных ресурсов и, в то же время, с высокими уровнями воды и затоплением территории стокового и нагонного генезиса [3].

На р. Урал и его притоках в настоящее время эксплуатируются 18 крупных и средних водохранилищ. Самое крупное (Ириклинское) осуществляет сезонное и многолетнее регулирование стока, его наполнение происходило в период с 1958 по 1966 гг. Заметный рост водопотребления в бассейне начался в середине 1950-х гг. и достиг максимума к 1985–1990 гг. Структура водопотребления 2-х стран существенно

различается. В российской части бассейна 85 % забранной воды идет на производственные нужды, в казахстанской – 44% на орошение и 41% на прудовое рыбное хозяйство [4].



Рисунок 1 – Бассейн р. Урал

Наблюдаемые изменения стока воды и водного режима р. Урал обусловлены как хозяйственной деятельностью на территории бассейна, так и наблюдаемыми климатическими изменениями. В многолетних колебаниях годового стока р. Урал выделяют 3 периода: 1. условно-естественный (до 1957 г. включительно), 2. период начала регулирования стока и относительно стационарных климатических условий (1958 – 1977 гг.) и 3. период значимых климатических изменений (с 1978 г.). Современный гидроклиматический период отличается существенное снижение размаха межгодовых колебаний стока воды. С 2006–2008 гг. наблюдается сокращение водности основных рек бассейна, обусловленное, прежде всего, действием климатических факторов. Кроме того, наблюдается перераспределение годового стока между сезонами в пользу межени, снизилась амплитуда колебаний расходов воды в течение года, годовой гидрограф стал более расплывчатым [3, 5].

Сезонные изменения температуры воды и ледовых условий – важная составляющая гидрологического режима рек. Ледотермические характеристики влияют на скорость биологических процессов и химических реакций в водных объектах, условия существования водных организмов, перенос взвешенных наносов потоком.

В работе в качестве исходных данных использовались материалы наблюдений на гидрологических постах р. Урал и основных притоков (Большой Кизил, Суундук, Орь, Сакмара, Илек и других), расположенных в России (29 постов) и в Казахстане (6 постов), за период с 1940 по 2018 гг.

Анализ многолетней изменчивости метеорологических характеристик проводился по данным 6 метеостанций (Верхнеуральск, Зилаир, Оренбург, Актобе, Уральск и Атырау). В качестве показателей, определяющих ледотермический режим рек, выбраны следующие: среднемесячные температуры воздуха, сумма положительных температур, сумма отрицательных температур и число дней с температурой ниже 0°C.

Заметный рост годовых температур воздуха для исследуемой территории отмечается с 1977–1980-х гг., температур воздуха переходных сезонов –несколько раньше: для весны – с 1972 г., для осени – с начала 1960 гг. Для большей части бассейна среднегодовая температура воздуха современного периода на 1,3 – 1,4°C выше значений до 1977 г. (рис. 2).

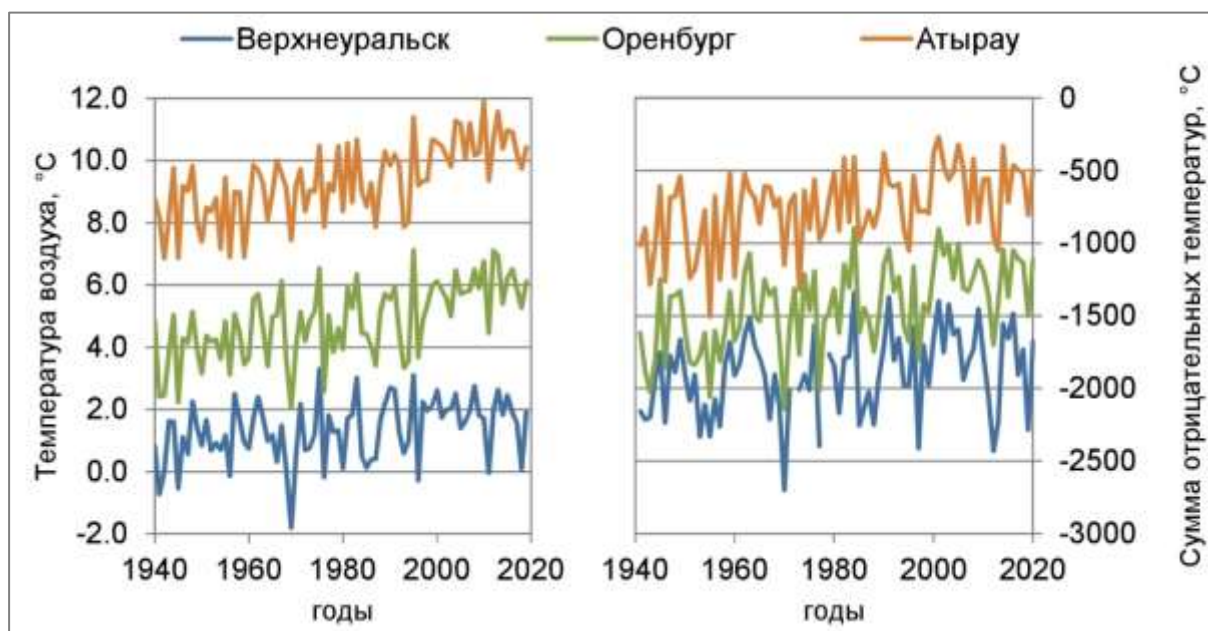


Рисунок 2 – Многолетние изменения среднегодовой температуры воздуха и сумм отрицательных температур воздуха с 1940 по 2020 гг.

При сравнении 2-х периодов (1958–1977 гг. и 1978–2018 гг.) сокращение сумм отрицательных температур воздуха, по данным метеостанции Верхнеуральск, составило 6%, метеостанции Зилаир, Оренбург и Актобе – 14%, метеостанции Атырау – 21% (рис. 2). Число дней со среднесуточной температурой воздуха ниже 0°C снизилось в верховьях бассейна на 6–7 сут., в нижнем течении – на 11 сут. Сумма положительных температур воздуха увеличилась для метеостанции Атырау с 4090 до 4320, для метеостанции Оренбург – с 3180 до 3310, для метеостанции Зилаир – с 2340 до 2510 градусо-дней.

На р. Урал переход температуры воды через 0,2°C весной наблюдается в среднем на устьевом участке в конце марта–начале апреля, в верховьях – в середине апреля. Окончание периода с положительными температурами воды приходится на середину ноября в нижнем течении и на начало ноября – в верхнем. Изменения термического режима, обусловленные современным климатом, отмечаются с начала 1980-х. Для Нижнего Урала продолжительность периода с положительными температурами воды выросла на 2 недели.

Изменение термического режима также связано с эксплуатацией водохранилищ. Влияние Ириклинского водохранилища на значения температур воды распространяется в нижнем бьефе большую часть года на 270–300 км, в апреле – на ~1000 км до с. Кушум. Среднемесячная температура в нижнем бьефе в апреле, октябре и ноябре выше, чем в бытовых условиях, в остальные месяцы – ниже. Разница между бытовыми и современными значениями составляет 5–6 °С (рис. 3).

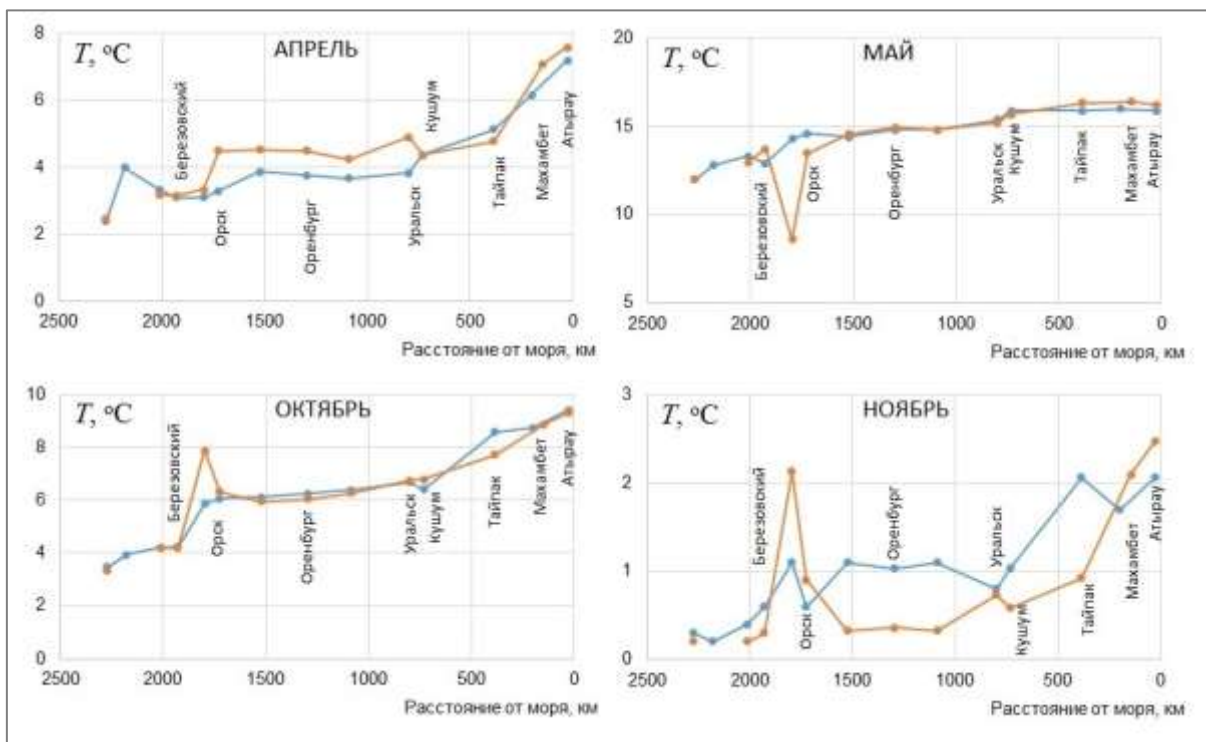


Рисунок 3 – Изменение среднемесячных температур воды по длине р. Урал (синяя линия – бытовые условия, коричневая линия – после начала эксплуатации Ириклинской ГЭС)

За 1978–2018 гг. средняя продолжительность периода с ледовыми явлениями составляет на реках от 3,5 месяцев в низовьях до 5,5 месяцев – в верховьях бассейна. Замерзание рек начинается с появления заберегов и сала, образование донного льда и шуги характерно, прежде всего, для притоков в верховьях бассейна. Средние сроки установления ледостава на северо-востоке территории – начало ноября, на Нижнем Урале – конец ноября – первые числа декабря. В годы с резким переходом температур воздуха через 0° С в сторону отрицательных значений ледостав устанавливается без ледохода даже на больших реках.

Затяжной период замерзания или неустойчивый ледостав характерен для участков выхода теплых грунтовых вод. Например, на р. Большой Кизил у д. Верхне-Абдряшево и на р. Карагайлы у с. Старо-Сибяево. Малая продолжительность периода с ледовыми явлениями характерна для участков ниже водохранилищ (рис. 4). В створе поста с. Уральск ниже Ириклинского водохранилища устойчивый ледяной покров формируется не ежегодно, в зимний период часто наблюдаются только забереги.

Весенний ледоход начинается в первой декаде апреля. Продолжительность ледохода на р. Урал и главных притоках составляет 3-5 дней. Процесс вскрытия распространяется от низовьев к верховьям бассейна. Лед к моменту вскрытия уже достаточно ослаблен тепловым разрушением, поэтому весенние заторы, образующиеся

на крутых излучинах, непродолжительны, наибольшие заторные подъемы составляют до 2–3 м.

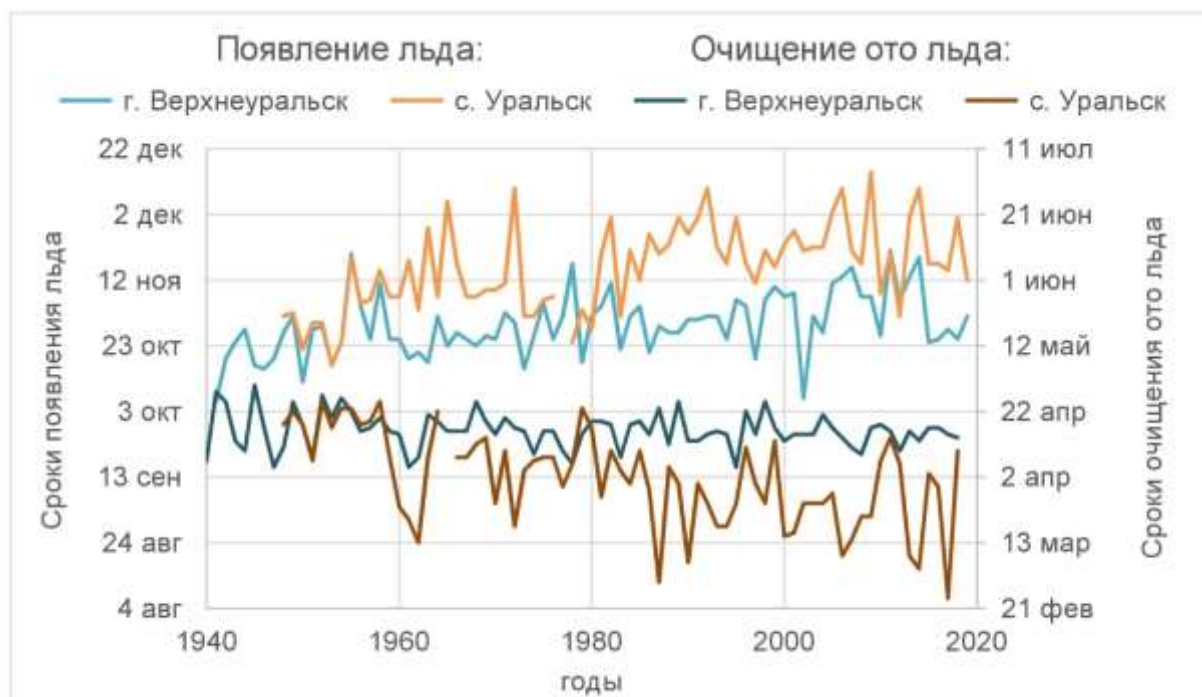


Рисунок 4 – Многолетние изменения сроков ледовых явлений выше (г. Верхнеуральск) и ниже (с. Уральск) Ириклинского водохранилища.

Изменение сроков ледовых явлений, обусловленное изменением климата и водного режима, проявляется, прежде всего, в смещении сроков появления льда в сторону более поздних. При сравнении 2-х периодов (1958–1977 гг. и 1978–2018 гг.) изменение сроков появления льда на р. Урал в пределах российской территории составило 5–7 сут., у с. Уральск, ниже Ириклинского водохранилища – 9 сут. Изменений сроков вскрытия и очищения ото льда на участках вне зон влияния водохранилищ не наблюдается. В итоге по длине р. Урал сокращение продолжительности периода ледовых явлений составляет 5–8 сут. для незарегулированных участков и до 20 сут. – для зарегулированных.

Список литературы

1. Вода России. Речные бассейны. Екатеринбург, 2000. 536 с.
2. Российское пограничье: вызовы соседства. М.: ИП Матушкина И.И., 2018. 562 с.
3. Магрицкий Д. В., Кенжебаева А. Ж. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р. Урал // Наука. Техника. Технология (политехн. вестник). 2017. № 3. С. 39–61.
4. Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Проблемы устойчивого водопользования в трансграничном бассейне реки Урал // Водные ресурсы. 2017. Т.44. № 4. С. 504–516.
5. Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова Г.С. Изменения стока в бассейне р. Урал // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5: Геогр. 2018. № 1. С. 90–101.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ УСЛОВИЙ МАЛОВОДЬЯ В КИТАЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА РЕКИ ИЛИ В СЕЗОНЕ 2020 ГОДА

Абаев Н.Н.^{1,2}, Терехов А.Г.^{1,3}, Тиллакәрім Т.А.^{1,2}, Елтай А.Ф.^{1,2}

¹ РГП «Казгидромет», г. Нур-Султан, Казахстан

² Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

³ Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан

E-mail: abayev_n@meteo.kz

Аннотация: Рассмотрены возможности спутникового мониторинга бассейна трансграничной р. Иле, основного притока оз. Балхаш. С помощью спутникового мониторинга может восполняться недостаток оперативной гидрологической информации с территории КНР, необходимой для анализа и прогноза водности сезона. 2020 г. характеризовался существенными отрицательными аномалиями водного эквивалента снежного покрова в хребтах Тянь-Шаня (продукт SWEA FEWS NET от USGS), где р. Иле собирает воду. Спутниковые оценки расхода воды в р. Иле на границе КНР-Казахстан показали острую маловодность июня и первой половины сентября, около 30% от климатической нормы. Таким образом, использованные дистанционные параметры, связанные с гидрологией, указывают на существенную маловодность сезона 2020 г. для р. Иле.

Ключевые слова: бассейн трансграничной р. Иле, дистанционное зондирование, сезонное пополнение водохранилищ, снежный покров, расход воды в реке.

SATELLITE MONITORING OF THE LOW WATER LEVEL IN CHANA'S PART OF THE ILI RIVER BASIN IN 2020

N. N. Abayev¹, A. G. Terekhov^{1,3}, T.A Tillakarim^{1,2}, A.G Yeltay^{1,2}

¹RSE Kazhydromet, Nur-Sultan, Kazakhstan

²al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³Institute informational and computing technology MES, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The article considers the possibilities of satellite monitoring of the Ili River basin, which is the main tributary of the lake Balkhash. With the help of satellite monitoring, the lack of operational hydrological information from the territory of the China, which is necessary for the analysis and forecast of the water content of the season, can be filled. The year 2020 was characterized by significant negative anomalies of the snow water equivalent of snow cover in the Tien Shan ranges (a product of SWEA FEWS NET from the USGS), where the Ili River collects water. Satellite estimates of water outflow in the Ili River on the border of China-Kazakhstan show acute low water during June and the first half of July, less than 30% of the climate norm. Thus, the used remote parameters related to hydrology indicate a significant low water level of the 2020 season for the Ili River.

Keywords: transboundary Ili River basin, remote sensing, seasonal refill of reservoirs, snow cover, river outflow.

Трансграничный бассейн р. Иле, с площадью около 140 тыс. км², верховья которого относятся к КНР (Синьцзян-Уйгурский автономный район), а нижняя часть – к Казахстану, расположен в аридной зоне Центральной Азии. Воды реки формируются в хребтах Северного, Восточного и Внутреннего Тянь-Шаня. Водные ресурсы этой реки, по большей части, формируют одно из крупнейших озер мира – оз. Балхаш (18 тыс. км²). Ресурсы реки интенсивно используются в народном хозяйстве, особенно на территории КНР, где проживает большая часть населения ее бассейна. Резко континентальный климат Центральной Азии продуцирует значительные вариации в водности сезона. Годовой объем стока р. Иле на границе с Казахстаном может варьировать примерно от 9 (1992) до 14 (1958) км³.

В условиях значительной антропогенной нагрузки в верхней, китайской, части бассейна информация о режиме водности года, определяемом погодными условиями, очень важна для эффективного водопользования в нижнем, Казахстанском секторе. Оперативная гидрологическая информация с китайского сектора бассейна для казахстанских экспертов ограничивается данными пограничного гидрологического поста (Сандаохэдзы), что недостаточно для прогноза водности сезона [1]. Это обстоятельство определяет актуальность, для казахстанских профильных организаций, спутниковых оценок водности сезона для верховий р. Иле.

Региональная система мониторинга, разработанная для территории СУАР КНР [2,3], предназначена для анализа состояния ряда водных объектов, расположенных в трансграничных бассейнах. В бассейне р. Иле наиболее значимыми являются доминирующие водохранилища, расположенные на ее основных притоках: на р. Текес – Капчагайское вдхр. [4]; и на реке Каш – Жарынтайское вдхр. [5]. Представляет интерес также снежный покров бассейна реки, который формируется в холодный период и является важнейшим источником воды речного стока в теплое время [6].

В данной работе рассматривается состояние и перспективы водности сезона 2020 г. для р. Иле на территории КНР. Главная цель спутникового мониторинга, как можно раньше зарегистрировать признаки маловодности. Маловодность сопряжена с наибольшими экономическими потерями в нижней части бассейна на территории Казахстана. Информация о водности сезона необходима также для эффективного администрирования работы Капчагайского гидроузла (Казахстан), расположенного в районе крупнейшего мегаполиса Республики – г. Алматы. Водохранилище работает в энергетическом режиме, вырабатывая электроэнергию для народного хозяйства, и должно поддерживать высокий уровень воды в нижней части русла реки Иле в определенное время, чтобы обеспечить ирригацию рисовых массивов в районе пос. Баканас.

Первая половина сезона 2020 г. оказалась маловодной. В связи с этим представляло интерес проанализировать, каким образом система регионального спутникового мониторинга СУАР может характеризовать гидрологические параметры бассейна р. Иле. Какие прогнозы по водности р. Иле могут быть сделаны в первой половине сезона его для второй половины и насколько они оправдаются.

Первый параметр, характеризующий потенциальную водность сезона – снежный покров бассейна р. Иле. Продукт Snow Water Equivalent Anomaly от программы Famine Early Warning System NET (SWEA FEWS NET) доступен в свободном доступе на сайте программы (<https://earlywarning.usgs.gov/fews/>). По данным на 30 апреля, в хребтах Тянь-Шаня, которые служат источником стока р. Иле, регистрировались запасы снега существенно ниже нормы, (рис. 1).



Рисунок 1 - Аномалии водного эквивалента снежного покрова (Snow Water Equivalent Anomaly [SWEA]) в районе трансграничного бассейна р. Иле. Построено по данным SWEA FEWS NET на 30 апреля 2020 г.

Вторым параметром, связанным с водностью сезона, является календарный режим заполнения крупнейших водохранилищ в китайском секторе бассейна р. Иле. Маловодный режим сдвигает на более поздние сроки календарные сроки заполнения основных водохранилищ, в частности Капчагайского на р. Текес и Жарынтайского – на р. Каш. Сельскохозяйственное водопользование начала лета требует большого количества воды, и в условиях маловодья ресурсов на сезонное пополнение резервуаров не остается. В конце лета (август) потребность воды в сельском хозяйстве значительно уменьшается, и появляется возможность заполнения водохранилищ крупных гидроузлов. Однако такой режим продуцирует острое антропогенное маловодье р. Иле в Казахстане. Многолетний спутниковый мониторинг запасов воды в этих резервуарах, базирующийся на оценках размеров водных зеркал [7], показал, что в первой половине сезона 2020 г. заполнение водохранилищ шло очень медленно, с графиком близким к 2014 г., когда наблюдалось исключительное маловодье (рис. 2).

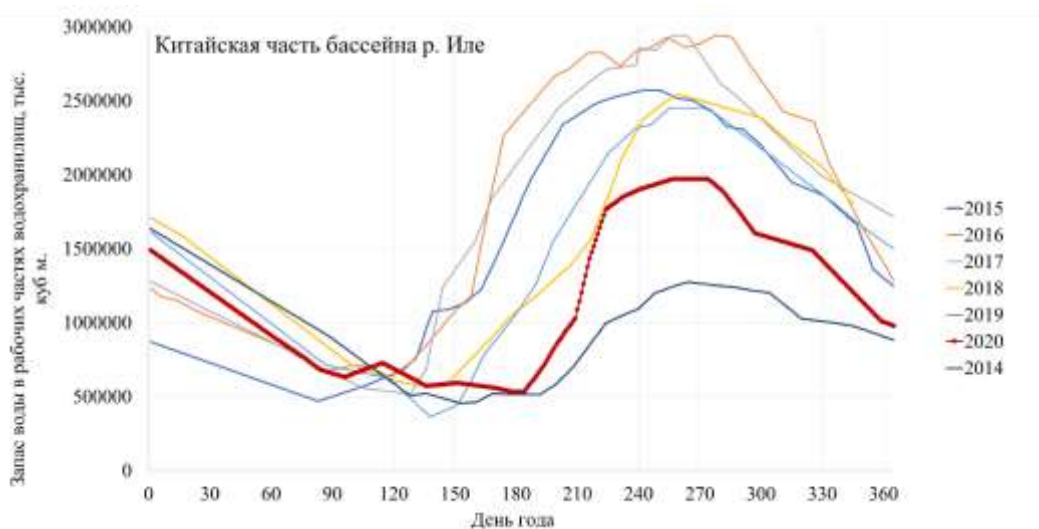


Рисунок 2 - Динамика суммарных запасов воды в рабочих частях основных водохранилищ (Капчагайское + Жарынтайское) в китайской части бассейна р. Иле в период 2014-2020 гг. Спутниковые оценки

Следует отметить, что во второй половине 2020 г. запасы воды в значительной степени превысили запасы маловодного 2014 г. Таким образом, начиная с конца июля прослеживается постепенное повышение запасов воды на протяжении двух последующих месяцев (рис. 2).

Третьим параметром являются спутниковые оценки расхода воды в р. Иле в районе границы КНР-Казахстан. Гидрологическая информация не попадает в программу международного обмена Всемирной метеорологической организации, и поэтому данные о расходе воды в реках не имеют свободного распространения. Спутниковые снимки с разрешением 20-30 м (Landsat 7,8 и Sentinel-2A) свободного доступа достаточно часто покрывают территорию в районе границы КНР-Казахстан – раз в неделю, иногда чаще. Для крупных рек, протекающих по слабонаклоненным равнинам в аридном климате с неразвитой древесной растительностью, спутниковые снимки с разрешением 20-30 м позволяют оценивать расход воды (рис. 3). Сезон 2020 г. по расходу воды в р. Иле начинался как обычный, но начиная со второй половины мая расход воды начал резко падать. В период июня – начала сентября регистрировалось

исключительное маловодье. Расход воды в реке оценивался, как более чем в 4 раза меньше климатической нормы (рис. 4).

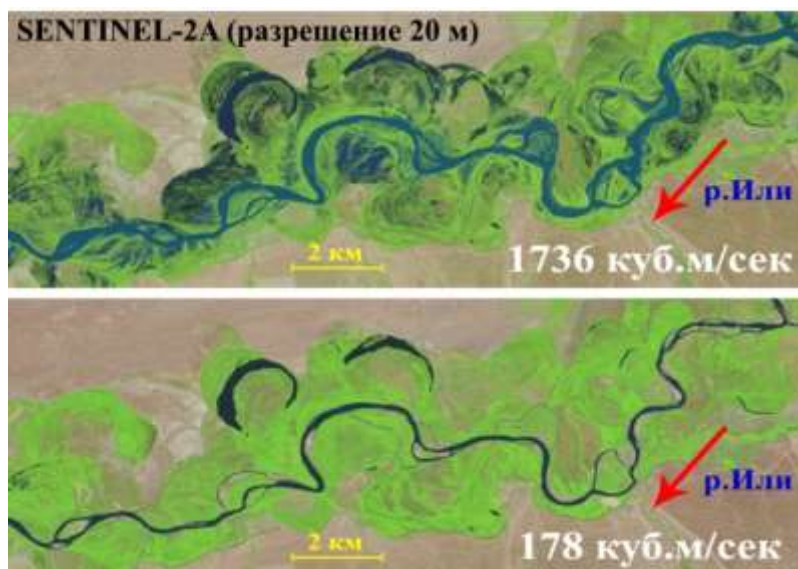


Рисунок 3 – Вариации наполненности русла р. Иле в представлении спутниковой съемки Sentinel-2A. Псевдоцветные композиты в натуральной палитре. Расход воды по данным гидрологического поста «Пристань Добын» (Казахстан) в районе границы Казахстан-КНР

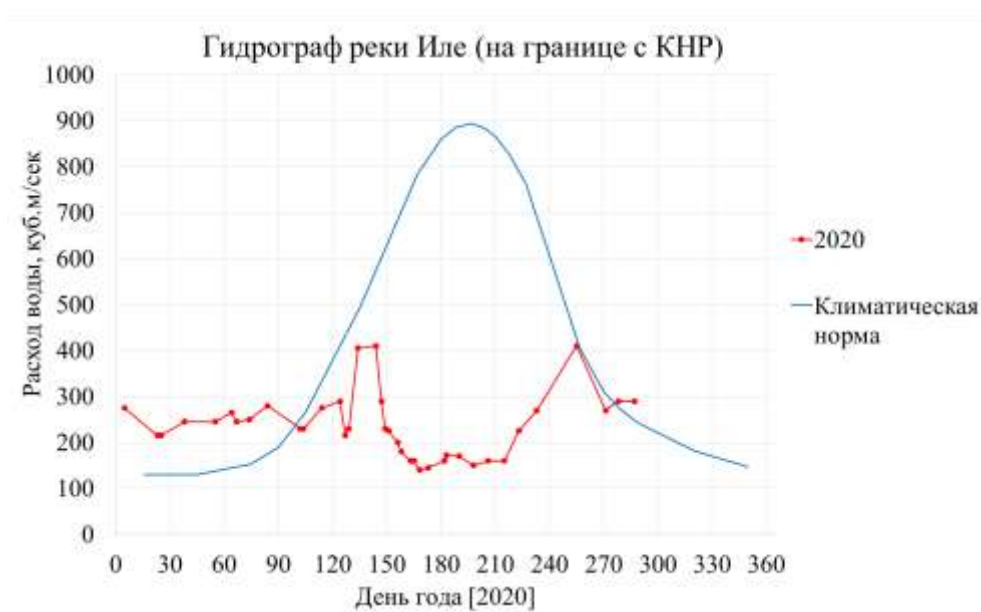


Рисунок 4 - Спутниковые (LANDSAT, SENTINEL-2A) оценки расхода воды в реке Иле на границе Казахстан – КНР

Таким образом, система регионального спутникового мониторинга СУАР КНР по всем основным параметрам регистрирует маловодность сезона для р. Иле в 2020 г. В частности, на это указывали:

1. Отрицательные аномалии водного эквивалента снежного покрова бассейна на 30 апреля с дефицитом, относительно климатических норм, примерно от -100 до -500 мм H_2O .
2. Сдвиг на более поздние календарные даты заполнения двух доминирующих водохранилищ китайской части бассейна: Капчагайское вдхр. (р. Текес) - начало

заполнения после 3 июля; Жарынтайское вдхр. (р. Каш) - после 15 мая и по, крайней мере, до 12 июля, пополнение резервуара из-за недостатка воды в реке прекратилось.

3. Существенно уменьшенный расход воды в р. Иле в районе границы Казахстан-КНР (спутниковые оценки). С конца мая регистрировалось резкое уменьшение расхода воды. В июне - первой половине сентября расход воды составлял не более 30 % от климатической нормы.

4. Запасы воды в снеге во второй половине сезона 2020 г. были выше чем в маловодном 2014 г., с чем было связано некоторое повышение расхода воды в августе-сентябре.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан, проекты: AP08957394.

Список литературы

1. Соглашение между Правительством Республики Казахстан и Правительством Китайской Народной Республики о сотрудничестве в сфере использования и охраны трансграничных рек// Постановление Правительства Республики Казахстан от 10 сентября 2002 г. N 989. URL: http://adilet.zan.kz/rus/docs/P020000989_

2. Терехов А.Г. Принципы спутникового мониторинга трансграничных речных бассейнов на примере территории СУАР КНР// Электронный сб. материалов. 17-й Всеросс. откр. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М: ИКИ РАН, 2019. С.538. DOI 10.21046/17DZZconf-2019a.

3. Терехов А.Г., Пак А.А. Состояние и перспективы развития системы дистанционного зондирования Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР// Сб. Материалов 6 Междунар. конф. «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 10-13 сент. 2019. СФУ, Красноярск. Россия. С. 34-36.

4. Терехов. А.Г., Пак И.Т., Долгих С.А. Данные LANDSAT 5,7,8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капчагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Журн. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015.Т.12.№ 6. С. 174-182.

5. Терехов А.Г., Пак А.А. Реконструкция 3D модели чаши Жарынтайского водохранилища на реке Каш (КНР) по данным дистанционного зондирования и DEM// Сб. Материалов 6 Междунар. конф. «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 10-13 сент. 2019. СФУ, Красноярск. Россия. С.56-58.

6. Терехов А.Г., Пак А.А. Спутниковый прогноз влияния пополнения Капчагайского водохранилища (КНР) на водность трансграничной реки Иле в 2019 году// Журн. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т.16. № 4. С. 298-302. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.

7. Terekhov A., Makarenko N., Pak A., Abayev N. Using the Digital Elevation Model (DEM) and coastlines for satellite monitoring of small reservoir filling// Cogent Engineering. 2020. Vol.7. Issue 1. DOI: 10.1080/23311916.2020.1853305.

ПРОГНОЗ СТОКА В БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ В 21 ВЕКЕ*

Алиева М.Б.¹, Сидорова М.В.², Кашутина Е.А.²

¹Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева,
г. Москва

² Институт географии РАН, г. Москва

E-mail: smeshmaha@mail.ru

Аннотация. В статье исследуются возможные изменения среднесуточного речного стока в трансграничном бассейне р. Урал в 21 веке. Прогноз, основанный на применении комплекса воднобалансовых зависимостей, реализован с использованием проекций будущего климата, полученных на ансамбле из одиннадцати моделей общей циркуляции атмосферы и океана проекта СМIP5, наиболее достоверно отражающих региональный климат. Сокращение среднесуточного речного стока в основной стокоформирующей зоне бассейна Урала до 2 и более раз ожидается уже к середине 21 века и сохранится до конца столетия.

Ключевые слова: климатические сценарии, водный стресс, среднесуточный речной сток, воднобалансовые зависимости

RUNOFF FORECAST FOR THE URAL RIVER BASIN IN THE 21ST CENTURY

Alieva M.B.¹, Sidorova M.V.², Kashutina E.A.²

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after
K.A. Timiryazev, Moscow

²Institute of Geography RAS, Moscow

E-mail: smeshmaha@mail.ru

Abstract. The mean long-term river flow possible changes in the Ural River transboundary basin in the 21st century are examined. The forecast based on the application of a complex of water balance dependences was implemented using projections of the future climate obtained on an ensemble of eleven models of the general circulation of the atmosphere and ocean of the CMIP5 project, which most reliably reflect the regional climate. A reduction in the average long-term river runoff in the main drainage-forming zone of the Urals basin to 2 or more times is expected by the middle of the 21st century and will continue until the end of the century.

Key words: climatic scenarios, water stress, mean long-term river runoff, water balance dependences.

В современных условиях меняющегося климата и роста нагрузки на водные ресурсы обеспечение устойчивого водопользования становится одной из актуальных задач развития цивилизации. В условиях трансграничных бассейнов, когда отсутствует единое управление водными ресурсами бассейнов рек и, особенно, для густонаселенных территорий с недостаточным количеством водных ресурсов, заблаговременный прогноз количества и качества доступных водных ресурсов особенно актуален.

Трансграничный бассейн р. Урал, находящийся на юго-восточной окраине Восточно-Европейской равнины, обеспечивает водными ресурсами около 4 млн. чел., промышленность, рыбное и сельское хозяйство России и Казахстана.

Река Урал имеет длину 2428 км, площадь водосбора 237000 км². Среднегодовой объем стока 8.24 км³ [1]. Для бассейна р. Урал характерна значительная пространственная дифференциация климатических и ландшафтных условий – река протекает в горнолесной, лесостепной, степной, полупустынной и пустынной зонах. От истоков к устью усиливается засушливость климата. Для реки характерна сильная

* Работа выполнена в рамках государственного задания 0148-2019-0007.

внутригодовая и межгодовая неравномерность стока – до 20 раз для среднегодового стока и до 1300 раз – для расхода воды в течение года [2]. Весь поверхностный сток реки формируется в верхней и средней частях бассейна на территории России. Водосбор подвержен значительной антропогенной нагрузке. В верховьях, на территории Челябинской области, расположены основные металлургические предприятия России. В пределах российской части водосбора сток р. Урал значительно зарегулирован, 60 % территории водосбора распахан, значительная часть воды бассейна расходуется на гидромелиорацию. Для реки характерны значительные объемы водозабора, несколько сократившиеся после 1990 г.: в российской части с 2.9 до 2.0 км³/год, а в казахстанской – с 1.7 до 0.9 км³/год [2]. При этом сейчас безвозвратно изымается 17% стока, что свидетельствует о критически высокой нагрузке на речной сток [3].

Работы, посвященные прогнозированию состояния водных ресурсов Урала, на ближайшие десятилетия немногочисленны и в основном базируются на старых версиях климатических сценариев IPCC (Coupled Model Intercomparison Project, версия СМIP3) [3,4,5]. В нашей работе выполнена оценка возможных изменений среднемноголетнего стока р. Урал для двух периодов 21 века: с 2041 по 2060 гг. (середина века), и с 2081 по 2100 гг. (конец века) по данным о температуре и осадках с пространственным разрешением 0.5° x 0.5°, полученным на ансамбле из 11 моделей общей циркуляции атмосферы МОЦАО проекта СМIP5, наиболее достоверно отражающих региональный климат. Анализировались два сценария выбросов парниковых газов: средний (RCP 4.5) и более жесткий (RCP 8.5), согласно [6] (рис.1). Для расчетов использована методика, разработанная, верифицированная и апробированная с участием М.В. Сидоровой, одного из авторов статьи, основанная на применении комплекса воднобалансовых зависимостей, в том числе формулы расчета испарения Тюрка-Мезенцева [7,8]. Этот же метод был использован в работе [3] для прогноза стока в бассейне р. Урал в середине XXI века, по данным проекта СМIP3.

На рис. 1-4 приведены возможные относительные изменения среднемноголетнего речного стока в бассейне р. Урал в середине и в конце 21 века относительно речного стока за базовый период – с 1960 по 1990 гг. Коэффициенты $K_{\text{ст}}$ > 1 соответствуют увеличению речного стока, меньше единицы – сокращению.

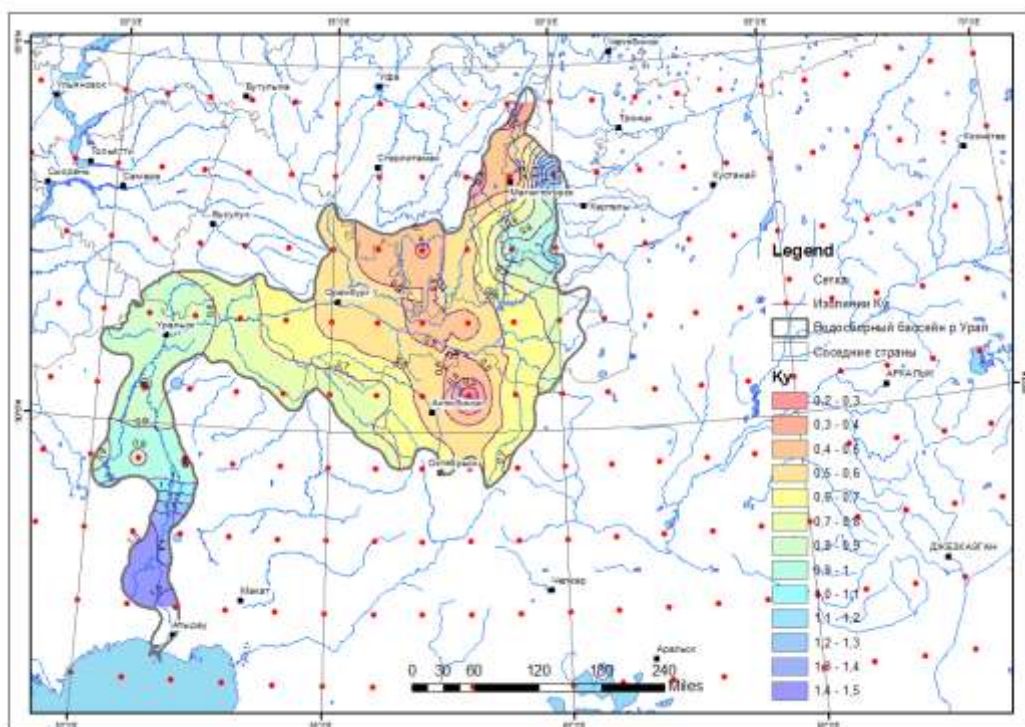


Рисунок 1 – Изменение среднегодового речного стока в бассейне р. Урал при различных сценариях выбросов парниковых газов. Середина XXI века. Сценарий RCP 4.5

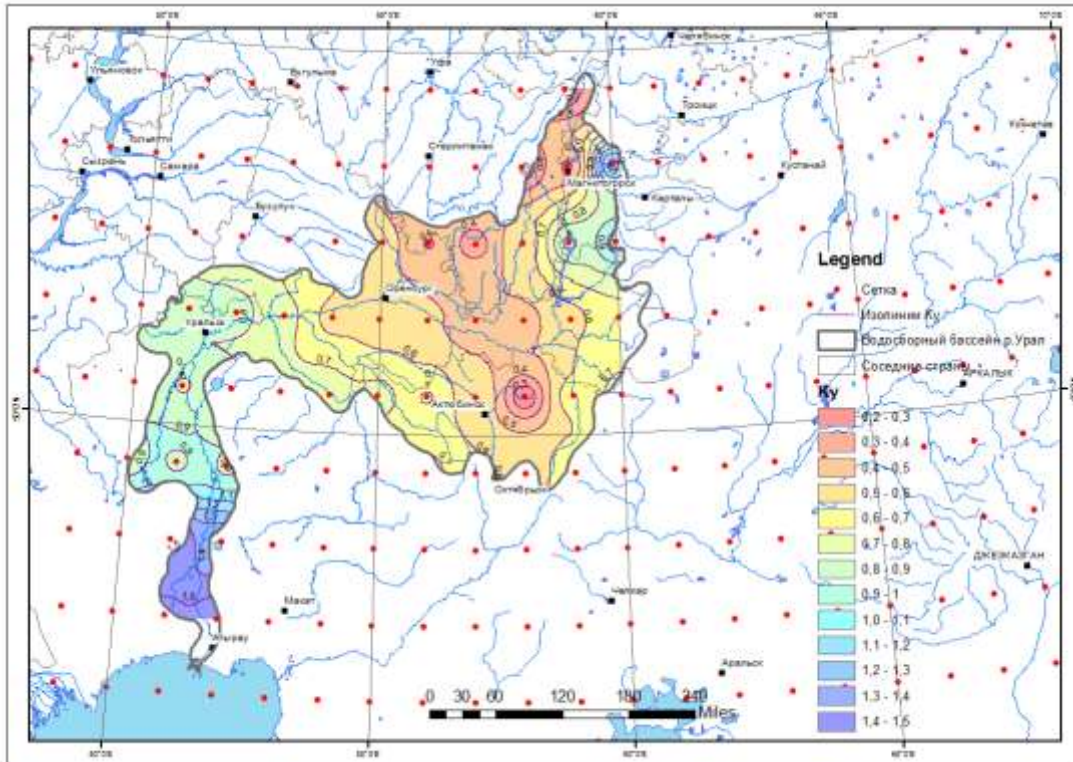


Рисунок 2 – Изменение среднегодового речного стока в бассейне р. Урал при различных сценариях выбросов парниковых газов. Середина XXI века. Сценарий RCP 8.5

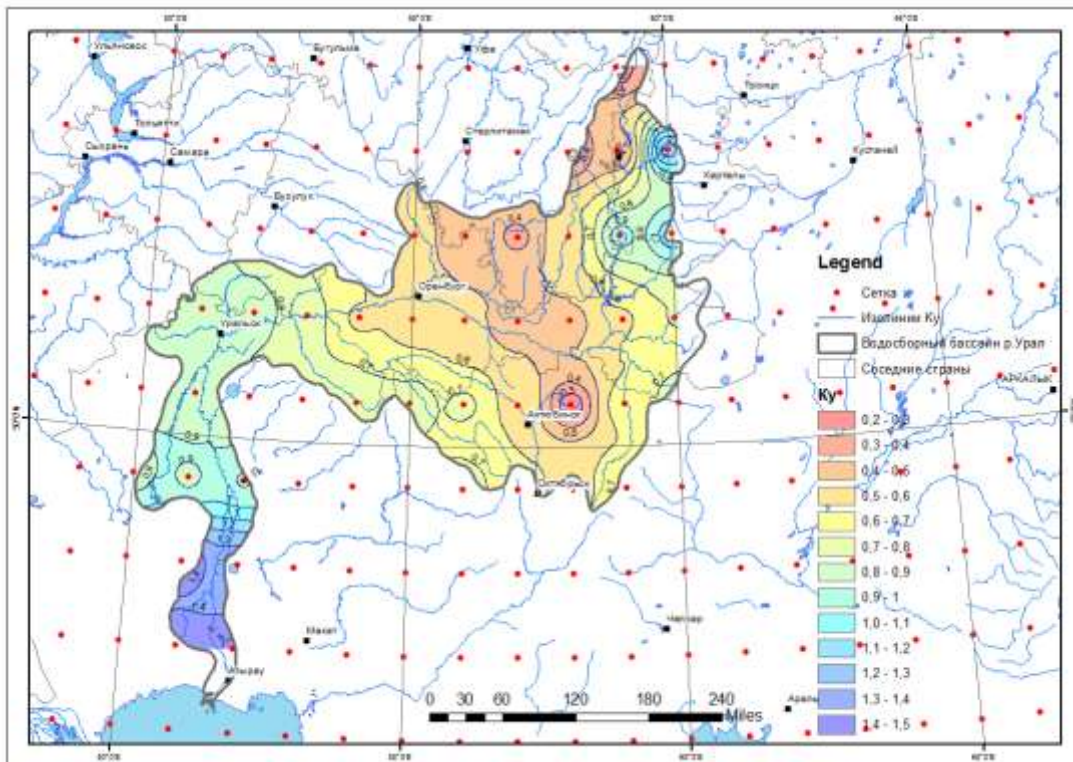


Рисунок 3 – Изменение среднегодового речного стока в бассейне р. Урал при различных сценариях выбросов парниковых газов. Конец XXI века. Сценарий RCP 4.5

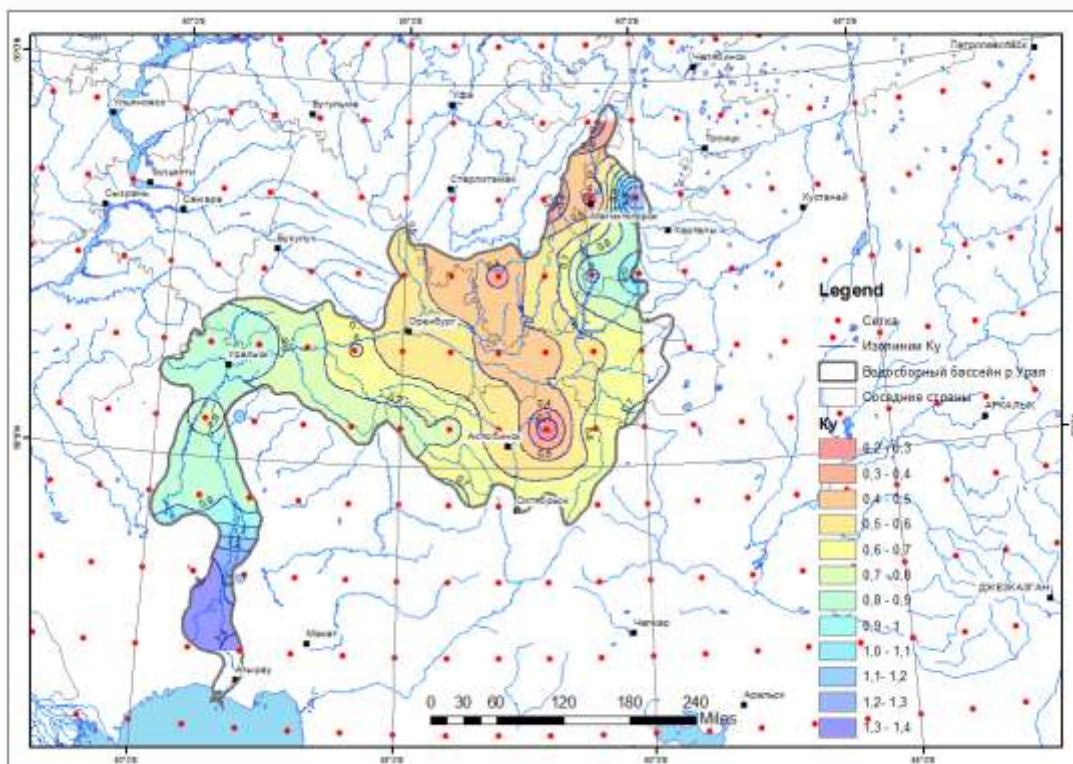


Рисунок 4 – Изменение среднегодового речного стока в бассейне р. Урал при различных сценариях выбросов парниковых газов Конец XXI века. Сценарий RCP 8.5

По обоим сценариям значительные изменения среднесуточного речного стока ожидаются уже к середине 21 века и сохранятся до конца столетия. Наибольшие изменения приходятся на стокоформирующую зону бассейна р. Урал – верхнее и среднее течения реки. Только на небольших участках в верховьях бассейна в горной части Урала, например, вблизи Магнитогорска, ожидается сохранение современных значений годового речного стока. В остальной стокоформирующей зоне ожидается сокращение стока. В районе Оренбурга – примерно в 2 раза (на 50%), в районе Орска – в 3 раза (на 70%). Некоторое модельное увеличение стока в нижней части бассейна реки можно рассматривать либо как модельную ошибку, вызванную близостью Каспийского моря и связанную с проблемой воспроизведения климата моделями МОЦАО в контрастных зонах перехода суша-море, либо как незначимое событие, поскольку сейчас сток в этой зоне не формируется (равен нулю).

Полученные на основе климатических прогнозов и воднобалансовых методов оценки речного стока в бассейне р. Урал значительно жестче по сравнению со спрогнозированными в работе [3], где сокращение речного стока к середине 21 столетия составляло от 10 до 30%. Прогнозируемый водный стресс в бассейне реки требует комплексного управления водными ресурсами бассейна и применения водоохранных мер, нацеленных на строжайшую экономию воды в масштабах всего бассейна и способных смягчить последствия климатического иссушения региона.

Список литературы

1. Вода России. Научно-популярная энциклопедия [Электронный ресурс]. Доступно по адресу: <https://waterrf.ru> (Дата обращения 15.04.2021).
2. Региональные экологические проблемы в трансграничных бассейнах рек Урал и Иртыш / Винокуров Ю.И. [и др.] // Изв. РАН. Сер. геогр., 2010. № 3. С. 95–104.

3. Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова Г.С. Изменения стока в бассейне р. Урал // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 1. С. 90 - 101.

4. Водные ресурсы России и их использование. СПб: ГГИ, 2008. 598 с.

5. IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 104 p.

6. Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt G. C., Kram T., Krey V., Lamarque J. F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S. J., and Rose S. K. 2011. "The representative concentration pathways: an overview." Climatic change 109(1-2):5 doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.

7. Евстигнеев В.М., Кислов А.В., Сидорова М.В. Влияние климатических изменений на годовой сток рек Восточно-Европейской равнины в XXI в. // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2010. № 2. С.3-10.

8. Sidorova M.V., Kashutina E.A., Cherenkova E.A. Impact of regional climate changes on the emergence of extremely dry years in European Russia in the 21st century // Water Resources Management: Methods, Applications and Challenges. Water Resource Planning, Development and Management. United States: United States, 2020. P.1–34.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭКОТОКСИЧНОСТИ ВОД ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДОТОКОВ

Бакаева Е.Н.^{1,2,3}, Тарадайко М.Н.^{1,2,3}, Игнатова Н.А.² Аль-Гиззи М.А.Б.³

¹ Гидрохимический институт Росгидромета, г. Ростов-на-Дону,

² Институт водных проблем РАН, Гидрохимический отдел, г. Ростов-на-Дону

³ Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, Академия биологии и биотехнологий, г. Ростов-на-Дону

rotaria@mail.ru

Аннотация: Выделены направления и проблемы развития методологии биотестирования вод на современном этапе. Приоритетными направлениями являются инструментализация существующих биотестов, разработка итоговой оценки качества вод по набору биотестов, по данным триады методов водной экотоксикологии. Предложена шкала оценки качества вод по данным набора биотестов и химического загрязнения.

Ключевые слова: токсичность, биотестирование, биоиндикация, поверхностные воды.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF ECOTOXICITY ASSESSMENT FOR WATERS OF TRANSBOUNDARY WATER COURSES

Bakaeva E.N., Taradajko M.N., Ignatova N.A., AL-Ghizzi M.A.B.

¹ Hydrochemical Institute, of Roshydromet, Rostov-on-Don, Russia

² Institute of Water Problems of the RAS, Hydrochemical department, Rostov-on-Don

³ Southern Federal University, Institute of Earth Science, Academy of Biology and Biotechnology, Rostov- on-Don

Abstract: The directions and problems in the development of the water bioassay methodology at the current stage are highlighted. Priority areas are the instrumentalization of existing bioassays, the development of a final assessment of water quality based on a set of bioassays, according to the triad of methods of aquatic ecotoxicology. A scale for assessing water quality based on a set of bioassays and chemical pollution is proposed.

Keywords: toxicity, bioassay, bioindication, surface water

В мониторинге и оценке трансграничных рек рассматриваются фактический статус и тенденции, имеющие отношение к функциям рек и их использованию. До последнего времени в мониторинге поверхностных вод преобладающим являлся аналитический подход, основанный на определении быстро растущего числа отдельных химических веществ. Однако практика показала, что в стратегии мониторинга наиболее целесообразным и перспективным является тройственный методический подход, включающий аналитические методы и два биологических (биоиндикация и биотестирование).

Биотестирование призвано выявлять наличие и степень токсичности вод – самой опасной характеристики не только для гидробиоты, но и для человека. Биотесты, помимо их широко распространенного использования для стандартных исследований различных физических и химических свойств веществ, используются для мониторинга качества поверхностных вод в России, США, Канаде и Европейском Союзе. Сам по себе биотест не может ответить на вопрос, какой именно из многих загрязнителей, растворенных в воде, ответственен за изменение биологической активности используемого тест-объекта. На сегодняшний момент развития экотоксикологии разработано большое количество методик биотестирования и несколько меньше нормативно-методической документации по их применению. Тем не менее, остаётся ряд открытых и требующих совершенствования и развития методических аспектов.

Обозначим следующие направления и проблемы развития методологии биотестирования вод на современном этапе:

1. Выход на приборный уровень процедуры биотестирования существующих биотестов. Инструментализация уже имеющихся биотестов существенно снизит их трудоёмкость, повысит оперативность.

2. Поиск и разработка новых, как правило, на микроуровне биотестов, дающих, во-первых, новые информативные тест-функции, во-вторых, экспрессную информацию о сублетальном действии, в-третьих, выход на приборный уровень. Требует высокой квалификации и дорогостоящего оборудования.

3. Формирование и использование набора биотестов. К настоящему моменту стало очевидно, что для адекватной оценки токсичности компонентов окружающей среды целесообразно использовать набор биотестов. Так, согласно действующим природоохранным нормативным документам Российской Федерации, рекомендуется использовать минимум две биотест-системы с тест-организмами, принадлежащими к разным таксономическим группам [1]. В системе Росгидромета нормативно-методическим документом [2] рекомендовано использовать набор биотестов для оценки токсичности воды и донных отложений поверхностных водных объектов. В [3] предложен набор биотестов, включающий в качестве тест-организмов представителей основных трофических групп и систематической принадлежности. За рубежом также существует представление о целесообразности использования в качестве тест-культур для экспрессных анализов представителей трёх основных звеньев трофической цепи биогеоценозов: продуцентов, консументов, редуцентов. Для этого используют микробиотесты (Protoxkit F, Rotoxkit F и Daphtoxkit F) и микробный анализ Microtox.

4. Итоговая оценка токсичности по набору биотестов или комплексу тест-показателей – наиболее востребованное на данном этапе направление. Однако при этом возникает ряд следующих проблем:

– итоговая оценка токсичности в общепринятых нормативных документах основана на отклике наиболее чувствительного тест-объекта или тест-показателя, т.е. учитывается только «наихудший» результат. В этом случае неучтёнными остаются результаты отклика других тест-объектов;

– оценка и интерпретация результатов. Стимулирующее действие тестируемых проб в плане оценки токсичности является спорным, часто его просто игнорируют, в некоторых случаях расценивают как токсическое действие. Спорным также является

оценивание токсичности тестируемых проб по отклонению значений тест-показателей от контроля на 10 %, что находится в пределах ошибки биотестового анализа компонентов окружающей среды (биосферы, водной экосистемы);

– разница в оценке степени токсичности тестируемых проб и состоянии водной экосистемы на основе токсичности, обоснованная эколого-биологическими особенностями вида. Существующие биотесты используют тест-объекты разных трофических уровней (автотрофы/гетеротрофы), разной таксономической принадлежности (бактерии, инфузории, коловратки, кладоцеры (ветвистоусые рачки), остракоды(усоногие раки), десятипалые раки, ихтиопланктон, рыбы, олигохеты, дождевые черви, микроводоросли, высшие растения), разных уровней живого (популяционный, организменный, клеточный, субклеточный, молекулярный).

5. Разработка итоговой оценки качества вод на основе комплекса результатов биотестовых и химических данных. Попытки найти корреляцию между этими данными оказались не состоятельными. Нами предложена шкала итоговой оценки качества вод по результатам токсичности по набору из трёх биотестов и по данным химического загрязнения (индекс Zc) (табл.) [4].

Таблица – Шкала интегральной оценки качества вод с учётом степени токсичности и загрязнения водной среды [4]

№	Варианты сочетаний выявленной степени токсичности вод по трём биотестам	Токсичность вод по трём биотестам		Загрязнение вод по отношению к фону			Качество* (класс качества)
		класс	степень токсичности вод	значение Zc	класс качества	степень загрязнения вод	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3 нетТД	1	условно нетоксичные	менее 2	1	условно чистые	очень хорошее (1)
2	2 нетТД + 1ХТД	2а	слабо токсичные	2-10	2	слабо загрязненные	хорошее (2)
	1 нетТД + 2 ХТД	2б					
3	2-3 пОТД	3а	токсичные	11-30	3	средне загрязненные	среднее (3)
	1 ОТД	3б					
4	1 пОТД + 2 ОТД	4а	очень токсичные	31-50	4	сильно загрязненные	плохое (4)
	2пОТД+1ОТД	4б					
5	3 ОТД	5	экстремально токсичные	более 50	5	экстремально загрязненные	очень плохое (5)

Примечание: ТД – токсическое действие, ХТД – хроническое токсическое действие, пОТД- подострое токсическое действие, ОТД – острое токсическое действие
* В случае несоответствия классов качества по химическим и биотестовым данным окончательная оценка складывается из класса химических данных с дальнейшим указанием о биодоступности токсикантов: ВБТ – высокая биодоступность токсикантов, НБТ-низкая биодоступность токсикантов

6. Разработка итоговой оценки качества вод на основе комплекса результатов биотестовых данных и данных биоиндикации. Нами модифицирован подход оценки качества вод на основе индекса биологической целостности фитопланктона [5].

7. Стратегической задачей является разработка итоговой оценки качества вод по результатам трёх методических подходов.

Список литературы

1. Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 15 июня 2001 г. N 511 "Об утверждении Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды".
2. РД 52.24.309-2016 Организация и проведение режимных наблюдений в пунктах государственной наблюдательной сети за состоянием и загрязнением водных объектов. Росгидромет ФГБУ «ГХИ», Ростов-на-Дону, 2016. 107 с.
3. РД 52.24.868-2017 Использование методов биотестирования воды и донных отложений водотоков и водоемов. Росгидромет ФГБУ «ГХИ», Ростов-на-Дону, 2017. 57 с.
4. Закруткин В.Е., Решетняк О.С., Бакаева Е.Н. Гидроэкологические особенности поверхностных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. № 3. С. 451-460.
5. Bakaeva E.N., Al-Gizzi M.A.B. Using of index Biological Integrity of Phytoplankton (P-IBI) in the assessment of water quality in Don river section. // Baghdad Science Journal. Published Online 1.12.2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.21123/bsj.2020.18.1.5280>.

К ВОПРОСУ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕЛОКАТУНСКОЙ ГЭС (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ – КАЗАХСТАН)

Безматерных Д.М., Пузанов А.В., Ермолаева Н.И.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

E-mail: bezmater@iwep.ru

Аннотация. В статье обсуждаются основные экологические проблемы, связанные с ранее предложенным проектом строительства Белокатунской деривационной ГЭС в верховьях р. Катунь. Проект предусматривает строительство плотины высотой 133 м, которая образует водохранилище многолетнего регулирования емкостью 1,25 км³. Кратко охарактеризованы природные условия района строительства водохранилища. Представлена предварительная оценка и прогноз негативного влияния строительства этой ГЭС на водный, гидрохимический и гидробиологический режимы, а также экосистемы прилегающих территорий. Сделан вывод о необходимости проведения комплексных исследований в бассейне Верхней Оби с целью получения современных натуральных данных о современном состоянии и динамике основных компонентов водных и прилегающих наземных экосистем для более детальной оценки воздействия на них проектируемой ГЭС.

Ключевые слова: Белокатунская ГЭС, качество воды, экологические проблемы.

ON ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF THE BELOKATUNSKAYA HPS CONSTRUCTION (REPUBLIC OF ALTAI – KAZAKHSTAN)

Bezmaternykh D.M., Puzanov A.V., Yermolaeva N.I.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

Abstract: The article discusses major environmental problems associated with the previously proposed project for the construction of the Belokatunskaya diversion power station in the upper reaches of the Katun River. Provision is made for the construction of a 133 m high dam and a long-term regulation reservoir with a capacity of 1.25 km³. The natural conditions of the construction site are briefly described. A preliminary assessment and forecast of the negative effect of the HPS construction on water, hydrochemical and hydrobiological regimes as well as on ecosystems of the adjacent territories are presented. It is proposed to conduct the complex studies in the Upper Ob basin in order to obtain up-to-date in-situ data on the current state and dynamics of main components of aquatic and adjacent terrestrial ecosystems for the comprehensive evaluation of related impacts of the projected HPS.

Keywords: Belokatunskaya HPS, water quality, environmental problems

Как известно, в результате интенсивного роста численности населения, промышленности и сельского хозяйства в ряде регионов Китая в последние десятилетия наблюдается острый дефицит водных ресурсов. В Синьцзян-Уйгурском автономном районе (СУАР), особенно в его северной части, динамично развиваются промышленность и сельское хозяйство, при том, что в этом засушливом центральноазиатском регионе земледелие невозможно без искусственного орошения. На все эти нужды необходимы большие объемы воды, и проблема решается путем отъема части стока р. Кара-Иртыш. Водозабор в будущем может достичь 40–70 % от среднемноголетнего стока р. Иртыш в створе китайско-казахстанской границы, составляющего $9,0 \text{ км}^3/\text{год}$ [1, 2], и привести к дефициту водных ресурсов в казахстанской и российской частях бассейна Иртыша. В 2000 г. китайскими властями была разработана и принята Стратегия освоения СУАР, согласно которой, к 2030 г. планируется население автономного района довести с 20 млн почти до 100 млн чел. Нетрудно предположить, что дефицит водных ресурсов в скором будущем станет существенным препятствием развития этого региона [3].

В качестве одного из способов решения проблемы нехватки воды китайские специалисты предлагают проекты переброски водных ресурсов из приграничных речных бассейнов, в частности, из бассейна Верхней Оби, который, по их мнению, обладает избыточными водными ресурсами. Для решения данной задачи периодически происходит возврат к рассмотрению ряда проектов внутрибассейновой и межбассейновой переброски. Один из проектов предлагает схему взаимовыгодного использования стока российских рек по Верхне-Катунскому направлению [4]. Проект Белокатунской деривационной ГЭС имеет 40-летнюю давность. Этот проект был реанимирован и дорабатывался проектными организациями Казахстана. В основу современного варианта заложена идея переброски воды левого притока р. Катунь – р. Тихая со среднемноголетним расходом $15 \text{ м}^3/\text{с}$, которая течет по территории Казахстана, пересекает границу с Россией и впадает в Катунь. Проект предусматривает строительство плотины высотой 133 м, которая образует водохранилище многолетнего регулирования емкостью $1,25 \text{ км}^3$ на р. Катунь, в 5 км ниже впадения в нее р. Тихая (рис.). Созданный подпор распространится по р. Тихая и вклинивается вблизи водораздела с притоком Бухтарма р. Белая. Сброс воды из водохранилища в р. Белая предполагается осуществить деривационным тоннелем длиной 4,5 км. и диаметром 3 м. В конце тоннеля, на возникающем перепаде высотой 580 м, планируется сооружение Белокатунской ГЭС мощностью 800 мВт. Это означает, что здание ГЭС будет располагаться на территории Казахстана, а подпорная плотина – на территории Республики Алтай. Предполагается также строительство каскада ГЭС на реках Белая и Бухтарма, ниже проектируемой Белокатунской ГЭС суммарной выработкой 2,5 млрд. кВт·ч/год. Катунь и В. Обь могут при этом потерять 2 км^3 воды в год, то есть 1/10 часть среднемноголетнего стока Катунь (20 км^3) [5]. Более того, предлагалось строительство каскада ГЭС на реках Белая и Бухтарма ниже проектируемой Белокатунской ГЭС суммарной выработкой 2,5 млрд. кВт·ч/год. При этом не учитываются ни экономические вопросы развития территорий бассейна Верхней Катунь, ни гидроэнергетическое освоение бассейна в целом, ни экологические проблемы территории, на которой планируется создание водохранилища. К тому же многие водотоки, которые планируется задействовать в проекте, не охвачены режимными гидрологическими и гидрохимическими наблюдениями, а гидробиологический мониторинг в верховьях Оби отсутствует [6].

При столь значительном дефиците гидрологической и экологической информации сделать достоверный прогноз о воздействии намечаемого к реализации проекта на окружающую среду пока не представляется возможным. Можно провести только предварительную оценку на основе изучения экосистем других водохранилища. При создании водохранилища многолетнего регулирования изменится качество воды

как в самом водохранилище, так и на некотором участке р. Катунь ниже по течению. Изменения гидрохимических показателей будут определяться фоновыми показателями водотока, интенсивностью и продолжительностью периода наполнения водохранилища до проектных отметок, интенсивностью водообмена в период наполнения и эксплуатации, объемом (и условиями экстрадиции) органических и биогенных веществ, поступающих с затопляемых территорий, антропогенной нагрузкой на водосборе создаваемого водохранилища.

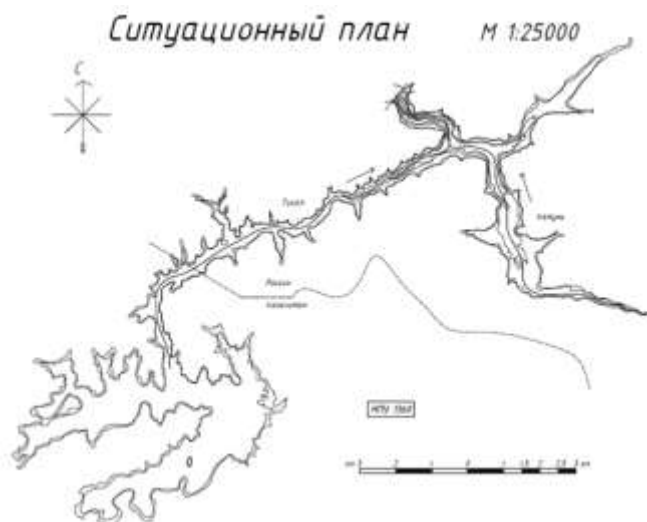


Рисунок – Ситуационный план Белокатунского водохранилища

Существенная часть годового стока р. Катунь в ее верхнем течении формируется за счет таяния ледников и многолетних снежников [7]. В настоящее время имеется ряд публикаций, в которых, дана общая характеристика химического состава вод реки в верхнем течении [8]. В основном данные получены по гидропосту Тюнгур на р. Катунь [9]. Выше по течению систематических исследований не проводилось и опубликованных материалов нет, что не позволяет выполнить корректный анализ.

Воды р. Катунь относятся к гидрокарбонатному классу кальциево-магниевой группы, являются низкоминерализованными, чистыми [10]. Стоит отметить, что в речных водах нередко отмечается превышение ПДК для Fe, Al, Mn, Cu, а на некоторых участках и Hg. Такая ситуация связана с геохимическим фоном данной территории и выносом этих элементов из коренных пород, почв и подземных вод, что подтверждается данными о содержании микроэлементов в ряду: ледники Алтая – притоки р. Катунь – р. Катунь [8]. При отсутствии антропогенной нагрузки в бассейне В. Катунь, поступление органического вещества в реку связано исключительно с природными факторами, в частности, с естественной трансформацией органического вещества в лесных и горных луговых ландшафтах и с последующим выносом образующихся продуктов в речную сеть в периоды таяния снега и при плоскостном смыве во время дождей.

При создании водохранилища следует ожидать поступления в русловую сеть подземных вод, длительное время взаимодействовавших с горными породами и потому более минерализованных. В сланцах высокогорного рельефа Алтая формируются гидрокарбонатные кальциево-натриевые воды с содержанием сульфат-иона до 40 мг/дм³, с общей минерализацией до 0,3 г/дм³ и общей металлоносностью до 6 мкг/дм³ [10]. Воды известняков имеют гидрокарбонатно-магниевый состав с содержанием сульфат-ионов до 40 мг/дм³, с общей минерализацией до 0,6 г/дм³. Общая металлоносность может достигать 60 мкг/дм³ [11]. При заполнении ложа

водохранилища произойдет затопление значительного количества фитомассы и почв. В зоне создания водохранилища распространены горно-лесные бурые и черноземовидные почвы и горно-луговые субальпийские почвы, с мощностью гумусового горизонта от 10 до 50 см и с содержанием гумуса до 20%.

На южных и западных экспозициях преобладает луговая растительность со значительными запасами фитомассы: до 760 г/м² сухого веса [12]. На северных и восточных экспозициях находятся значительные массивы кедровых, кедрово-лиственничных и лиственничных лесов с мохово-лишайниковым, полукустарниковым и реже травянистым напочвенным покровом. Биомасса древесины с травянистым и кустарниковым подлеском составляет порядка 8–9 т/га [13].

При заполнении водохранилища, если не будет произведена лесосводка, будет затоплено более 1458 га леса, т.е. порядка 364500 м³ хвойной древесины. По самым приблизительным оценкам, будет затоплено порядка 100 млн т растительной и почвенной массы. Для более точной оценки необходимо проведение натурных почвенных и геоботанических исследований в районе планируемого гидростроительства. Соответственно в водной среде значительно увеличится содержание органического вещества и продуктов его трансформации [14].

Таким образом, при создании водохранилища следует ожидать значительного ухудшения качества воды. Может произойти снижение рН, повышение уровня минерализации, повышение концентрации сульфат-ионов и ряда тяжелых металлов. Затопленные почвы и растительность являются источниками органических веществ, на базе которых в водоеме развивается обильные бактериальные и растительные сообщества. В то же время, в результате гниения растительной массы в придонные слои воды поступают углекислый газ и сероводород. Поскольку в водохранилище перемешиваемость водных масс резко замедляется, то устанавливается и устойчивая стратификация растворенных газов. Таким образом, в придонных слоях воды, в первые годы после заполнения водохранилища, могут наблюдаться заморные явления, особенно опасные в зимний период (подо льдом). По аналогии с Виллойским и Хантайским водохранилищами следует ожидать значительного снижения потенциала самоочищения водоема и увеличение концентрации в воде концентрации органических и биогенных веществ [14].

Водотоки Катунь в настоящее время в основном представляют собой типичную ритраль с чистой водой, характеризующуюся разнообразной реофильной и оксифильной гидрофауной. Лишь местами наблюдаются эффекты воздействия загрязнения тяжелыми металлами в результате деятельности горно-рудной промышленности [15].

На примере крупных равнинных водохранилищ умеренного пояса европейской части СССР были показаны следующие стадии формирования фауны после их заполнения [16]:

- 1) Постепенное отмирание терригенных и перестройка существовавших водных биоценозов в начале первого сезона;
- 2) Образование временных водных биоценозов в первое лето при массовом заселении затопленной суши. Формирование зообентоса с однообразной фауной хирономид, которая обильно развивается в условиях первоначальной высокой обеспеченности детритом терригенного происхождения. Массовое развитие в первое лето рачков и коловраток в зоопланктоне;
- 3) Стабилизация состава зообентоса, снижение их биомассы по сравнению с предыдущей стадией. Для этой стадии характерно уменьшение видового разнообразия зоопланктона.

Кроме вышеперечисленных проблем, необходимо учесть, что при создании водохранилища в зону затопления попадает территория порядка 115 км². Произойдет также изменение микроклимата на прилегающей территории, что может

способствовать перестройке растительных и животных сообществ. Специальных исследований по нахождению редких и охраняемых видов растений и животных в долине верхнего течения р. Катунь вне зоны Катунского заповедника не проводилось. Учитывая малую изученность этой территории, велика вероятность нахождения редких, «краснокнижных» или эндемичных видов биоты.

Целесообразно провести комплексные мониторинговые исследования в бассейне В. Оби с целью получения натуральных данных о современном состоянии и динамике основных компонентов водных и прилегающих наземных экосистем, в том числе исследования по современному состоянию животного и растительного мира для детальной оценки воздействия на них проектируемого водохранилища. Следует проанализировать потенциальное влияние изъятия стока и строительства водохранилищ на пойму реки ниже планируемой ГЭС. Ее иссушение может также привести к изменению микроклимата, снижению продуктивности сенокосов и пастбищ, потере нерестилищ и мест нагула многих видов (включая промысловые) рыб, ущерб биологическому разнообразию пойменных сообществ и т.д. [17]. После этого, с учетом полученных актуальных и подробных данных, можно будет выполнить моделирование изменений гидрологических и экологических условий в бассейне В. Оби при различных вариантах реализации данного проекта переброски. Не следует забывать о прогнозировании возможных социально-экономических и даже политических последствий реализации этого проекта.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИВЭП СО РАН (рег. № 121031200178-8, 121031200177-1).

Список литературы

1. Ашимбаева А.Т. Достижения и проблемы казахстанско-китайских экономических отношений 16.03.2007 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ia-entr.ru/archive/public_details56c8.html?id=376.
2. Жоламанова Г. Роль ШОС в урегулировании трансграничных рек между Казахстаном и Китаем // Analytic. 2007. № 1 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.analitika.org/article.php?story=2007050701005068>.
3. Что происходит с Иртышом? Китайский фактор [Электронный ресурс]. – URL: <https://sibirimi.ru/ekonomika/chto-proishodit-s-irtyshom-kitayskiy-faktor-06-12-2013.html>.
4. Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А. Трансграничный бассейн р. Иртыш: проблемы и решения // Регион: Экономика и Социология. 2017. № 3 (95). С. 238–253.
5. Понько В.А. Методология космогеоэкопрогноза в аграрных и водохозяйственных приложениях. Новосибирск: ИВЭП СО РАН, 2011. 97 с.
6. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В., Резников В.Ф. О проекте переброски водных ресурсов по трубопроводу из бассейна Верхней Оби в Китай // Наука и инновационные технологии на службе водной безопасности: Сб. науч. тр. Вып. 13. Ташкент: НИЦ МКВК, 2019. С. 191–198.
7. Богословский Б.Б., Филь С.А. Классификация водоёмов по внешнему водообмену // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. Л.: Геогр. общ-во СССР, 1984. С. 54–60.
8. Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Горбачев И.В. Содержание и распределение основных макро- и микроэлементов в поверхностных водах Алтая // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 3. С. 298–310
9. Савичев О.Г., Паромов В.В., Копылова Ю.Г., Хвощевская А.А., Гусева Н.В. Эколого-геохимическое состояние поверхностных вод в бассейне р. Катунь (Горный Алтай) // Вестник Томского гос. ун-та. 2013. № 366. С. 157–161
10. Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 392 с.

11. Копылова Ю.Г., Тупчий З.В. Химический состав природных вод некоторых участков Алтае-Саянской складчатой области // Охрана, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов Алтайского края. Барнаул: Алтайское книжное изд-во, 1975. С. 120–123.

12. Самбыла Ч.Н. Надземная фитомасса высокогорных сообществ различных биоклиматических секторов Алтае-Саянской горной области // Вестник КрасГАУ. 2017. № 12. С. 215–222.

13. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / Отв. ред. В.Н. Кудеяров. М.: Наука, 2007. 380 с.

14. Ермолаева Н.И., Гусельникова Е.Н., Макаренко И.В., Бровченко Н.А. К вопросу о влиянии водохранилища Верхнекатунской ГЭС на различные факторы окружающей среды // Тр. НГАСУ (Сибстрин). 2019. Т. 22. № 4 (74). С. 23–35.

15. Яныгина Л.В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: воздействие природных и антропогенных факторов: дис. ... д-ра биол. наук. Владивосток, 2014. 399 с.

16. Водоохранилища мира / А.Б. Авакян и др. М.: Наука, 1979. 287 с.

17. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. Киев: Наук. думка, 1990. 256 с.

КОМПЛЕКС МЕР, НАПРАВЛЕННЫХ НА СОХРАНЕНИЕ УНИКАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Беляев А.И., Истомин А.П., Пугачева А.М., Жихарев А.Г.,
Сухов А.А., Арьков Д.П.*

ФГНБУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград

E-mail: istomin-ap@vfanc.ru

Аннотация. Волго-Ахтубинская пойма в засушливой полупустынной зоне юга России имеет особую ценность. Необходимым условием функционирования Волго-Ахтубинской поймы является ежегодное оптимальное паводковое увлажнение и заполнение гидрографической сети. Однако, вследствие искусственного регулирования стока р. Волга каскадом водохранилищ, без учета ценностей Волго-Ахтубинской поймы, ее природного разнообразия на протяжении продолжительного периода привело к серьезным изменениям гидрологического режима, структуры ландшафтов, видового состава и продуктивности ключевых природных комплексов и экосистем. В рамках федерального проекта "Оздоровление Волги" национального проекта "Экология" реализуются мероприятия по строительству и реконструкции водопропускных сооружений, расчистке и экологической реабилитации водных объектов и дополнительному обводнению Волго-Ахтубинской поймы.

Ключевые слова: Волго-Ахтубинская пойма, водный объект, дополнительное обводнение, расчистка, экологическая реабилитация, водопропускные сооружения.

COMPLEX MEASURES AIMED AT THE PRESERVATION OF THE UNIQUE ECOSYSTEM OF THE VOLGO-AKHTUB FLOODPLAIN ON THE TERRITORY OF THE VOLGOGRAD REGION

*Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Sukhov A.A., Istomin A.P.,
Zhikharev A.G., Arkov D.P.*

Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and
Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

Abstract: The Volga-Akhtuba floodplain in the arid semi-desert zone of southern Russia is of particular value. A necessary condition for the functioning the Volga-Akhtuba floodplain is the annual

optimal flood moisture and filling of the hydrographic network. However, due to the artificial regulation of the Volga river flow by a cascade of reservoirs, without taking into account the values of the Volga-Akhtuba floodplain, its natural diversity, over a long period, led to serious changes in the hydrological regime, landscape structure, species composition and productivity of key natural complexes and ecosystems. Within the framework of the federal project "Rehabilitation of the Volga" of the national project "Ecology", measures are being taken to build and reconstruct culverts, clean up and ecological rehabilitation of water bodies and additional watering of the Volga-Akhtuba floodplain.

Key words: Volga-Akhtuba floodplain, water body, additional watering, clearing, ecological rehabilitation, culverts.

Территория Волго-Ахтубинской поймы имеет международную природоохранную значимость, является крупным массивом водно-болотных угодий на засушливом Юго-Востоке России, (а именно, на территории Волгоградской и Астраханской областей) и в 2000 г. включена в Перечень объектов, рекомендованных для внесения в список водно-болотных угодий, охраняемых Рамсарской конвенцией, принятой для привлечения внимания международного сообщества к теме ускоряющегося исчезновения водно-болотных местообитаний. Страны, в том числе Российская Федерация, присоединяясь к Конвенции, приняли на себя обязательства по содействию деятельности, направленной на то, чтобы обратить вспять процессы утраты и деградации сокращающихся водно-болотных угодий.

Кроме того, с 1999 г. Волго-Ахтубинская пойма имеет статус ключевой орнитологической территории международного значения "Ахтубинское Поозерье", подтверждающий необходимость сохранения местообитания редких и исчезающих видов птиц, занесенных в Международную Красную книгу, Красные книги РФ и Волгоградской области.

В 2011 г. при поддержке Администрации Волгоградской области, Минприроды России, Бюро ЮНЕСКО в России, на Международном координационном совете программы ЮНЕСКО "Человек и биосфера" в Дрездене, природный парк включен во Всемирную сеть биосферных заповедников.

Таким образом, природный парк стал 40-м биосферным резерватом Российской Федерации и первой территорией регионального значения, которая была включена в список международных биосферных резерватов, что накладывает дополнительные обязательства по сохранению биоразнообразия в рамках международных соглашений и Конвенций, в которых Российская Федерация является участником.

Для выполнения взятых международных обязательств по сохранению уникального природного комплекса необходимо выполнение ряда условий.

Близкое расположение Волго-Ахтубинской поймы к Волгограду и Волжскому, а также исторически сложившиеся особенности использования данной территории, а именно развитие жилищного строительства, рекреации, ведение сельского хозяйства, накладывают свой отпечаток на сохранение уникальных и типичных природных комплексов поймы.

Одним из условий функционирования природного комплекса является ежегодное оптимальное паводковое увлажнение и заполнение гидрографической сети. Многолетнее искусственное регулирование стока р. Волга каскадом водохранилищ без учета природной уникальности Волго-Ахтубинской поймы привело к серьезным изменениям гидрологического режима, структуры ландшафтов, видового состава и продуктивности ключевых природных комплексов и экосистем.

Наполнение сети трактов, ериков и озер на территории поймы в половодье зависит как от объема спецпуска, так и от продолжительности сброса максимальных расходов через Волгоградский гидроузел. Благоприятное обводнение пойменной территории достигается при максимальных расходах – 26000-28000 м³/с, продолжительностью 6-12 дней [1].

Изменение естественного гидрологического режима ведет к истощению и обмелению водных объектов Волго-Ахтубинской поймы, и, как следствие, к нарушению условий существования водных и наземных экосистем. Ярким примером является катастрофические маловодные весенние половодья 2006, 2015 гг., при которых вода в Волго-Ахтубинскую пойму практически не зашла, нанеся тем самым значительный удар по уникальной природной территории и сельхозтоваропроизводителям (рис. 1).

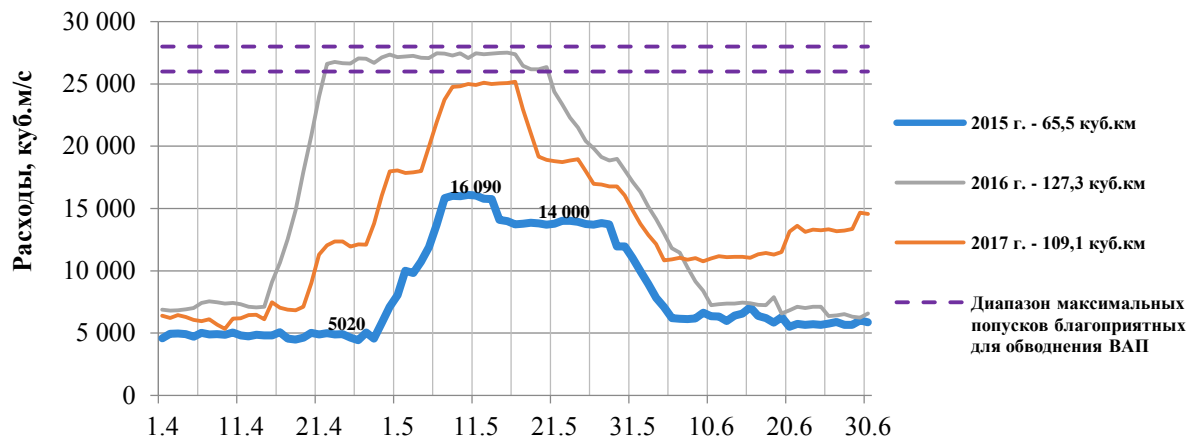


Рисунок 1 – График специального весеннего попуска через Волгоградский гидроузел во II квартале 2015-2017 гг.

Это послужило основой для включения мероприятий по восстановлению и сохранению поймы в основополагающие документы развития водохозяйственного комплекса Российской Федерации, включая Водную Стратегию, федеральную целевую программу и, как следствие, отражение в федеральном проекте "Оздоровление Волги" национального проекта "Экология", утвержденного проектным комитетом по национальному проекту "Экология" [2].

Целью федерального проекта является улучшение экологического состояния р. Волга и обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса Нижней Волги за счёт сокращения доли загрязнённых сточных вод, отводимых в р. Волга, и реализации комплекса мер по восстановлению водных объектов низовьев Волги, в том числе дополнительному обводнению р. Ахтуба.

Основные задачи, которые должен решить Федеральный проект:

- Сокращение в 3 раза доли загрязнённых сточных вод, отводимых в Волгу;
- Обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса Нижней Волги и сохранение уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы;
- Ликвидация объектов накопленного экологического вреда, представляющих угрозу р. Волга;
- Снижение негативного воздействия затонувших судов.

В рамках реализации федерального проекта "Оздоровление Волги" мероприятия по сохранению уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы выделены отдельным направлением [3, 4]. Так, до 2024 г. планируется осуществить:

- расчистку и экологическую реабилитацию водных объектов на площади более 1,4 тыс. га;
- строительство 72 водопропускных сооружений;
- строительство комплекса гидротехнических сооружений, обеспечивающего дополнительное обводнение Волго-Ахтубинской поймы.

Для минимизации деградации поймы, а также ее восстановления, взамен традиционно проводимым гидро-механизированным работам по расчистке трактов, ериков и озер поймы, принято принципиально новое решение, направленное на

комплексный подход к реабилитации непосредственно пойменной территории, а именно на:

- очистку водного объекта от камышовой растительности и удаление чужеродных видов древесно-кустарниковой растительности, угнетающих местную пойменную флору;

- формирование сложного рельефа дна с необходимыми глубинами и мелководьям, высадку деревьев и кустарников типичной пойменной флоры;

- формирование рекреационных качеств береговой полосы.

В 2020 г. завершены мероприятия по восстановлению и экологической реабилитации водных объектов на площади 594 га, что составляет 40 % от запланированного целевого показателя [4].

Учитывая важность и актуальность сохранения уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы [5], оптимальный режим которой зависит от продолжительности и объема поступающей воды, существует необходимость поддержания работоспособности существующих и строительства новых водопропускных сооружений, обеспечивающих заполнение сети трактов, ериков, озер и территории поймы [6].

На территории северной части Волго-Ахтубинской поймы расположено более 150 водопропускных сооружений. Техническое состояние подавляющего большинства водопропускных сооружений оценивается как неудовлетворительное и не обеспечивает максимально возможный пропуск воды в условиях осуществления специального весеннего попуска через Волгоградский гидроузел. В капитальном ремонте и реконструкции нуждаются свыше 60 % водопропускных сооружений.

В первом квартале 2021 года завершено строительство и введено в эксплуатацию 17 водопропускных сооружений, что составляет 24 % от запланированного целевого показателя.

Необходимо отметить, что мероприятия по расчистке и экологической реабилитации водных объектов, а также строительству и реконструкции водопропускных сооружений являются подготовительными мероприятиями, необходимыми для реализации масштабного проекта по дополнительному обводнению Волго-Ахтубинской поймы.

Величина годового объема стока р. Волга за период с 1881 по 2020 гг. изменилась незначительно, наиболее существенные изменения произошли во внутригодовом распределении стока [7], а именно, сток весеннего половодья уменьшился почти на 30 % по сравнению с естественными условиями, меженный сток, особенно зимняя межень, увеличился более чем в 2 раза.

Учитывая изложенное, благоприятное обводнение территории Волго-Ахтубинской поймы в период весеннего половодья в современных условиях не обеспечивается.

Для сохранения уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы необходимо проведение комплексных мероприятий, направленных на дополнительное обводнение территории в маловодные годы.

В настоящее время разработана проектная документация по объекту "Комплекс гидротехнических сооружений, обеспечивающий дополнительное обводнение Волго-Ахтубинской поймы" (рис. 2). Основной задачей указанного комплекса гидротехнических сооружений является переброска части стока Волгоградского водохранилища непосредственно в р. Ахтуба, минуя Волгоградский гидроузел, создание искусственного гидрологического режима на участке р. Ахтуба, обеспечивающего обводнение основных ериков и озер, а также пойменной территории.

Проектными решениями предусмотрено строительство комплекса в составе следующих основных сооружений: водоприемник, подводящий водопропускной канал

протяженностью 32 км, здание гидроэлектростанции, гидротехнические сооружения (плотины-регуляторы) на р. Ахтуба, а также насосная станция, предназначенная для подачи воды в Краснослободский водный тракт Волго-Ахтубинской поймы, берегоукрепительные сооружения на р. Ахтуба

Подводящий водопропускной канал способен пропускать расходы от 200 м³/сек (в меженный период) до 1 000 м³/сек во время весеннего половодья. Начало канала – с. Верхнепогромное, окончание – х. Заяр (Среднеахтубинский район Волгоградской области).



Рисунок 2 – Принципиальная схема дополнительного обводнения

В целях компенсации эксплуатационных затрат комплекса гидротехнических сооружений предусматривается строительство здания ГЭС установленной мощностью 31,2 МВт в х. Заяр.

Функционирование комплекса гидротехнических сооружений позволит поднять уровень воды на участке р. Ахтуба на 3 м от меженного уровня, а в паводковый период дополнительно на 4 м, что позволит обеспечить самотечную подачу воды на территорию поймы, накопление воды и ее перераспределение при необходимости на оптимизацию гидрологического режима Волго-Ахтубинской поймы в течение года.

Для решения главной задачи, помимо строительства гидротехнических сооружений, описанных выше, предполагается построить напорные сооружения на входе в основные ерики поймы (Пахотный, Бугроватый, Старая Ахтуба и Бугай).

Строительство комплекса гидротехнических сооружений обеспечит пополнение уровня грунтовых вод, основных водных объектов поймы в меженный период, а также минимизировать негативные факторы маловодных лет, при которых проведение нормативного весеннего половодья максимальными расходами 25000 – 27000 м³/с продолжительностью 5-7 дней затруднено или не представляется возможным [8].

Результатом выполнения данных мероприятий станет поэтапное восстановление естественного состояния пойменной территории, создание сбалансированной экосистемы с действующим механизмом самоочищения, кроме того позволит после весеннего половодья обеспечить использование ранее восстановленных аккумулирующих емкостей водных объектов для увеличения площадей орошаемых земель для возделывания например дефицитных овощных культур.

Список литературы

1. Шепель П.А. Паводок и пойма. Волгоград, Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1986. 240 с.

2. Национальный проект "Экология", утвержден Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16).

3. Федеральный проект "Оздоровление Волги", утвержден протоколом заседания проектного комитета по национальному проекту "Экология" от 21 декабря 2018 г. № 3.

4. Государственная программа Волгоградской области "Использование и охрана водных объектов, предотвращение негативного воздействия вод на территории Волгоградской области", утверждена постановлением Правительства Волгоградской области от 30.08.2013 г. № 453-п.

5. Сазонов В.Е., Истомин А.П., Калюжная Н.С., Калюжная И.Ю. Методологические и правовые аспекты восстановления и экологической реабилитации водных объектов (на примере Волго-Ахтубинской поймы) // Грани познания 2015. 4(38). - С. 9-19. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23437889>.

6. Истомин А.П. Охрана, сохранение водных ресурсов уникальной системы Волго-Ахтубинской поймы // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования. Материалы Междунар. науч.-практ. Кконф.. 2017. С 59-70. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29814203>.

7. Горелиц О.В., Ермакова Г.С., Терский П.Н. Гидрологический режим Нижней Волги в современных условиях. // Метеорология и Гидрология, 2018, № 10. С.27-39.

8. Основные правила использования водных ресурсов Волгоградского водохранилища на р. Волге. М., 1983 (РВ – 261-83).

ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ В XXI ВЕКЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ*

Белякова С.А.¹, Сидорова М.В.²

¹ «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

² Институт географии РАН, г. Москва
E-mail: belyakova-sv98@mail.ru

Аннотация: В статье исследуются возможные изменения среднесуточного речного стока р. Западная Двина в 21 веке. Анализ основан на проекциях будущего климата, ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project), наиболее достоверно отражающих региональный климат. Согласно сценариям RCP4.5 и RCP 8.5, ожидается незначительное увеличение осадков и сумм положительных температур. Изменения среднесуточного стока на территории бассейна р. Западная Двина по обоим сценариям статистически незначимы как к середине, так и к концу 21 века.

Ключевые слова: Западная Двина, изменения климата, МОЦАО, речной сток.

THE IMPACT OF REGIONAL CLIMATE CHANGES ON THE WESTERN DVINA RIVER RUNOFF IN THE 21st CENTURY

Belyakova S.A.¹, Sidorova M.V.²

¹ "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev", Moscow,

² Institute of Geography RAS

* Работа выполнена в рамках государственного задания 0148-2019-0007.

Abstract: The article investigates possible changes in the mean annual river flow of the Zapadnaya Dvina River in the 21st century. The analysis is based on the future climate projections of the Atmospheric and Oceanic General Circulation Model (AOGCM) ensemble of the CMIP5 project (Coupled Model Intercomparison Project), which most reliably represent the regional climate. According to scenarios RCP4.5 and RCP 8.5, a slight increase in precipitation and sums of positive temperatures is expected. According to both scenarios, changes in the mean long-term runoff in the territory of the Zapadnaya Dvina river basin are statistically insignificant both by the middle and by the end of the 21st century.

Key words: Western Dvina, climate change, AOGCM, river flow.

Введение. Западная Двина является трансграничной рекой, протекая по территории Российской Федерации, Республики Беларусь и Латвии. Водные ресурсы исследуемой реки представляют большую ценность для стран побережья Балтийского моря. Поэтому оценка возможных изменений среднемноголетнего стока Западной Двины представляют большой интерес для долгосрочного стратегического планирования соглашений по совместному использованию водных ресурсов реки странами, находящимися в ее бассейне. Современное потепление приводит к изменениям компонентов гидрологического цикла [1]. До настоящего времени методы оценок изменений стока на долгосрочные периоды были основаны на результатах статистического анализа данных многолетних наблюдений за характеристиками стока рек в предположении стационарности их многолетних изменений. В связи с происходящими и ожидаемыми климатическими изменениями требуется разработка новых подходов к оценке водных ресурсов в будущем [2]. Наиболее разработанным инструментом, учитывающим различные сценарии глобального антропогенно-обусловленного изменения климата, являются глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана. Оценки изменений стока по данным МОЦАО проводились для Российской [3], и Белорусской частей бассейна [4]. На основе данных климатического моделирования консорциума EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment for Europe) был также выполнен прогноз изменений стока для всей территории бассейна [5].

Материалы и методы исследования. В работе [6] показано, что использование ограниченного числа характеристик, предоставляемых МОЦАО, а именно, осадков (P) и температуры (T), способствует более точной оценке будущих изменений стока и его характеристик, чем прямые данные выданных МОЦАО. В этом исследовании представлена оценка возможных изменений стока половодья в 21 веке (с использованием двух периодов: «середина» века с 2041 по 2060 гг., обозначенная как 2050, и «конец» века – с 2081 по 2100 гг., обозначенная как 2100), по данным МОЦАО из проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), по двум сценариям выбросов парниковых газов: среднему (RCP 4.5) и более жесткому (RCP 8.5), согласно [7]. Из 35 моделей проекта CMIP5 были отобраны 11 по принципу наилучшего воспроизведения современных характеристик климата на территории Восточно-Европейской равнины. Учитывая сказанное выше, для расчетов среднемноголетнего речного стока были использованы только основные показатели климатических условий его формирования, смоделированные на МОЦАО – годовая сумма осадков P и сумма среднемесячных положительных температур воздуха T_0 . (сумма среднемесячных температур (T_{cp}) за те месяцы, в которые $T_{cp} > 0$).

В качестве основы для расчета средних многолетних величин годового стока принят общеизвестный метод водного баланса в виде [8 и многие другие]:

$$\bar{Y} = \bar{P} - \bar{E},$$

где \bar{Y} , \bar{P} , \bar{E} – средние многолетние величины (мм) стока, осадков и испарения с поверхности бассейнов. Расчет испарения \bar{E} сведен к оценкам по уравнению связи $\bar{E} = E(\bar{P}, \bar{E}_0)$, где E_0 – испаряемость. Испаряемость, в свою очередь, определяется по

эмпирической зависимости от суммы положительных температур воздуха T_0 . В практике расчетов среднего многолетнего испарения это довольно шаблонный прием.

Для аппроксимации эмпирических зависимостей $E = E(P, E_0)$ использована функция Гюрк-Мезенцева [7] в виде:

$$\frac{E}{E_0} = (1 + J^n)^{-1/n}$$

где $J = E_0/P$ – «индекс сухости», а n – отражает влияние физико-географических факторов (ландшафтных условий) на процессы испарения и стока и призван учитывать гидравлические условия формирования стока.

Исходными данными, отражающими современные климатические условия, послужили данные о месячных суммах осадков, температур и испаряемости из глобального архива CRU TS 4.05 (Climatic Research Unit, Time Series) пространственного разрешения $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, подготовленного в Университете Восточной Англии. Архивы семейства CRU TS основаны на данных о наблюдении суммарных месячных осадков из национальных метеорологических служб. При прогнозе были

использованы относительные величины $\Delta T_{0,mod} = T_{mod,2050} - T_{mod,b}$ и $\Delta P_{mod} = P_{mod,2050} - P_{mod,b}$. Для осадков P использовано также отношение:

$$K_{mod} = \frac{P_{mod,2050}}{P_{mod,b}}$$

Такой подход позволяет избежать систематических ошибок, которые могут содержать модельные данные.

Результаты и обсуждение. Результаты по эксперименту с ансамблем 11 МОЦАО в целом согласуются с работами большинства авторов, проводивших исследования возможных изменений стока по реализациям МОЦАО для территории бассейна Западной Двины. По обоим сценариям, среднему (RCP 4.5) и более жесткому (RCP 8.5), в 21 веке ожидается незначительное увеличение суммы положительных среднемесячных температур, увеличивающееся к концу века: при использовании более жесткого сценария – в диапазоне от 19,5 до 46,5°C. При этом МОЦАО демонстрируют некоторое увеличение осадков на данной территории на 9-10% к «середине» 21 века и до 11-16% – к «концу» 21 века. Эти характеристики уравнивают друг друга в многолетнем водном балансе бассейна, и речной сток практически не изменяется. Возможны незначительные разнонаправленные изменения стока. По сценарию RCP 4.5 (рис.1) возможно незначительное увеличение стока в верхней части бассейна и столь же незначительное снижение стока в нижней.

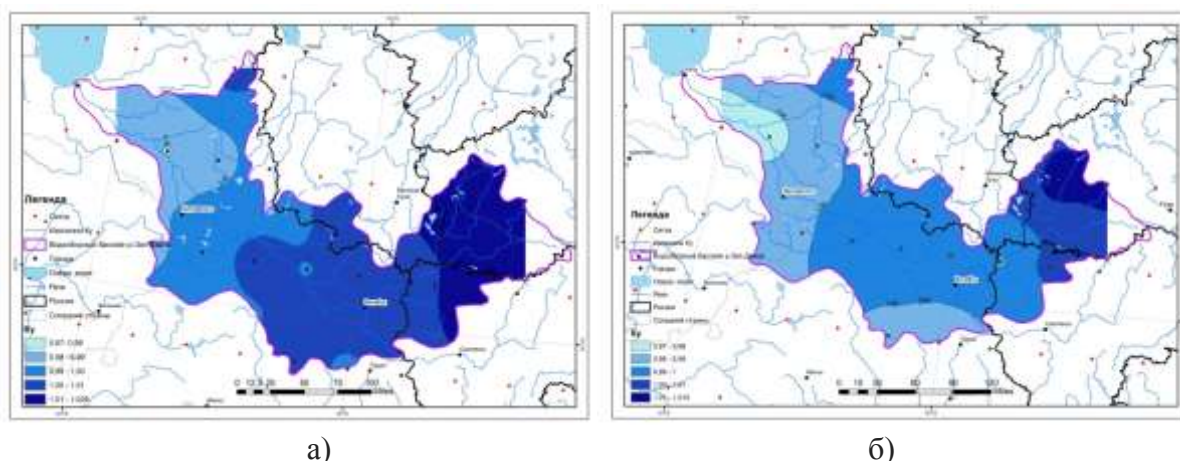
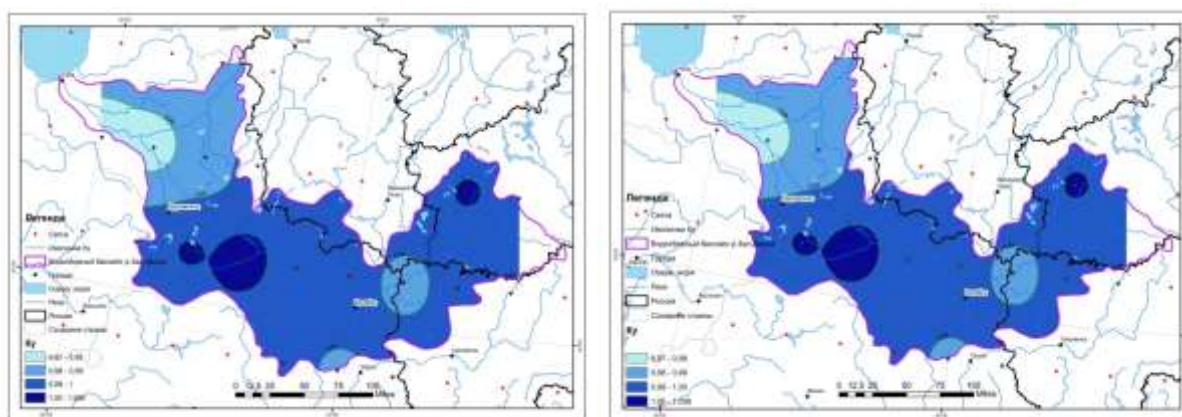


Рисунок 1 - Среднеголетний сток р. Западная Двина в 21 веке, относительно современного периода по сценарию RCP 4.5 (а – «середина 21 века»; б – «конец 21 века»)

По сценарию RCP 8.5 (рис.2) географическая картина изменений более сложная, однако их степень столь же незначительна. С точки зрения использования водных ресурсов, данная картина обнадеживает, однако следует отметить, что современные изменения климата чаще приводят к перераспределению внутригодового стока, что также необходимо учитывать при хозяйственном планировании. Об этом также пишут и упомянутые выше авторы, что ставит задачи для продолжения исследований в данной области. Помимо этого, нужно учитывать и антропогенную составляющую изменений стока, которая для многих рек носит более заметный характер, по сравнению с климатическими изменениями. Сделанный прогноз и ему подобные разработки следует понимать как некоторую, приближенную оценку возможных последствий антропогенно обусловленного потепления климата.



а)

б)

Рисунок 2 - Среднегодовой сток р. Западная Двина в 21 веке, относительно современного периода по сценарию RCP 8.5 (а – «середина 21 века»; б – «конец 21 века»)

Заключение. В работе приведена оценка возможных изменений среднегодового речного стока р. Западная Двина в 21 веке по данным 11 моделей общей циркуляции атмосферы и океана. Среднегодовой речной сток оценен на основе уравнения Тюрк-Мезенцева на основе данных выдач МОЦАО об осадках и температуре, поскольку данная схема имеет преимущество, по сравнению с непосредственными данными МОЦАО о стоке. Исследования показали, что в 21 веке возможно некоторое увеличение сумм положительных температур и осадков на территории бассейна р. Западная Двина. Изменения речного стока незначительны и не превышают 10%, то есть могут рассматриваться как статистически незначимые. Полученные данные согласуются с работами других исследователей по данной территории, что несколько увеличивает уверенность в результатах.

Список литературы

1. Huntington T.G. 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis // Journal of Hydrology. 319. С. 83–95.
2. Георгиевский М. В., Голованов О. Ф. Прогнозные оценки изменений водных ресурсов крупнейших рек Российской Федерации на основе данных по речному стоку проекта CMIP5 // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2019. Т. 64. №. 2.

3. Казачук А. А., Терский П. Н. Оценка изменений водного баланса р. Западной Двины под воздействием изменения климата в XXI веке // IV Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. 2020. С. 84-89.
4. Волчек, А. А. Прогноз изменения водных ресурсов Беларуси с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в 5 томах). Т. 2. Изучение и мониторинг процессов в почвах и водных объектах / под ред. акад. РАН В. Г. Сычева, Л. Мюллера. М. : ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. С. 340–344.
5. Курочкина Л. С., Журавлев, С. А., Данилович, И. С., Квач, Е. Г. и др. Модельные оценки климатообусловленных изменений характеристик стока р. Западной Двины // III Виноградовские чтения. Грани гидрологии. 2018. С. 749-753.
6. Sidorova M. V., Kashutina E. A., Cherenkova E. A. Impact of regional climate changes on the emergence of extremely dry years in European Russia in the 21st century // Water Resources Management: Methods, Applications and Challenges. Water Resource Planning, Development and Management. United States: 2020. P. 1–34.
7. Man Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt G. C., Kram T., Krey V., Lamarque J. F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S. J., and Rose S. K. 2011. “The representative concentration pathways: an overview.” Climatic change 109(1-2):5 doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.
8. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Гидрометеиздат, 1969.

МИКРОПЛАСТИК В АЗОВСКОМ МОРЕ: УРОВЕНЬ НАКОПЛЕНИЯ В АЭРОЗОЛЯХ, ВОДЕ, ДОННЫХ И ПЛЯЖЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Беспалова Л.А.^{1,2}, Глушко А.Е.²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр» (ФГБУ РОСИНИВХЦ), г. Ростов-на-Дону

² Южный федеральный университет (ЮФУ), г. Ростов-на-Дону
E-mail: arinaglushko01@gmail.com

Аннотация: Целью данного исследования является оценка степени загрязнения микропластиком и особенностей его пространственного распределения в средах Азовского моря. Определены основные морфологические и морфометрические характеристики частиц (размер, цвет, форма и тип полимера) в аэрозолях, воде, пляжевых и донных отложениях, а также возможные источники их поступления. Идентификация микропластика проводилась по модифицированному методу NOAA. Пластиковый мусор присутствует в 100 % отобранных образцов аэрозолей, донных и пляжевых отложений, и в 96,3 % проб воды. С помощью стереомикроскопа Микромед МС-1 вар. 2С Digita 1 установлено, что пластиковые частицы преобладают в виде полупрозрачных волокон, размером 1-0,6 мм. В результате анализа частиц микропластика на ИК-Фурье спектрометре JASCO FT/IR-6800 определен тип полимера. В основном это - полиэтилен, полипропилен, полиэстер, полиамид (нейлон) и др.

Ключевые слова: микропластик, морфология и морфометрия частиц, аэрозоли, донные и пляжевые отложения, Азовское море.

MICROPLASTICS IN THE SEA OF AZOV: THE LEVEL OF ACCUMULATION IN AEROSOLS, WATER, BOTTOM AND BEACH SEDIMENTS

Bespalova L. A.^{1,2}, *Glushko A. E.*²

¹ Federal State Budgetary Institution "Russian Information-Analytical and Research Water Management Center" (FSBI ROSINIVKHTS), Rostov-on-Don

² Southern Federal University (SFU), Rostov-on-Don

E-mail: arinaglushko01@gmail.com

Abstract: The purpose of this study is to assess the degree of contamination by the microplastics and the characteristics of its spatial distribution in the Azov Sea environments. The main morphological and morphometric features of the particles (size, color, shape, and type of polymer) are defined in aerosols, water, bottom and beach sediments, as well as possible sources of their arrival. The samples were processed using the modified method NOAA. The analysis showed pollutant's presence in 100 % of the samples of aerosols, bottom and beach sediments, and in 96,3% of water samples. Using a Micromed MC-1 2C Digital stereo microscope it was found that plastic particles in it was the form of translucent fibers, 1-0,6 mm in size predominate. As a result of the analysis of microplastics particles on the JASCO FT/IR-6800 infrared Fourier spectrometer, the type of polymer was determined. These are mainly polyethylene, polypropylene, polyester, polyamide (nylon), etc.

Keywords: Microplastics, morphological features, morphometric features, aerosols, bottom and beach sediments, Sea of Azov.

Пластиковое загрязнение морской среды и прибрежных районов является общемировой проблемой, что в последние годы было хорошо задокументировано [1-6]. Темпы мирового производства пластиковых изделий к 2019 г. достигли 368 млн. т. в год [7], что привело к увеличению количества пластиковых отходов, особенно вдоль густонаселенных побережий. Значительная часть таких отходов, в результате ненадлежащей утилизации, попадает в Мировой океан. Под воздействием различных условий окружающей среды более крупные пластиковые частицы распадаются на мелкие части. Микропластиком называют частицы менее 5 мм [8]. В Азовское море, вследствие интенсивной туристической деятельности, воздействию крупных городов (Ростов-на-Дону, Азов, Таганрог, Ейск), рыболовства, морского транспорта, попадает большое количество бытовых отходов, в том числе и микропластик.

Материалы и методы

Отбор проб пляжевых отложений проводился на 19 пляжах с поверхностного слоя на площади 50 × 50 см в 3-х точках: на тыльной стороне пляжа, на линии максимального штормового заплеска и на урезе. Всего на побережье Азовского моря отобран и проанализирован 171 образец из 19 районов.

Донные отложения добывались дночерпателем Петерсена, всего было отобрано 27 проб (рис. 1) объемом 3 л каждая. В лаборатории отобранный образец гомогенизировали и 500 г материала использовали для дальнейшего анализа. Пробы воды отбирались на поверхности объемом 1 л каждая, всего было отобрано 27 проб (рис.1). Атмосферные выпадения (аэрозоли) улавливали путем экспонирования кюветов с дистиллированной водой на 5 станциях, в городах, расположенных по периметру Азовского моря (г. Таганрог, г. Приморско-Ахтарск, г. Керчь, г. Ейск, станица Тамань). Время экспонирования составляло 24 часа.

Для идентификации микропластика в лабораторных условиях был применен модифицированный метод NOAA, включающий следующие этапы: просеивание,

плотностное разделение, фильтрование, очистку проб от органического материала, сушку и идентификацию микропластика с помощью микроскопа [9].

Степень деградации обнаруженных частиц микропластика исследовалась при помощи растрового электронного микроскопа VEGA II LMU. Тип полимеров обнаруженных частиц микропластика, являющихся репрезентативными в каждой группе, исследовался с помощью ИК-Фурье спектрометра JASCO FT/IR-6800. Полученные спектры сравнивали со спектральными библиотеками прибора для проверки типа полимера.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что пластиковый мусор присутствует в 100 % отобранных проб аэрозолей, донных и пляжевых отложений, и в 96,3 % проб воды. Согласно полученным результатам, среднее содержание микропластика в 1 л воды составляет 2,5 шт./л, в аэрозолях – 387,6 шт./м² в сутки, в пляжевых отложениях – 52 шт./м² и в донных осадках – 68 шт./кг. (рис. 1). Наиболее высокое содержание микропластика в воде (4-6 шт./л) и донных отложениях (96-130 шт./кг сухого осадка) отмечается в прибрежных районах моря, на взморье Дона, в районе Керченского пролива.

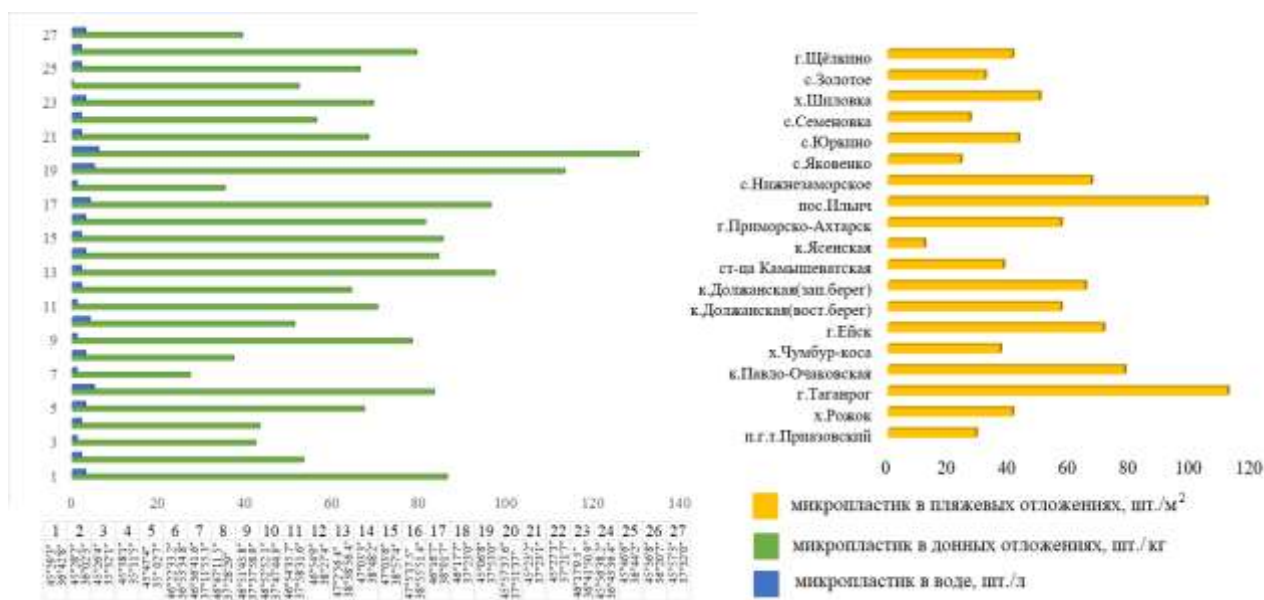


Рисунок 1 – Содержание микропластика в воде, пляжевых и донных отложениях Азовского моря

Морфология обнаруженных в Азовском море частиц микропластика, не отличается большим разнообразием. Повсеместно преобладают, пленки и ломаные фрагменты пластика различной толщины. Основной формой частиц были прямые или изогнутые синтетические волокна (рис.2). Также были обнаружены пленки и ломаные фрагменты пластика различной толщины.

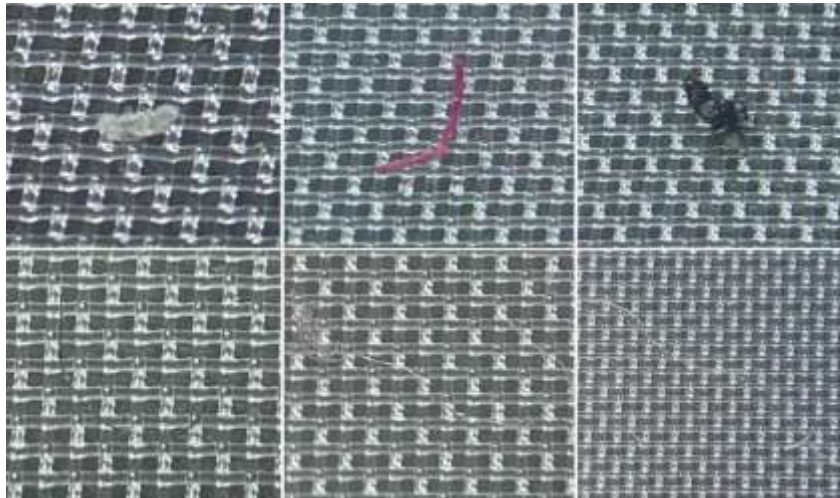


Рисунок 2 – Морфология и цвет обнаруженных частиц (фото со стереомикроскопа Микромед МС-1 вар. 2С Digital)

Цветовая гамма микропластика представлена большим количеством бесцветных, белых, черных, синих, красных, зеленых и др. частиц. Наиболее разнообразен микропластик обнаруженный в пробах воды. В целом повсеместно преобладают прозрачные частицы 63,2, 83,7 и 90 % в воде, пляжевых и донных отложениях соответственно (рис. 3).

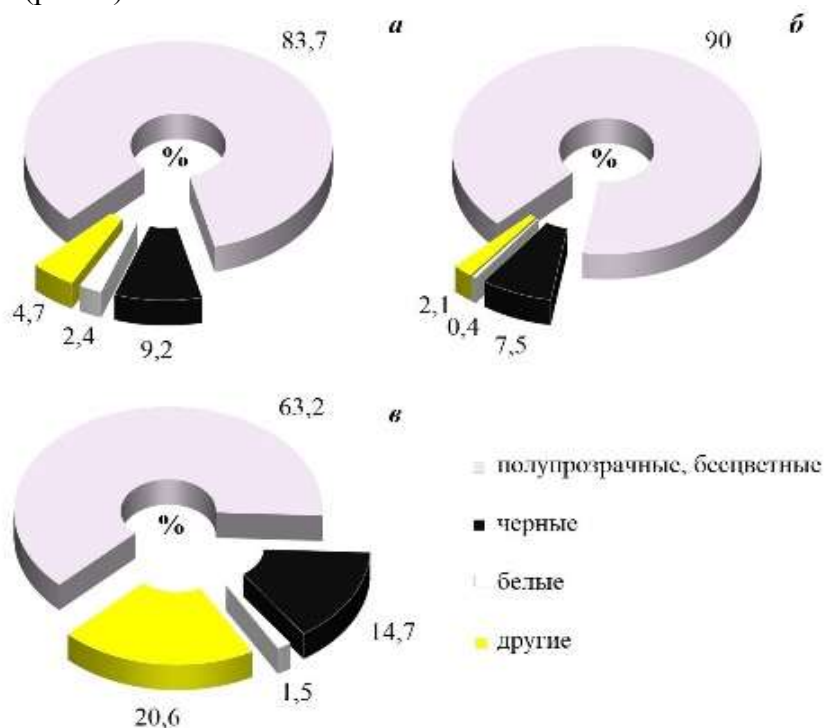


Рисунок 3 – Цветовая гамма микропластика в воде (а), пляжевых (б) и донных (в) отложениях Азовского моря, %

Исследования размерного ряда микропластика показали, что наиболее крупные частицы, были обнаружены в пробах аэрозолей и воде. Согласно анализу среднестатистических характеристик ряда частиц, средний размер (\bar{x}) микропластика, обнаруженного в аэрозолях, воде, пляжевых и донных отложениях, достигает 1 мм, 0,9 мм, 0,6 мм и 0,6 мм соответственно (рис.4).

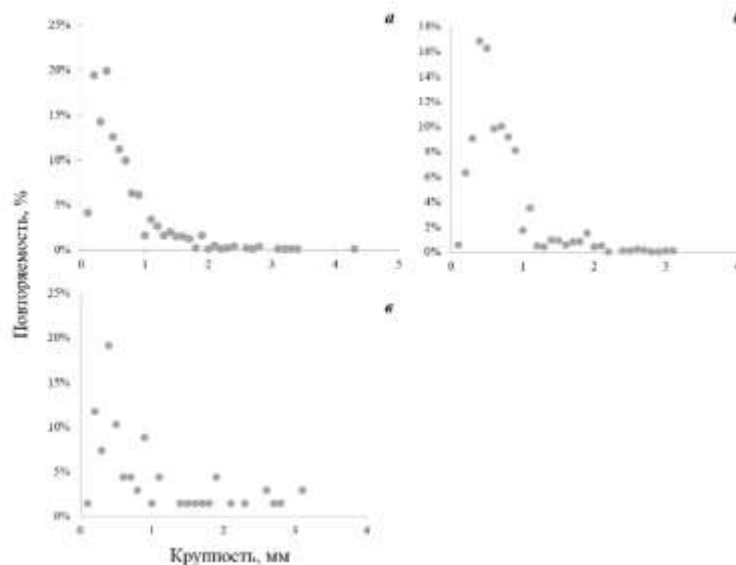


Рисунок 4 – Распределение частиц микропластика по крупности в пляжевых (а), донных отложениях (б) и в воде (в), %

Исследования 30 типичных образцов обнаруженного микропластика при помощи растрового электронного микроскопа (VEGA II LMU), позволили определить различные виды деградации частиц: расслаивание, растрескивание, расщепление, и др. (рис. 5).

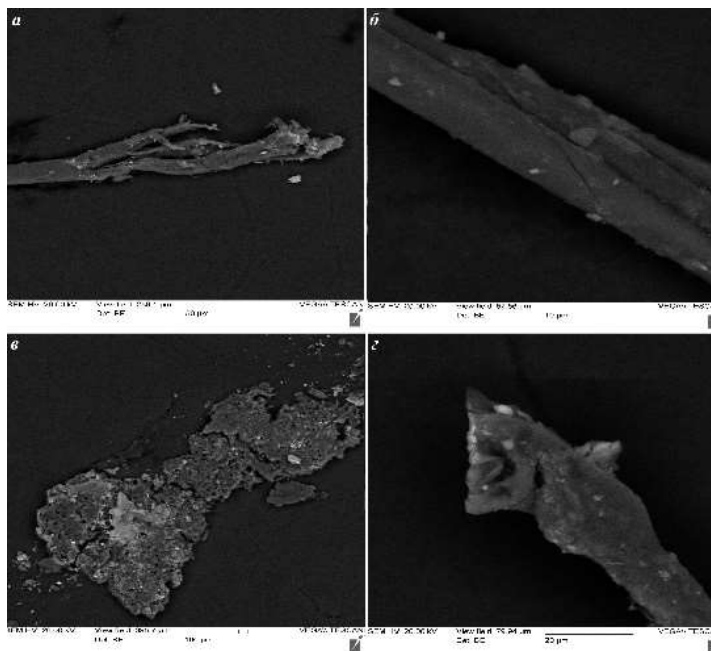


Рисунок 5 – Виды деградации частиц микропластика (фото с растрового электронного микроскопа VEGA II LMU производства фирмы Tescan): расслаивание (а), растрескивание (б), расщепление (в), расщепление (г)

На ИК-Фурье спектрометре JASCO FT/IR-6800 идентифицировано 6 типов полимеров, из которых, в основном, состоял собранный микропластик: полистирол, полиэтилен, полипропилен, полиамид (нейлон), термопластичные полимеры (рис. 6). В результат исследования были включены только спектры, совпавшие со спектрами библиотеки прибора более чем на 80 %.

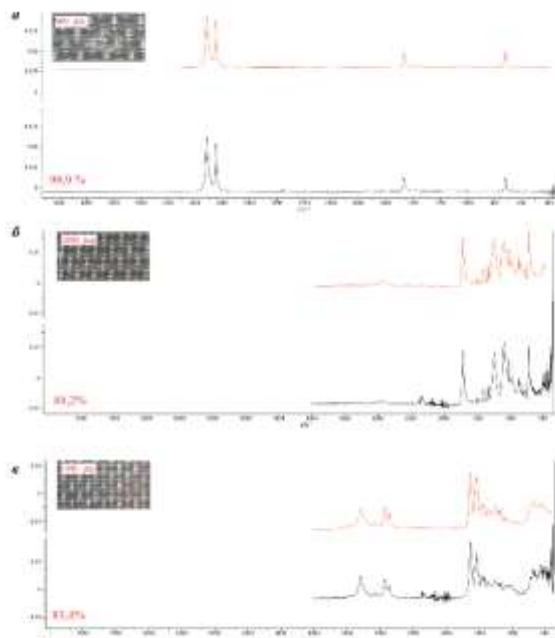


Рисунок 6 – Идентификация микропластика с помощью м-FT-IR. Состав обнаруженных частиц: полиэтилен (а), полиэстер (б), полиамид (нейлон) (в). Значения в процентах указывают на совпадение спектров с библиотекой прибора.

Выводы

Проведенные исследования показали, что пластиковый мусор присутствует в 100 % отобранных проб аэрозолей, донных и пляжевых отложений, и в 96,3 % проб воды. С помощью пространственного анализа определено, что зоной наибольшей концентрации микропластика является восточная прибрежная зона Азовского моря, взморье Дона, Керченское предпроливье. Наибольшее количество частиц обнаружено в аэрозолях (в среднем 561 шт./м² в сутки) и пляжах г. Таганрог (130 шт./м²).

Морфологические и морфометрические особенности обнаруженных частиц характеризуются преобладанием бесцветных волокон и пленок. Средний размер микропластика составляет 1 мм (в аэрозолях), 0,9 мм (воде), 0,6 мм (в пляжевых и донных отложениях). В результате исследований типичных образцов были выявлены такие виды деградации частиц микропластика как: расслаивание, растрескивание, расщепление и др. Идентификацией микропластика с помощью FT-IR установлены следующие полимеры, обнаруженные в Азовском море: полистирол, полиэтилен, полипропилен, полиамид (нейлон), термопластичные полимеры.

Список литературы:

1. Bagaev A., Mizyuk A., Khatmullina L., Isachenko I., Chubarenko I. Anthropogenic fibres in the Baltic Sea water column: field data, laboratory and numerical testing of their motion // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 599–600. P. 560–571. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.185
2. Zobkov M., Esiukova E. Microplastics in Baltic bottom sediments: quantification procedures and first results // *Marine Pollution Bulletin*. 2017. Vol. 114, iss. 2. P. 724–732. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.10.060
3. Глушко А. Е., Беспалова Л. А. Микропластик в пляжевых отложениях Азовского моря: морфологические и морфометрические особенности // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2021. № 1. С. 99–110. doi:10.22449/2413-5577-2021-1-99-110
4. Глушко А.Е., Беспалова Л.А., Петько А.В., Шехурдин Г.Г. Загрязнение пляжей и прибрежных вод Азовского моря микропластиком // *Закономерности*

формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления – II»): Материалы II Междунар. науч. конф. памяти чл.-кор. РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.). Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН, 2020. С. 154–157.

5. Chunfang Zhang, Hanghai Zhou, Yaorong Cui, Chunsheng Wang, Yanhong Li, Dongdong Zhang. Microplastics in offshore sediment in the Yellow Sea and East China Sea, China // *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 244. P. 827–833. doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.102

6. Анциферова М.А., Глушко А.Е. Загрязнение микропластиком атмосферы г. Таганрог. *Общество*. 2021. 1(20): С 65–69.

7. Plastics – the Facts 2020. PlasticsEurope. URL: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plasticsfacts-2020>

8. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AW, McGonigle D, Russell AE. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*. 2004, May 7; 304(5672):838. doi: 10.1126/science.1094559. PMID: 15131299.

9. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments / J. Masura [et al.]. Silver Spring : NOAA Marine Debris Division, 2015. 31 p. (NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48). URL: https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publicationsfiles/noaa_microplastics_methods_manual.pdf (date of access: 16.02.2021).

ТРАНСГРАНИЧНОЕ ОЗЕРО ХАНКА: ПРИЧИНЫ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКОВ ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Болгов М.В.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

E-mail: bolgovmv@mail.ru

Аннотация. Для объяснения причин аномальных колебаний уровня воды в оз. Ханка выполнены гидрологические и водохозяйственные расчеты. На основе результатов имитационного моделирования показано существенное влияние мероприятий, реализуемых на китайской части водосбора озера, на уровень озера, и в частности, на затопление прибрежных территорий.

Ключевые слова. Озеро Ханка, затопление территорий, водный баланс, переброска стока, гидродинамическая модель, имитационные эксперименты.

TRANSBOUNDARY HANKA LAKE: CAUSES OF EXTREME LEVELS AND POSSIBLE MEASURES TO REDUCE RISKS FROM FLOODING

Bolgov M.V.

Institute of water problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. To explain the reasons for the abnormal fluctuations in the water level in Lake Hanka, hydrological and water management calculations were carried out. Based on the results of simulations, the significant impact of measures implemented on the Chinese part of the lake catchment, on its level regime, and in particular on flooding, is shown.

Keywords. Lake Khanka, flooding of territories, water balance, flow transfer, hydrodynamic model, simulation experiments.

Введение. Режим многолетних колебаний уровня малопроточных внутренних водоемов характеризуется слабо предсказуемой динамикой. Примером такого рода водоема является трансграничное российско-китайское оз. Ханка, расположенное на

Дальнем Востоке РФ (рис.1). Основной причиной плохо предсказуемых колебаний уровня этого озера являются случайные колебания так называемых побуждающих процессов (речного притока, осадков и испарения), временная изменчивость которых характеризуется наличием циклов или группировок лет повышенной или пониженной водности (или испарения).



Рисунок 1 - Карта расположения озера Ханка (слева, www.rusatlas.ru) и последствия подъема уровня на побережье озера (справа)

Сложность вероятностной задачи заключается в том, что последовательность объемов воды в озере не является последовательностью независимых случайных величин. Во временных рядах уровней озера, за счет интегрального эффекта, с большой вероятностью могут наблюдаться, на первый взгляд, необъяснимые, продолжительные периоды высокого или низкого стояния. Проблема заключается в том, что объем имеющихся последовательностей инструментально наблюдаемых уровней озера недостаточен для получения надежных оценок параметров вероятностных моделей, поэтому для выяснения вероятного диапазона колебаний уровня необходимо динамико-стохастическое моделирование водного баланса, позволяющее учесть нелинейный характер морфометрических и гидравлических зависимостей, вероятностные модели стока и испарения и получить расчетные оценки для различных сценариев изменений климата и антропогенной деятельности на водосборе.

Важным фактором, влияющим на гидрологический режим озера, является антропогенное изменение водных ресурсов, наблюдаемое на водосборе оз. Ханка в результате развития орошаемого земледелия, в особенности на китайской части бассейна. Возделывание риса, а это основная сельскохозяйственная культура в рассматриваемом регионе, требует гарантированной подачи очень большого количества воды, что достигается за счет создания сложных технических систем переброски стока и его отведения.

Современное состояние водохозяйственной обстановки в бассейне. Водосбор трансграничного оз. Ханка расположен на территории Приморского края России (большая часть) и Китайской провинции Хейлунцзян. Вытекающая из озера р. Сунгача является притоком трансграничной р. Уссури. Основное питание озеро получает за счет дождевых осадков как в виде поверхностного притока, так и осадков, выпадающих непосредственно на водную поверхность. Особенностью режима озера является то, что среднегодовое количество осадков с водной поверхности примерно равно количеству осадков, выпадающих на водную поверхность, и корреляция между этими величинами отсутствует. Озеро неглубокое, и вдольбереговой транспорт наносов, осуществляющийся в форме кос и гряд, может существенно изменять условия стока воды из озера [1]. Комплекс естественных

факторов, обусловленных вариациями климата, а также антропогенное влияние в виде объема забираемых и дополнительно сбрасываемых вод, приводят к возникновению условий, способствующих аномальному росту уровня воды озера.

Анализ многолетних колебаний уровня воды в озере показывает, что высокие стояния уровня в озере наблюдались регулярно на протяжении более 100 лет наблюдений, но последний подъем уровня является наибольшим за весь инструментальный период и привел к значительным ущербам на прибрежных территориях (рис. 1).

Речной приток к оз. Ханка получен в [2] по данным о стоке впадающих рек на российской части бассейна. Колебания стока носят стационарный характер, имеют малый коэффициент автокорреляции и повышенный коэффициент вариации. Дождевые осадки на водную поверхность оз. Ханка являются важной составляющей баланса озера, поскольку площадь водной поверхности велика (около 4000км^2). Во временном ходе годовых сумм осадков нарушения стационарности не обнаруживаются. Испарение с водной поверхности оз. Ханка оценивается с большей погрешностью, так как данная величина непосредственно на озере не измеряется. Результаты наблюдений за испарением позволяют говорить о наличии заметного тренда на снижение в последние 30 лет.

Расчеты, выполненные в ГГИ с помощью различных полуэмпирических методов, эту особенность подтвердили, при этом в качестве основного фактора снижения испарения отмечено снижение скорости ветра в регионе. Весьма приближенно определяемой характеристикой баланса озера является годовой сток трансграничной р. Сунгача, вытекающей из оз. Ханка. Наблюдения за стоком реки крайне нерегулярны и ограничены эпизодическими измерениями расходов. Сток р. Сунгача определяется также отметкой бара в истоке, т.е. пропускной способностью данного участка русла [1]. Колебания стока из озера, в целом, следуют колебаниям уровня воды в озере.

Использование водных ресурсов на китайской части бассейна оз. Ханка и р. Мулинхэ. Созданная на территории КНР система использования водных ресурсов на оз. Ханка, Малая Ханка и р. Мулинхэ предназначена для борьбы с наводнениями и для обеспечения водой рисовых оросительных систем (РОС), площадь которых составляет в этом регионе более 0,66 млн га. Водохозяйственная система включает: 1) вододельитель на р. Мулинхэ; 2) канал Мусин, подающий воду из р. Мулинхэ в район расположения РОС, и бассейн Малой Ханки; 3) распределительное водохранилище; 4) два сбросных канала, отводящих воду из водохранилища на РОС и в р. Сунгача; 5) оз. Малая Ханка, используемое как водоем-накопитель; и 6) три гидротехнических сооружения (ГТС) на перешейке между оз. Малая Ханка и оз. Ханка, осуществляющие сброс излишков воды и перекачку воды из оз. Ханка в Малую Ханку.

Вододеление осуществляется с помощью регулирующего сооружения на р. Мулинхэ и канала Мусин, по которому вода этой реки направляется в сторону оз. Ханка. Основное назначение вододельителя – подача воды в систему водохранилищ, включая оз. Малая Ханка, для дальнейшего использования на оросительных системах, а также защита от затопления территорий в бассейне р. Мулинхэ ниже вододельителя при прохождении дождевых паводков. Озеро Малая Ханка отделено от оз. Ханка перешейком, на котором расположены туристические базы, причалы, рыболовецкие хозяйства, автомобильная дорога, а также три гидротехнических сооружения (ГТС), регулирующие водообмен между озерами (водосбросы и насосные станции, рис.2).



Рисунок 2 - Насосная станция (слева) и сбросное сооружение (справа) на перешейке,отделяющем оз. Малая Ханка от оз. Ханка

Приходными составляющими водного баланса оз. Малая Ханка являются: осадки на водную поверхность, сток с собственной водосборной территории, переброска стока из р. Мулинхэ по каналу Мусин, закачка воды насосными станциями из оз. Ханка при недостатке воды в озере для водообеспечения оросительных систем. Расходные составляющие баланса: испарение с водной поверхности, забор воды в оросительные системы, а также сбросы в оз. Ханка при росте уровня воды выше критического значения.

Имеющиеся сведения о конструктивных решениях системы переброски стока позволяют сделать вывод о том, что оз. Малая Ханка выполняет функцию водоема-накопителя (регулятора) для водоснабжения рисовых оросительных систем. Вместе с тем наличие водосбросных сооружений общей пропускной способностью до 200 м³/с свидетельствует о том, что китайской стороной они предназначены для сброса именно паводковых вод р. Мулинхэ, т.к. собственный водосбор оз. Малая Ханка очень мал, и сток с него не может достигать таких больших значений.

Анализ функционирования существующей водохозяйственной системы КНР на оз. Ханка с использованием стока р. Мулинхэ и имеющиеся характеристики ГТС указывают на то, что возможно заметное негативное воздействие этой системы на уровень режим оз. Ханка. В условиях лет средней водности забираемый из р. Мулинхэ сток в размере около 700 млн. м³ в год полностью расходуется на нужды рисосеяния. На баланс оз. Ханка этот объем может не оказывать влияния, поскольку сбросы с орошаемых массивов осуществляются, в основном, в р. Сунгача, а дополнительная закачка из оз. Ханка не осуществляется. При пониженной водности р. Мулинхэ можно предположить, что собственных водных ресурсов в сложившихся условиях будет недостаточно для обеспечения нужд орошения, в результате чего осуществляется забор воды из оз. Ханка в оз. Малая Ханка с помощью насосных станций, максимальная производительность которых 100 м³/с. В многоводные годы из р. Мулинхэ в канал Мусин будет поступать повышенный расход воды. Можно предположить, что во избежание затопления орошаемых массивов и селитебных территорий, все излишки воды китайской стороной будут сбрасываться в оз. Малая Ханка, а оттуда, через сбросные ГТС – в оз. Ханка. Как отмечено выше, величина сброса может достигать 200 м³/с.

Методика решения задачи оценки вероятностных характеристик уровня озера

Для планирования технических мероприятий на озере и его водосборе в целях управления его уровнем режимом необходимы вероятностные характеристики уровня на долгосрочный период. Эффективным методом получения таких характеристик является динамико-стохастическое моделирование колебаний уровня водоема на основе уравнения водного баланса и вероятностных моделей колебаний его составляющих – притока, осадков и испарения. Сток из озера является функцией уровня озера и рассчитывается по гидравлическим зависимостям. Таким образом, получается модель колебаний уровня озера, а решение соответствующих разностных уравнений осуществляется методом имитационного моделирования.

На основе существующих рекомендаций осуществлено моделирование продолжительных последовательностей годовых значений для всех составляющих элементов водного баланса оз. Ханка. Реализации процесса наполнения озера и связанного с ним расхода р. Сунгача получаются с помощью решения уравнения водного баланса озера в конечно-разностной форме с использованием зависимости площади водной поверхности от уровня и зависимости расхода (стока) от уровня озера. Расчеты водного баланса выполнены для нескольких вариантов водопользования, включающих различные условия оттока из озера и сценарии использования стока р. Мулинхэ. Для оценки эффективности мероприятий по регулированию уровня озера Ханка разработана гидродинамическая модель движения воды в русле р. Сунгача, позволяющая рассчитывать зависимости стока воды из озера, необходимые для выполнения расчетов многолетних колебаний уровня воды. Для расчета гидрологического режима поверхностных водных объектов на исследуемой территории использован программный комплекс SWMM.

С использованием гидродинамической модели SWMM получена зависимость стока воды из оз. Ханка от его уровня при реализации различных вариантов дноуглубления. Полученные на основе гидродинамической модели зависимости расхода от уровня используются далее при оценке эффекта от принятых мероприятий по дноуглублению с помощью имитационных расчетов на основе динамико-стохастической модели. Расчеты также показали, что подпор от р. Уссури не оказывает влияния на гидравлику руслового потока р. Сунгача на верхнем участке в силу особенностей продольного профиля реки и большого расстояния.

Разработанная гидродинамическая модель применена для оценки эффективности различных вариантов дноуглубления, предлагаемых с целью увеличения пропускной способности русла и снижения уровня воды озера Ханка. В работе рассмотрены два варианта дноуглубления. На лимитирующих участках осуществляется дноуглубление и естественное русло частично, в нижней части, заменяется каналом трапецеидальной формы с заложением откосов 1:3 и шириной по дну 17 м. Пример варианта дноуглубления представлен схематично на рис. 3.

Оценка характеристик уровня озера Ханка проектируемых при реализации инженерных мероприятий. Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий выполнены расчеты водного баланса и соответствующих уровней воды в оз. Ханка с учетом и без учета влияния функционирования водохозяйственной системы на китайской части бассейна. Описание вариантов расчета приведено в табл. 1.

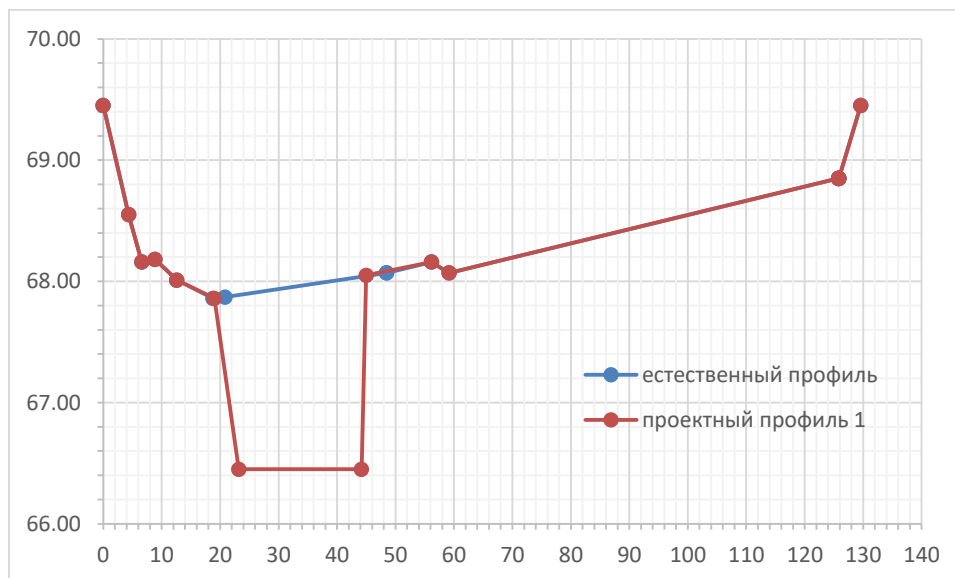


Рисунок 3 - Поперечный профиль р. Сунгача в истоке для естественных и проектных условий

Таблица 1 - Варианты условий оттока из озера и сценариев использования стока р. Мулинхэ для динамико-стохастического моделирования уровня воды в оз. Ханка

Вариант расчета	Режимы использования водных ресурсов (сценарии)
1	Современное состояние русла, сброс с китайских ОС учитывается
2	Проектное русло, сброс с китайских ОС учитывается
3	Современное состояние русла, без учета сброса с китайских ОС
4	Проектное русло, без учета сброса с китайских ОС
5	Проектное русло+0.5 м, без учета сброса с китайских ОС
6	Проектное русло+0.5 м, с учетом сброса с китайских ОС

Результаты определения параметров распределения уровней воды в озере Ханка, включая величины заданной обеспеченности, при различных вариантах использования и управления, приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Результаты динамико-стохастического моделирования уровня воды в оз. Ханка для различных вариантов расчета

Параметры распределения уровня	Варианты (в соответствии с таблицей 1)					
	1	2	3	4	5	6
Средний уровень озера, м	69.63	69.46	69.49	69.31	69.28	69.43
Коэффициент асимметрии, C_s	0.26	0.12	0.27	0.16	0.11	0.06
Среднее квадратическое отклонение, σ	0.67	0.75	0.46	0.51	0.52	0.76
$r(1)$	0.81	0.84	0.81	0.84	0.84	0.84
Средний расход р. Сунгач, Q , м ³ /с	60.3	60.4	54.5	54.7	54.7	60.4
Расчетные значения уровня оз. Ханка, H , м, $P = 1,0\%$	71.32	71.25	70.64	70.54	70.53	71.22

Выводы:

1. Предлагаемые варианты дноуглубления на части русла р. Сунгача, примыкающем к истоку реки, оказывают положительный эффект с точки зрения снижения отметок уровня воды в оз. Ханка. Следует отметить, что эффективность мероприятий по дноуглублению р. Сунгача существенно ниже, чем расширение обводного канала, что было показано в ранних работах.

2. Выполненные расчеты показали, что функционирование системы использования водных ресурсов КНР в бассейне оз. Ханка приводит к увеличению амплитуды колебаний уровня воды в озере по сравнению с естественными условиями. Необходимо отметить, что надежные данные о регулировании и использовании стока р. Мулинхэ отсутствуют, гидравлические параметры каналов, емкостей и сооружений, расположенных на китайской территории, а также режимы эксплуатации всей системы известны ориентировочно.

Список литературы

1. Васьковский М.Г. Гидрологический режим озера Ханка. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 175 с.

2. Отчет о НИР по договору № 66-НИР/ФЦП–2016 в рамках ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» по теме: Научные исследования по изучению гидрологических особенностей водного режима озера Ханка в целях определения причин аномального повышения уровня воды и выработки научно-обоснованных предложений по регулированию уровня воды в озере, формированию комплекса мер по снижению негативного воздействия вод озера на территории Приморского края. Этап 1 «Оценка основных элементов водного баланса озера Ханка и анализ особенностей их формирования» (промежуточный). – ФГБУ «ГГИ», СПб, 2016. 296 с.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ПРИ ПРОПУСКЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОЛОВОДИЙ В БАСЕЙНАХ КРУПНЫХ РЕК В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОРЕЧИВЫХ ТРЕБОВАНИЙ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Бубер А.А., Талызов А.А.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва

E-mail: buberalina@gmail.com

Аннотация. В статье представлена разработанная гидродинамическая модель участка р. Ангара от оз. Байкал до нижнего бьефа Богучанской ГЭС. Описаны основные этапы проведения калибровки модели, сравнение результатов моделирования с наблюдаемыми данными, а также по текущим данным 2020 г. произведен расчет увеличения попуска в нижний бьеф Иркутской ГЭС для определения времени прихода максимального уровня и расхода воды в границах г. Иркутск и пригородной территории.

Ключевые слова: Ангарский каскад водохранилищ, паводок, речной сток, гидродинамическое моделирование, управление водными ресурсами.

HYDRODYNAMIC MODELING AS A PROSPECTIVE METHOD FOR RUNOFF REGULATION DURING EXTREME FLOWS IN LARGE RIVER BASINS IN CONDITIONS OF CONFLICTING WATER USERS REQUIREMENTS

Buber A. A., Talyzov A.A.

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow

Summary. The article presents the developed hydrodynamic model of the Angara river section. From the lake. Baikal to the lower pool of the Boguchanskaya hydroelectric power station. The main stages of model calibration are described, simulation results are compared with the observed data, and based on the current data of 2020, an increase in the release into the downstream of the Irkutsk hydroelectric complex was calculated to determine the time of the maximum level arrival and water discharge within the boundaries of Irkutsk and the suburban area.

Key words: Angara reservoirs cascade, flooding, river runoff, hydrodynamic modeling, control of water resources.

Ангарский каскад ГЭС является крупнейшим комплексом гидроэлектростанций в России, расположенным на р. Ангара в Иркутской области и Красноярском крае. Общая площадь периодически затопляемых пойменных массивов превышает 25 000 км² и составляет около 4 % от общей площади Иркутской области. Наибольший ущерб наносят паводочные наводнения, поскольку имеют частую повторяемость, высокую скорость формирования и спрогнозировать их достаточно сложно [1].

Формирование режимов работы гидроузлов в период прохождения паводков происходит в соответствии с Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС, Правилами использования водных ресурсов Богучанского водохранилища и Проектами Правил использования водных ресурсов Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ. Основными документами, регламентирующими уровень режим оз. Байкал в годы различной обеспеченности являются Федеральный закон N 94 «Об охране озера Байкал», Постановление Правительства от N 234 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» и Временное Постановление Правительства РФ № 1667 «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2018 - 2020 годах», при котором диапазон допустимого колебания уровня воды составляет 2,31 м (455,54 м – 457,85 м).

Согласно ПИВР, суммарная пропускная способность Иркутского гидроузла при НПУ и полном открытии всех отверстий, составляет 7040 м³/с, однако затопление пойменной части г. Иркутск происходит при превышении суммарного расхода р. Иркут и Иркутской ГЭС величины 3200 м³/с.

Регулирование Ангарского каскада водохранилищ осуществляется для нужд ряда водопользователей: коммунально-бытового и рыбного хозяйства, экологии, энергетики, промышленного производства и водного транспорта. Угрозу также представляет затопление и подтопление территории нижнего бьефа Иркутской ГЭС (ИГЭС) при сбросах расходов воды более 3200 м³/с.

Для оптимального управления водными ресурсами каскада и обеспечения водопользователей в программной среде MIKE 11 была разработана квази-двумерная имитационная гидродинамическая модель Ангарского каскада ГЭС от оз. Байкал до нижнего бьефа Богучанской ГЭС (БГЭС), представляющая собой инструмент для воспроизведения особенностей гидродинамической структуры водных потоков. Модель реализует принципы управления гидроузлами по иерархии приоритетов гидравлических требований водопользователей при помощи встроенного модуля «Регулирующие сооружения», основой которого является ПИД регулятор, поддерживающий заданное значение уровня воды (h) в верхнем бьефе ГЭС с помощью изменения величины попусков (Q) [2].

Программные комплексы MIKE (11 и SHE) активно применяются в Российской Федерации и за рубежом, например, для определения производительности системы каналов р. Ван (Wan River, Индия), которая позволила в ходе исследований принять решение о пересмотре графиков поливов, для оценки водного питания р. Сяолинхэ (Xiaoling River, Китай); модель показала хорошую точность расчетов суточного моделирования стока в переувлажненной зоне, для оценки влияния диффузных и точечных источников загрязнений на качество воды в р. Канхан (Kanhan River, Индия). [3-5].

В РФ на платформе программного комплекса MIKE 11 были разработаны гидродинамические модели (ГДМ) различных фрагментов рек Амур, Дон, Кубань, Средняя и Нижняя Волга и др. [6, 7].

Гидродинамическая модель Ангарского каскада построена по руслу и пойме р. Ангара и включает комплекс «оз. Байкал – Иркутское, Братское, Усть-Илимское и Богучанское водохранилища». Для построения трассы речной сети использовались карты Генштаба масштаба 1:100 000 и 1:50 000, находящиеся в открытом доступе. На трассу р. Ангара в редакторе «Cross-section» с шагом в 5 км были нанесены поперечные сечения, построенные на основе Цифровой модели рельефа, совмещенной с горизонталями карт различного масштаба и лотциями. Объемы водохранилищ Ангарского каскада при моделировании задавались батиграфическими функциями, невязка объемов была устранена при калибровке модели за счет задания дополнительных емкостей в поперечных сечениях на концевых створах акватории водохранилищ. В редакторе «Boundary data» задавались граничные условия: уровень или приток к оз. Байкал, функция зависимости уровня от расхода воды $Q(h)$ для нижнего бьефа (НБ) Богучанской ГЭС, боковой приток к Братскому водохранилищу (реки Иркут, Китой, Ока, Ия), боковой приток к Усть-Илимскому водохранилищу (р. Илим) и боковой приток к Богучанскому водохранилищу.

Назначение коэффициентов шероховатости по руслу р. Ангара производилось на основе базовой калибровки модели при попуске в нижний бьеф Иркутской ГЭС расхода 1000 м³/с. Далее производилась вертикальная калибровка непосредственно в поперечных сечениях при расходах 2000 и 4000 м³/с. Исходными данными для калибровки являлись кривые зависимости $Q=f(h)$ для верхних и нижних бьефов гидроузлов, а также данные, полученные с постов гидрологических наблюдений - г. Иркутск, мост; г. Иркутск, речной порт; г. Ангарск.

По результатам базовой калибровки ошибка составила не более 4 см. После определения горизонтальной шероховатости внутри каждого поперечного сечения была назначена вертикальная шероховатость. В результате произведенных расчетов получены уровни по характерным створам, ошибка при вертикальной калибровке модели в сравнении с наблюдаемыми данными составила не более 5 см, что может свидетельствовать об адекватном ее функционировании при заданных расходах. Результаты калибровки приведены в табл. 1.

В сентябре 2020 г. в связи с развитием паводка рек Баргузин и Селенга, прогнозировался приток к оз. Байкал до 130 % от нормы. Для пропуска паводка пришлось увеличить сбросные расходы с Иркутской ГЭС до 2700 м³/с, такие попуски установлены для неподтопления г. Иркутск и пригородных территорий. Однако дальнейшее увеличение попуска может привести к затоплению прибрежной части города, с 14 по 30 сентября уровень Иркутского водохранилища превысил 457,05 м и составлял на 30 сентября 457,11 м ТОС.

В связи с гидрологической обстановкой по заданию Федерального агентства водных ресурсов и МЧС России по наблюдаемым данным за сентябрь 2020 г. был произведен расчет на гидродинамической модели Ангарского каскада водохранилищ по увеличению попуска в нижний бьеф Иркутской ГЭС с 2700 м³/с до 3200 м³/с и определению зон возможного затопления. Были выполнены расчеты по определению времени добегания волны к створам возможного затопления в НБ Иркутской ГЭС

(определению времени прихода максимальных уровней и расходов воды для 6 створов в г. Иркутск и пригородных территориях). На рис. 1 и в табл. 2 приведены результаты расчетов.

Таблица 1 - Сравнение результатов калибровки с наблюдаемыми данными

Створ, км	0	50	56	671	962	972	1333	1341
Створ	оз. Байкал	ВБ ИГЭС	НБ ИГЭС	НБ БРГЭС	ВБ УИГЭС	НБ УИГЭС	ВБ БГЭС	НБ БГЭС
Расход 1000 м ³ /с (базовая калибровка)								
Наблюдения	457.09	457	425.5	295.25	295	208.1	208	137
Расчет	457.09	457	425.49	295.27	295.04	208.08	208.04	136.99
Ошибка, см	0.00	0.00	-0.01	0.02	0.04	-0.02	0.04	-0.01
Расход 2000 м ³ /с								
Наблюдения	457.25	457	426.83	295.7	295	208.2	208	137.7
Расчет	457.3	456.97	426.86	295.74	295.03	208.19	208.04	137.65
Ошибка, см	0.05	-0.03	0.03	0.04	0.03	-0.01	0.04	-0.05
Расход 4000 м ³ /с								
Наблюдения	457.9	457	428.35	296.8	295	208.5	208	138.6
Расчет	457.85	457.03	428.32	296.76	294.97	208.51	207.96	138.65
Ошибка, см	-0.05	0.03	-0.03	-0.04	-0.03	0.01	-0.04	0.05

В соответствии с Постановлением № 234 от 2001 г. установлен запрет на повышение уровня воды в оз. Байкал выше максимальных значений 457 м и снижение уровня воды в оз. Байкал ниже минимальных значений 456 м. При поддержании уровня оз. Байкал на максимальных отметках отмечались негативные последствия: уничтожение нагульных водоемов, эрозия берегов, размыв островных гряд, в связи с чем был произведен расчет гидрологической обстановки с учетом прогноза приточности к оз. Байкал по максимальному за последние годы гидрологическому ряду (сентябрь-апрель 2018-2019 гг.). С использованием модуля «Регулирующие сооружения» был подобран оптимальный попуск в НБ Иркутской ГЭС для обеспечения требований экологии и рыбного хозяйства. Был сформирован режим работы Иркутской ГЭС, позволяющий обеспечить требования рыбного хозяйства о поддержании контрольной отметки минимальной сработки уровня оз. Байкал в апреле 456,03 м (Пояснительная записка к проекту Правил использования водных ресурсов Иркутского водохранилища и оз. Байкал, 2013 г.). При этом регулирование озера осуществляется в диапазоне 1 м, как это показано на рис. 2.

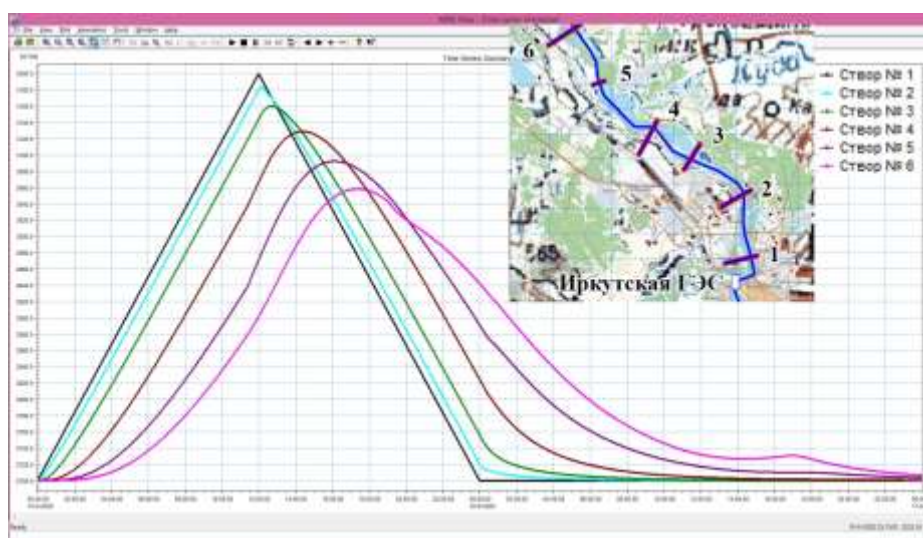


Рисунок 1 – Динамика прихода расхода по створам от НБ Иркутской ГЭС

Таблица 2 - Время прихода максимума волны по створам

№ створа	Расстояние от оз. Байкал, км	Время прихода максимального уровня	Уровень, м	Время прихода максимального расхода	Расход, м ³ /с
1	55.6	12:00	427.86	12:00	3200
2	59.5	12:15	427.5	12:10	3180
3	64.9	13:20	426.43	12:40	3160
4	70.1	15:15	424.14	14:20	3130
5	75.3	18:15	423.02	16:05	3090
6	79.3	20:15	421.86	17:20	3060



Рисунок 2 – Результаты моделирования сценария по обеспечению требований экологии и рыбного хозяйства

На данном этапе работ 2021 г. выполнено уточнение руслового рельефа р. Ангара на участке от нижнего бьефа Иркутской ГЭС до места впадения р. Белая. Протяженность участка составила 105 км по руслу Ангара. Исходным материалом послужили данные, полученные в ходе инженерно-геодезических изысканий, выполненных в 2017 г.: координаты фарватера р. Ангара; фактические значения отметок уреза воды в русле р. Ангара по состоянию на 25.09.2017 г.; расчетные значения урезом воды для различных обеспеченностей (1%-50%); сведения о геометрии морфологических створов (46 основных, 184 дополнительных).

Начальным этапом обработки полученных геодезических данных было определение области интерполяции, ограничивающей исследуемую русловую часть участка р. Ангара. Область была задана вручную, исходя из границ обследованных территорий и фактического расположения русла р. Ангара (рис. 3).

Внутри полученной области была выполнена интерполяция сплошной поверхности, описывающей рельеф дна реки на основании высотных отметок, присутствующих в точках морфологических створов. Полученная в результате интерполяции модель руслового рельефа была интегрирована в общую модель рельефа территории по методике, описанной в [8].

С использованием новой интегрированной цифровой модели рельефа, содержащей сведения, как о русловом, так и пойменном рельефе исследуемого участка р. Ангара, был создан новый набор поперечных сечений, который в дальнейшем использовался при моделировании водного потока при различных расходах воды и режимах работы водопропускных сооружений ГЭС.



Рисунок 3 – Область интерполяции руслового рельефа (закрашено голубым), новый набор поперечных сечений

Далее производилось уточнение гидродинамической модели Ангарского каскада ГЭС на участке от оз. Байкал до хвоста Иркутского водохранилища с новыми поперечными сечениями с шагом около 2-х км. Трасса речной сети составила 220 км, количество поперечных сечений – 81 шт. Была произведена калибровка гидродинамической модели базовым расходом $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ и расходами 2000, 4000 и $6000 \text{ м}^3/\text{с}$, при этом максимальная ошибка составила 6 см.

Выводы:

1) Гидродинамическая модель с применением модуля «Регулирующие сооружения» позволяет сформировать обоснованные режимы работы Ангарского каскада водохранилищ, удовлетворяющие наиболее значимым требованиям водопользователей.

2) Расчеты показали, что катастрофические явления в пойме и прибрежной зоне г. Иркутск происходят уже при попусках в нижний бьеф Иркутского водохранилища более $3100 \text{ м}^3/\text{с}$.

3) Разработанная модель Ангарского каскада водохранилищ позволяет определять наиболее подверженные затоплению объекты и территории поймы в нижнем бьефе Иркутской ГЭС для дальнейшей проработки научно обоснованных мероприятий по их защите, предотвращению затоплений и подтоплений и разработке планов эвакуации в случае развития чрезвычайных ситуаций.

4) Данные о русловом рельефе, полученные в ходе инженерно-геодезических изысканий, позволяют существенно улучшить детализацию руслового рельефа, по сравнению с базовым вариантом, в котором рельеф русла был получен по сведениям из навигационных карт. Данное улучшение также положительно сказывается на достоверности полученной гидродинамической модели р. Ангара. Необходимо проведение сценарных исследований на наблюдаемых данных и сравнение результатов с рассчитанными на ГДМ.

Список литературы

1. Мисюркеев Ю. А., Марасанов М. Г., Кичигина Н. В. Риск затопления и подтопления Иркутской области и анализ ущербов от них. // Водные ресурсы байкальского региона: проблемы формирования и использования на рубеже тысячелетий : материалы науч. конф. Иркутск, 1998. 5 с.
2. Daniel P. Loucks and Eelco van Beek, with contributions from Jerry R. Stedinger, Jozef P.M. Dijkman, Monique T. Villars. Water Resources Systems Planning and Management. An Introduction to Methods, Models and Applications. Studies and Reports in Hydrology, UNESCO publishing in 2005 by the United Nations Educational. (И. ван Бик, П.Лаукс. Планирование и управление водохозяйственными системами, введение в методы, модели и применения. М., 2009 г.).
3. M.U. Kale, M.B. Nagdeve, S.B. Wadatkar, M.M. Deshmukh, A.N. Mankar Hydraulic impact of Wan River project with MIKE 11 / Agricultural Engineering International : The CIGR e-journal 16 (1): 2014, p. 21-31.
4. Liuxin, Wang Dian-wu, Chi Dao-cai, Yangning Runoff simulation in semi-humid region by coupling MIKE-SHE with MIKE-11 / The Open Civil Engineering Journal, 2015, 9, p. 840-845
5. V. Gedam, P. Labhasetwar, G. Khadse Assessment of assimilative capacity of Kanhan river stretch using MIKE-11 modeling tool / J Environ. Science & Engg. Vol. 54, No. 4, 2012, p. 481-488.
6. Бородычѳ В.В., Бубер А.А., Бубер А.Л. Возможности гидродинамического моделирования для предотвращения последствий чрезвычайных ситуаций / Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1 (45). С. 21-25.
7. Бубер А.А., Бубер А.Л. Разработка гидродинамической модели Нижнего Дона / В сб.: Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения). Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Форум молодых ученых. Сб. тр. молодых ученых. М., 2020. С. 100-106.
8. Талызов А.А. Методика создания цифровой модели рельефа русла и поймы реки. Инновации в сельском хозяйстве и экологии – Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рязань, 2020. С. 470-473.

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ АНГАРСКОГО КАСКАДА ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОСНОВЕ ДОЛГОСРОЧНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА, МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Бубер А.Л., Бубер В.Б.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва

E-mail: buber49@yandex.ru

Аннотация: Описана методика формирования режимов работы водохозяйственного комплекса «оз. Байкал – Иркутское, Братское, Усть-Илимское, Богучанское водохранилища» основанная на данных ежемесячно публикуемых долгосрочных (декада месяц, квартал) прогнозов Гидрометцентра России, Базы данных наблюдаемой посуточной приточности за 1999-2020 гг., иерархии приоритетов требований водопользователей, методов оптимизации и многокритериального анализа.

Ключевые слова: правила управления, режим работы водохранилища, диспетчерский график, водохозяйственный расчет, прогнозирование речного стока, расчетный гидрограф, оптимизация, многокритериальный анализ.

WATER RESOURCES OPERATIONAL MANAGEMENT OF THE ANGARA RESERVOIRS CASCADE BASED ON LONG-TERM HYDROLOGICAL FORECAST, OPTIMIZATION METHODS AND MULTI-CRITERIA ANALYSIS IN CONDITIONS OF POSSIBLE CLIMATE CHANGE

Buber A. L., Buber V. B.

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow

Abstract: The methodology of forming the operating modes of the water management complex "lake Baikal – Irkutsk, Bratsk, Ust-Ilimsk, Boguchansk reservoirs" is described. The methodology is based on the data of monthly published long-term (decade, month, quarter) forecasts of the Hydrometeorological Center of Russia, the data base of daily inflow observed for 1999-2020, the hierarchy of priorities of water users' requirements, optimization methods and multi-criteria analysis.

Keywords: management rules, reservoir operation mode, dispatch schedule, water management calculation, river flow forecasting, calculated hydrograph, optimization, multi-criteria analysis.

Введение

В бассейнах крупных рек с большим количеством русловых гидроэнергетических водохранилищ необходимо, с одной стороны, принимать оперативные решения по взаимоувязанному пропуску через гидроузлы половодной и паводковых вод, с другой стороны, обеспечивать гарантированную водоподачу всем водопользователям, требования которых могут быть конфликтующими. Характерным примером объекта, требующего решения подобной задачи, является Ангарский каскад водохранилищ, включающий: оз. Байкал, Иркутское, Братское, Усть-Илимское водохранилища (рис. 1). Оперативное управление водохранилищами выполняется по утвержденным правилам [1,2], включающим соответствующие диспетчерские графики. Кроме того, в 2001 г. вышло Постановление Правительства РФ № 234 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности», которое с 2016 г. уточняется временными постановлениями [3,4].

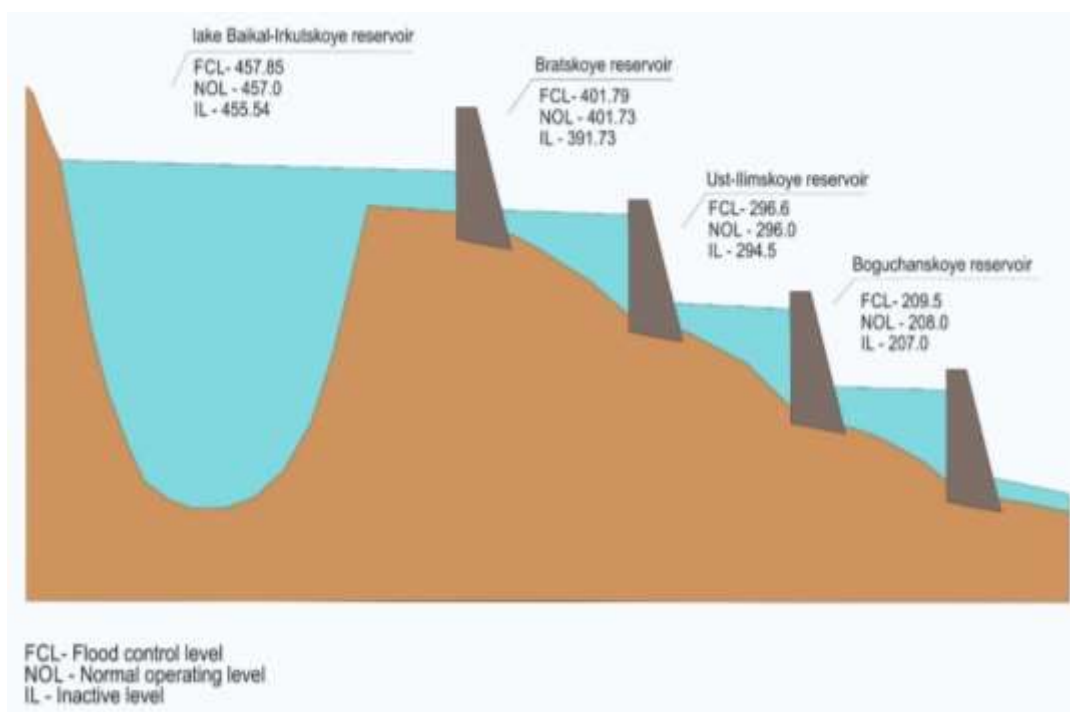


Рисунок 1 – Ангарский каскад водохранилищ

В Правилах использования водохранилищ регламентируется инструментарий позволяющий формировать режимы работы водохранилищ с учетом прогнозируемой и реальной приточности с учетом противоречивых требований участников водохозяйственной системы (ВХС) к расходам и уровням воды в бьефах гидроузлов. В табл. 1 приведены основные требования водопользователей Ангарского каскада водохранилищ.

Таблица 1 – Требования водопользователей каскада Ангарских водохранилищ

Байкал - Иркутское водохранилище	
1	Постановление № 234 по Байкалу [456,457] м
2	Санитарный расход > 1500 м ³ /с с мая по сентябрь
3	Санитарный расход > 1350 м ³ /с с октября по апрель
4	Противопаводковый расход <= 4000 м ³ /с
5	Гарантированная мощность 95% обеспеченности - 372 Мвт
6	Нормальная работа водозаборов ВБ >= 454 м
7	Рыбный уровень, отметка Байкала [455.9,456.1] м с 10 по 30 апреля
8	Рыбный уровень, отметка Байкала [456.9,457.1] м в сентябре
Братское водохранилище	
9	Минимальный водозабор 392 м
10	Нормальный водозабор 394 м
11	Минимальный навигационный, лесосплав 394.73 м
12	Нормальный навигационный 395.5 м
13	Навигационный сокращенный 1800 м ³ /с
14	Санитарный расход 1000 м ³ /с
15	Гарантированная мощность 95% обеспеченности - 2010 Мвт
16	НПУ 401.73 м
Усть-Илимское водохранилище	
17	Нормальный водозабор 293 м
18	Минимальный навигационный, лесосплав 294.5 м
19	Нормальный навигационный 295.5 м
20	НПУ 296 м
21	Санитарный расход 1000 м ³ /с
22	Сброс СВ ЛПК 2000 м ³ /с
23	Минимальный энергетический зимой 2000 м ³ /с
24	Гарантированная мощность 95% обеспеченности - 1940 Мвт
25	Навигационный сокращенный расход (5-10 мес) 2800 м ³ /с
26	Нормальный навигационный расход (5-10 мес) 2900 м ³ /с
Богучанское водохранилище	
27	Навигационный сокращенный расход (5-10 мес) 3100 м ³ /с
28	Нормальный навигационный расход (5-10 мес) 3600 м ³ /с
29	Гарантированная мощность 95% обеспеченности - 1560 Мвт

Содержательная постановка задачи

Конфликтующие между собой требования водопользователей заставляют искать компромиссы. Одной из задач, которые решаются при управлении водными ресурсами, является оценка альтернативных предложений и выявление компромиссов среди конкурирующих возможностей. Например, поддержание уровня оз. Байкал в диапазоне 456-457 м конфликтует с ограничением на попуски Иркутского водохранилища в размере 4000 м³/с, которые затапливают пойменные территории г. Иркутск.

Цель исследований - разработка математических методов, алгоритмов и создание Вычислительной технологии (ВТ) поиска оптимального компромиссного решения при оперативном управлении режимами работы водохранилищ.

ВТ должна обеспечить формирование множества компромиссных решений, которые обсуждаются Лицом, принимающим решение (ЛПР), с участием всех заинтересованных сторон, и в процессе переговоров принимается «оптимальное» компромиссное решение (площадкой для проведения таких переговоров является Межведомственная рабочая группа по оперативному формированию режимов работы каскада водохранилищ).

Каждый элемент из этого множества оценивается вектором значений функционалов, определяющих сработку водохранилищ в пределах нормального подпорного уровня и уровня мертвого объема, и нарушениями требований водопользователей по поддержанию номинальных уровней и расходов воды в контролируемых створах.

Сформированное множество векторов значений оценивается Методом достижимых целей (инструмент многокритериального анализа), строятся и визуализируются границы Парето, позволяющие Лицу, принимающему решение (ЛПР), на основе переговоров с экспертами и водопользователями выбрать «оптимальный» компромиссный вариант управления. Многокритериальный анализ выполнялся на основе инструментария, разработанного в Вычислительном центре им. А.А. Дородницына (Российская Федерация) [5].

Ниже приводится описание технологического процесса реализации ВТ:

1) На основе прогнозных данных Гидрометцентра на расчетный интервал (декада, месяц, квартал) и ретроспективной Базы Данных посуточной наблюдаемой приточности определяется посуточная прогнозная приточность (боковой приток) к оз. Байкал и водохранилищам Ангарского каскада.

2) Формируются критерии (требования водопользователей) на расчетный интервал.

3) Определяется множество всевозможных вариантов приоритетов требований водопользователей.

4) Для каждого варианта выбранной иерархии приоритетов формируются исходные данные и выполняется оптимизационный расчет.

5) Из всех полученных векторов решений строится матрица решений и методом достижимых целей формируется набор границ Парето (недоминируемых решений) для построенной матрицы.

6) На основе обсуждения с заинтересованными водопользователями результатов, полученных при построении пространства решений, выбирается «оптимальное» компромиссное в смысле Парето решение, определяющее режимы работы водохранилищ, входящих в ВХС.

7) Формирование режимов работы водохранилищ ВХС уточняется и пересчитывается к каждому заседанию МРГ.

Формирование посуточных прогнозных гидрографов приточности

Гидрометцентр России (ГМЦ РФ) в выпускаемых ежемесячно гидрометеорологических бюллетенях приводит данные прогнозов суммарных объемов притока к водохранилищам на предстоящий расчетный интервал времени (декада, месяц, квартал). Таким образом, возникает задача: на основе суммарных прогнозных объемов приточности сформировать посуточный прогноз на расчетный период (краткосрочный 10-30 дней и долгосрочный – на квартал), необходимый для расчетов режимов работы водохранилищ Ангарского каскада (аналогичная задача рассматривалась в [6], где решение строилось в электронных таблицах Excel).

Для формирования посуточного прогноза на основе данных прогноза ГМЦ РФ реализуется следующий алгоритм вычисления прогнозного гидрографа посуточных приточностей для заданного гидроузла. В качестве входных параметров задается квартал, для которого необходимо сформировать прогноз, месяц квартала, начиная с которого формируется прогноз до конца квартала, а также величины среднего притока воды к водохранилищам на соответствующие квартал (остаток квартала) и месяц, полученные по данным прогноза ГМЦ.

На основе этих входных параметров осуществляется поиск года-аналога, в заданных квартале и месяце которого достигается минимум некоторого совокупного критерия поиска. В качестве такого критерия принята сумма модулей отклонения квартальных и месячных значений суммарного притока, наблюдавшегося в искомом году, от соответствующих значений прогноза ГМЦ РФ. Посуточный гидрограф приточности соответствующего периода найденного года-аналога в дальнейшем используется в качестве модельного для построения прогнозного гидрографа. На следующем этапе построения прогнозного гидрографа выполняется нормировка найденных значений приточностей года-аналога на основе рекомендаций, изложенных в [7]. Описанный в [7] и реализованный способ нормировки обеспечивает формирование прогнозного гидрографа, суммарные значения притока которого за прогнозный месяц и квартал (остаток квартала) совпадают со средними прогнозными значениями прогноза ГМЦ РФ.

Математическая постановка оптимизационной задачи

Обозначения:

$I = [1, 4]$, где 1 соответствует комплексу оз. Байкал + Иркутское водохранилище, 2 – Братское водохранилище, 3 – Усть-Илимское водохранилище, 4 – Богучанское водохранилище;

T – количество дней в расчетном интервале времени;

$t = [1, T]$ - день в расчетном интервале;

F – обозначение функциональной зависимости между параметрами.

Исходные данные:

Q_i^t – приточность (боковая приточность) к i -му водохранилищу в t -ый день расчетного интервала;

W_i^1 – объем i -го водохранилища на начало первого дня расчетного интервала времени;

Переменные:

W_i^t – объем i -го водохранилища, в начале t -го дня ($t > 1$), для $i = 1$ – объем оз. Байкал;

R_i^t – отдача i -го водохранилища в t -ый день ($t \leq T$);

Z_1^t – отметка оз. Байкал на начало t -го дня ($t \leq T$);

uZ_i^t – отметка верхнего бьефа i -го водохранилища на начало t -го дня ($t \leq T$);

dZ_i^t – отметка нижнего бьефа i -го водохранилища на начало t -го дня ($t \leq T$);

Критерии:

k – номер критерия (требования), $k = [1, K]$; K – количество критериев. Критерии могут быть заданы номинальными значениями уровней, отдачи и мощности для каждого i -го водохранилища;

G_k – номинальные требования (пороги) для критерия k по уровням;

L_k – номинальные (пороги) требования для критерия k по отдаче;

V_k – номинальные (пороги) требования для критерия k по мощности ГЭС;

Параметры:

μ_k – весовые (штрафные) коэффициенты для номера критерия k , $k = [1, K]$, определяющие иерархию приоритетов требований водопользователей.

Уравнения

Оз. Байкал + Иркутское водохранилище:

$Z_1^t = F(W_1^t)$ – батиметрическая функция «уровень оз. Байкал – объем воды»;

$uZ_1^t = F(Z_1^t, R_1^t)$ – номограмма зависимости ВБ Иркутского водохранилища от уровня оз. Байкал и отдачи Иркутского водохранилища;

$dZ_1^t = F(R_1^t)$ – функция зависимости уровня НБ от отдачи Иркутского водохранилища;

$N_1^t = F(uZ_1^t, dZ_1^t, R_1^t)$ – выработка (мощность) электроэнергии;

$W_1^{t+1} = W_1^t + Q_1^t - R_1^t$ – балансовые уравнения для объемов Иркутского водохранилища.

Братское водохранилище:

$uZ_2^t = F(W_2^t)$ – батиметрическая функция «уровень Братского водохранилища – объем воды»;

$dZ_2^t = F(R_2^t, uZ_3^t)$ – номограмма зависимости уровня НБ Братского водохранилища от отдачи Братского водохранилища и ВБ (подпора) Усть-Илимского водохранилища;

$N_2^t = F(uZ_2^t, dZ_2^t, R_2^t)$ – выработка (мощность) электроэнергии;

$W_2^{t+1} = W_2^t + R_1^t + Q_2^t - R_2^t$ – балансовые уравнения для объемов Братского водохранилища.

Усть-Илимское водохранилище:

$uZ_3^t = F(W_3^t)$ – батиметрическая функция «уровень Усть-Илимского водохранилища – объем воды»;

$dZ_3^t = F(R_3^t)$ – функция зависимости уровня НБ от отдачи Усть-Илимского водохранилища;

$N_3^t = F(uZ_3^t, dZ_3^t, R_3^t)$ – выработка (мощность) электроэнергии;

$W_3^{t+1} = W_3^t + R_2^t + Q_3^t - R_3^t$ – балансовые уравнения для объемов Усть-Илимского водохранилища.

Богучанское водохранилище:

$uZ_4^t = F(W_4^t)$ – батиметрическая функция «уровень Богучанского водохранилища – объем воды»;

$dZ_4^t = F(R_4^t)$ – функция зависимости уровня НБ от отдачи Богучанского водохранилища;

$N_4^t = F(uZ_4^t, dZ_4^t, R_4^t)$ – выработка (мощность) электроэнергии;

$W_4^{t+1} = W_4^t + R_3^t + Q_4^t - R_4^t$ – балансовые уравнения для объемов Богучанского водохранилища.

Целевые функции нарушения требований для каждого соответствующего критерия (уровни, отдача, мощность) имеют следующий вид :

$$C_k^t = \{0, \text{ при } uZ_i^t \geq G_k; (uZ_i^t - G_{ki})^2 \text{ при } uZ_i^t < G_{ki}\}; k = [1, K];$$

$$S_k^t = \{0, \text{ при } R_i^t \geq L_{ki}; (R_i^t - L_{ki})^2 \text{ при } R_i^t < L_{ki}\}; k = [1, K];$$

$$E_k^t = \{0, \text{ при } N_i^t \geq V_{ki}; (N_i^t - V_{ki})^2 \text{ при } N_i^t < V_{ki}\}; k = [1, K]$$

Обозначим $D_k = \sum_{t=[1,T]} (C_k^t + S_k^t + E_k^t)$

Тогда оптимизационная задача поиска ежедневной отдачи водохранилищ $R_i^t \geq 0$ имеет следующий вид:

Минимизировать целевую функцию $D = \sum_{k=[1,K]} \mu_k * D_k$

При следующих ограничениях:

$$W^{t+1}_1 = W^t_1 + Q^t_1 - R^t_1;$$

$$W^{t+1}_2 = W^t_2 + R^t_1 + Q^t_2 - R^t_2;$$

$$W^{t+1}_3 = W^t_3 + R^t_2 + Q^t_3 - R^t_3;$$

$$W^{t+1}_4 = W^t_4 + R^t_3 + Q^t_4 - R^t_4;$$

$$R_i^t \geq 0; W_i^t \geq 0; i = [1,4], t = [1,T],$$

В соответствии с возможными компромиссами между водопользователями строится множество весовых коэффициентов μ^j_k , задающих иерархию приоритетов требований водопользователей и для каждого j-го набора весовых коэффициентов решается приведенная выше оптимизационная задача, определяющая соответствующие значения D^j_k , по значениям которых строится матрица решений размерностью j*k. Далее, для построенной матрицы решений и методом достижимых целей формируется набор границ Парето (недоминируемых решений) для построенной матрицы.

Надо заметить, что весовые коэффициенты μ_k никакого физического смысла не имеют. Их значения лишь определяют приоритет одного параметра над другим. Например, в соответствии с приоритетами, требования транспорта в НБ Иркутского гидроузла выше требований энергетики. Тогда принимается $100 * \mu^j_{энергетика} \leq \mu^j_{транспорт}$. Если коммунальное хозяйство доминирует над всеми водопользователями, то можно взять $10 * \mu^j_k \leq \mu_{комхоз}$ ($\forall k, k \neq комхоз$).

Окончательное на текущую дату решение принимается в процессе обсуждения всего множества полученных недоминируемых решений на заседании Межведомственной рабочей группы (МРГ), официального постоянно действующего органа Федерального агентства водных ресурсов, ответственного за принятие решений по регулированию режимов работы водохранилищ Ангарского каскада.

На следующий расчетный интервал времени (декада, месяц) выполняется корректировка оптимизационной модели на основе поступивших данных Гидрометцентра по прогнозу приточности и наблюдаемых посуточных данных за предыдущий период. Процесс поиска «оптимального» решения для новых условий и новой модели повторяется по описанной выше ВТ.

Данная методика опробована для оперативного формирования режимов работы водохранилищ Волжско-Камского каскада.

Список литературы

1. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского). М.: Мин-во мелиор. и водного хоз-ва РСФСР, 1988, 65 с.

2. Правила использования водных ресурсов Богучанского водохранилища, М., 2015, 126 с.

3. Постановление Правительства Рос. Федерации от 26.03.2001 № 234 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» // Собр. законодат. Рос. Федерации. 2 апреля 2001. № 14. ст. 1366.

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 01.07.2016 № 626 «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2016– 2017 годах»//Собр. законодат. Рос. Федерации. 18 июля 2016. № 29. ст. 4811.

5. Лотов А.В., Рябиков А.И. Бубер А.Л. Визуализация границы Парето при разработке правил управления ГЭС. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2013. № 1. С. 70-83.

6. M.V. Bolgov, A.L. Buber, A.A. Komarovskii, A. V. Lotov Search for Compromise Decisions in the Planning and Managing of Releases into the Lower Pool of the Volgograd Hydropower System. 2. Tactical Planning and Dispatching Control, Water Resources, 2019, Vol. 46, No. 3, pp. 480–491.

7. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик (разд. 5.39). - Взамен СНиП 2.01.14-83.- Изд. офиц. - М.: Госстрой России. 2004. 75 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСУТОЧНОЙ ПРИТОЧНОСТИ К ВОДОХРАНИЛИЩАМ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДОЛГОСРОЧНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ ГИДРОМЕТЦЕНТРА РОССИИ

Бубер В.Б., Бубер А.Л.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва

E-mail: bvb2010@mail.ru

Аннотация: Описана методика расчета прогнозных значений посуточной приточности на основе данных ежемесячно публикуемых долгосрочных (квартал, месяц) прогнозов Гидрометцентра России. Методика построена на использовании базы данных ВКК, хранящей многолетние величины посуточных приточностей к водохранилищам Волжско-Камского каскада.

Ключевые слова: прогнозирование речного стока, расчетный гидрограф, водохозяйственный расчет, правила управления, режим работы водохранилища.

DAILY INFLOW TO THE RESERVOIRS OF THE VOLGA-KAMA CASCADE PROGNOSIS BASED ON THE DATA OF LONG-TERM HYDROLOGICAL FORECASTS OF THE HYDROMETEOROLOGICAL CENTER OF RUSSIA

Buber V. B., Buber A. L.

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation,
Moscow

Abstract: The article describes the method of calculating the prognosis values of daily inflow based on the data of monthly published long-term (quarter, month) forecasts of the Hydrometeorological Center of Russia. The method is based on using the VKC data base, which stores long-term values of daily inflows to the reservoirs of the Volga-Kama cascade.

Keywords: river flow forecasting, calculated hydrograph, water management calculation, management rules, reservoir operation mode.

Введение. При управлении режимами работы водохранилищ Волжско-Камского каскада важно иметь посуточный прогноз речного стока для соответствующего водохранилища, на основе которого возможно выполнение водохозяйственных

расчетов и формирование режимов работы Волжско-Камского каскада водохранилищ в оперативном режиме. Гидрометцентр России (ГМЦ РФ) в выпускаемых ежемесячно гидрометеорологических бюллетенях приводит данные прогнозов суммарных объемов притока к водохранилищам на предстоящие квартал и месяц в конце предыдущего квартала или уточнение притока на текущий квартал и прогноз на предстоящий месяц в пределах текущего квартала. Таким образом, возникает задача: на основе суммарных прогнозных объемов приточности сформировать посуточный прогноз на расчетный период (краткосрочный 10-30 дней и долгосрочный – на квартал), необходимый для расчетов режимов работы водохранилищ. Аналогичная задача рассматривалась в [1], где решение строилось в электронных таблицах Excel. В настоящей работе для решения поставленной задачи предложена методика, позволяющая конвертировать квартальные и месячные прогнозы притока ГМЦ РФ в посуточные прогнозы на соответствующий период в реляционной базе данных.

Постановка задачи. В основе предлагаемой методики лежит использование разработанной на платформе СУБД Sybase SQL Anywhere реляционной базы данных Волжско-Камского каскада водохранилищ, хранящей, наряду с другими данными, многолетние данные посуточной приточности для водохранилищ ВКК. Структура базы данных в части, используемой в методике, приведена на рис. 1.

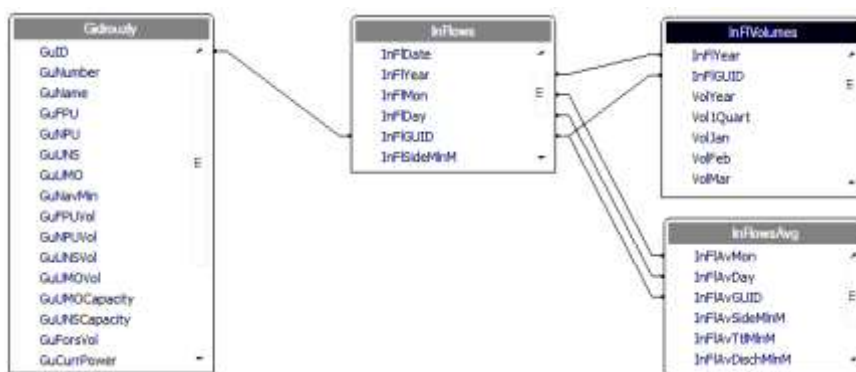


Рисунок 1 – Структура базы данных приточности к водохранилищам ВКК

Задействованная в методике часть базы данных (БД ВКК) состоит из четырех связанных таблиц. Таблица Gidrouzly содержит информацию о включенных в БД ВКК водохранилищах, в том числе наименование и основные характеристики, такие, например, как уровни НПУ, ФПУ, минимальный навигационный и другие. В таблице InFlows БД ВКК хранятся многолетние первичные данные наблюдаемых величин посуточной приточности, начиная с 1999 г. для 9 гидроузлов ВКК: Рыбинского, Нижегородского, Чебоксарского, Камского, Воткинского, Нижнекамского, Жигулевского, Саратовского, Волгоградского. Используемый временной ряд включает в себя как маловодные, так и средние по водности и многоводные годы, то есть является репрезентативным для исследуемых водохранилищ ВКК. Таблица InFlows связана с таблицей Gidrouzly по ключу GUID.

Таблица InFlVolumes предназначена для хранения суммарных помесечных и поквартальных величин притока для каждого водохранилища и каждого года, для которого имеются данные в таблице InFlows. В таблице InFlowsAvg хранятся средние по всему гидрологическому ряду БД величины посуточных приточностей. Обе эти таблицы заполняются соответствующими SQL запросами на основании данных таблицы InFlows. Все связи этих таблиц с таблицей InFlows имеют тип «один к одному» и показаны на рис.1.

На рис.2 приведены годовые гидрографы средних по гидрологическому ряду базы данных посуточных приточностей для гидроузлов ВКК, включенных в БД (шаг сетки по горизонтальной оси равен году).

Для формирования посуточного прогноза на основе данных прогноза ГМЦ РФ в БД ВКК разработана процедура, реализующая следующий алгоритм вычисления прогнозного гидрографа посуточных приточностей для заданного гидроузла. В качестве входных параметров процедуре задается квартал, для которого необходимо сформировать прогноз, месяц квартала, начиная с которого формируется прогноз до конца квартала, а также величины среднего притока воды к водохранилищам на соответствующие квартал (остаток квартала) и месяц, полученные по данным прогноза ГМЦ.

На основе этих входных параметров процедура осуществляет в таблице InFlVolumes БД ВКК поиск года-аналога, в заданных квартале и месяце которого достигается минимум некоторого совокупного критерия поиска. В качестве такого критерия принята сумма модулей отклонения квартальных и месячных значений суммарного притока, наблюдавшегося в искомом году, от соответствующих значений прогноза ГМЦ РФ. Посуточный гидрограф приточности соответствующего периода найденного года-аналога в дальнейшем используется в качестве модельного для построения прогнозного гидрографа. На следующем этапе построения прогнозного гидрографа выполняется нормировка найденных значений приточностей года-аналога на основе рекомендаций, изложенных в СП 33-101-2003 [2].

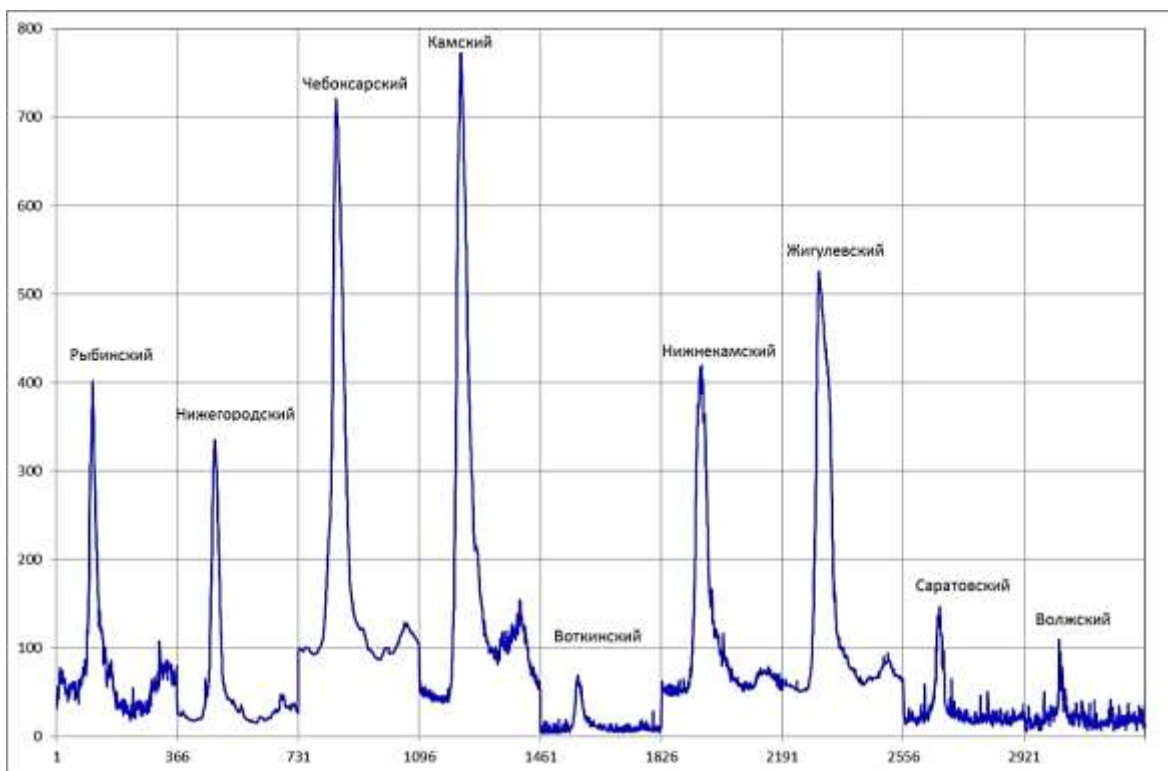


Рисунок 2 – Средние значения посуточных приточностей для гидроузлов ВКК по InFlowsAvg

В целом алгоритм расчетов выглядит следующим образом:

1. На основе данных гидрометеорологического бюллетеня ГМЦ на соответствующий период определяются величины:

V_p – средний объем притока за прогнозируемый месяц (млн. m^3)

V'_p – средний объем притока за период с начала прогнозируемого месяца до конца прогнозируемого квартала (млн. м³)

2. По прогнозным значениям в базе данных подбирается год-аналог, для которого реально наблюдавшиеся величины притока за месяц V_m и за период с начала прогнозируемого месяца до конца прогнозируемого квартала V'_m наиболее близки в описанном выше смысле к прогнозируемым величинам V_p и V'_p , соответственно. Гидрограф выбранного года принимается в качестве модели для расчета посуточных прогнозных значений приточностей.

3. Рассчитываются нормирующие коэффициенты k_M и k_Q по формулам [2]:

$$k_M = V_p / V_m \quad (1)$$

$$k_Q = (V'_p - V_p) / (V'_m - V_m) \quad (2)$$

4. Расчетный гидрограф $Q(t)$ (в объемах за сутки) вычисляется по формулам:

$$Q(t) = k_M * Q_n(t) \quad \text{при } t \in [t^M_n, t^M_k] \quad (3)$$

$$Q(t) = k_Q * Q_n(t) \quad \text{при } t \in [t_n, t_k] \ \& \ t \notin [t^M_n, t^M_k] \quad (4)$$

здесь:

$Q_n(t)$ - наблюдаемый модельный гидрограф приточности из таблицы InFlows;

$[t_n, t_k]$ - интервал времени от начала прогнозного месяца до конца квартала, (дни);

$[t^M_n, t^M_k]$ - интервал времени от начала прогнозного месяца до его окончания, (дни).

Очевидно, что $[t^M_n, t^M_k] \subseteq [t_n, t_k]$.

Описанный в [2] и реализованный в процедуре в соответствии с формулами (1)-(4) способ нормировки обеспечивает формирование прогнозного гидрографа, суммарные значения притока которого за прогнозный месяц и квартал (остаток квартала) совпадают со средними прогнозными значениями прогноза ГМЦ РФ.

Результаты. Описанная методика использована при расчетах прогнозных гидрографов по данным бюллетеня ГМЦ №22 от 30 марта 2021 г. на апрель и второй квартал этого года. Суммарный приток воды в водохранилища на Волге и Каме был спрогнозирован в апреле в пределах 47-67 км³ (среднее - 57 км³), во втором квартале - 135-165 км³ (среднее - 150 км³). Данные прогноза притока к гидроэлектростанциям в апреле и втором квартале приведены в таблицах 1 и 2, соответственно.

Таблица 1 – Прогноз притока воды к гидроэлектростанциям в апреле 2021 г.

Река	ГЭС	Прогноз притока в апреле, км ³
Волга	Рыбинская б/п	8.3-11.2
	Нижегородская б/п	4.1-6.2
	Чебоксарская б/п	11.7-16.8
	Жигулёвская б/п	7.0-9.6
	Саратовская б/п	1.8-2.8
	Волгоградская б/п	0.6-1.1
Кама	Камская	6.5-9.1
	Воткинская б/п	0.91-1.2
	Нижнекамская б/п	5.8-9.7

В обеих таблицах по Рыбинскому водохранилищу приведены данные по суммарному притоку с учетом вышележащих водохранилищ (Шекснинского, Угличского и Иваньковского).

Фактический суммарный приток к водохранилищам в апреле составил, по данным ГМЦ, 65,1 км³, т.е. оказался выше среднего и почти равен верхней границе прогноза.

Для Рыбинского водохранилища фактический приток составил по данным ГМЦ, 15.2 км³ (13 км³, по данным Верхне-Волжского БВУ) при среднем прогнозном значении 9.72 км³; для Камского - 7.26 км³ (7.96 км³, по данным Камского БВУ) при среднем прогнозном значении 7.77 км³.

Сравнение прогнозных гидрографов на апрель с фактически наблюдаемыми данными для Рыбинского и Камского водохранилищ приведено на диаграммах рис. 3

Таблица 2 – Прогноз притока воды к гидроэлектростанциям во II квартале 2021 г.

Река	ГЭС	Прогноз притока во втором квартале 2021 г
		км ³
Волга	Рыбинская б/п	15.3-19.9
	Нижегородская б/п	9.4-12.6
	Чебоксарская б/п	32.2-38.5
	Жигулёвская б/п	23.6-29.9
	Саратовская б/п	2.5-4.6
	Волгоградская б/п	0.55-1.5
Кама	Камская	29.1-37.0
	Воткинская б/п	1.5-2.3
	Нижекамская б/п	15.7-23.6

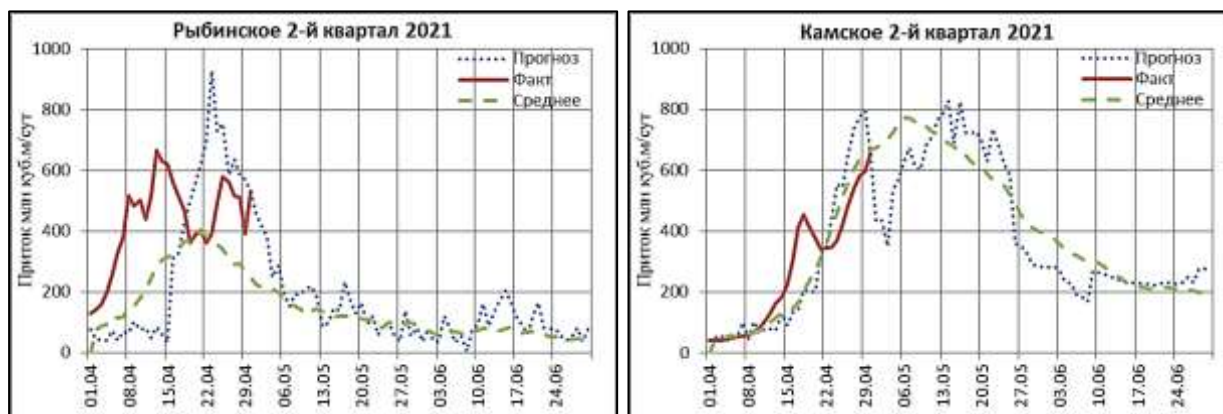


Рисунок 3 – Прогнозный и фактический гидрографы Рыбинского и Камского водохранилищ, апрель 2021 г.

Рыбинское водохранилище - прогнозная величина притока в апреле оказалась заметно ниже фактической, что послужило причиной довольно существенного отличия расчетного и фактического гидрографов. Половодье на Рыбинском водохранилище началось заметно раньше, чем это прогнозировал расчетный гидрограф, что и привело к существенному увеличению притока в апреле по сравнению с прогнозами. Оба гидрографа, и расчетный и фактический, лежат выше многолетнего среднестатистического.

Камское водохранилище - прогнозная и фактическая величины притока в апреле оказались близки. В результате расчетный гидрограф оказался более точным как по форме, так и по абсолютным величинам притока. Оба гидрографа близки к многолетнему среднестатистическому гидрографу Камского водохранилища.

Выводы

В ситуациях, когда фактические величины притока к водохранилищам оказываются близкими к прогнозируемым Гидрометцентром, расчетные гидрографы,

получаемые по описанной методике, дают удовлетворительное совпадение с наблюдаемыми. Описанная методика использовалась в течение 2-х лет для выполнения расчетов и формирования предложений для МРГ по формированию режимов работы водохранилищ при управлении Волжско-Камским каскадом как в меженные периоды, так и в периоды половодий.

Список литературы

1. M.V. Bolgov, A.L. Buber, A.A. Komarovskii, A. V. Lotov Search for Compromise Decisions in the Planning and Managing of Releases into the Lower Pool of the Volgograd Hydropower System. 2. Tactical Planning and Dispatching Control, Water Resources, 2019, Vol. 46, No. 3, pp. 480–491.

2. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик-тик (разд. 5.39). - Взамен СНиП 2.01.14-83.- Изд. офиц. - М.: Госстрой России. 2004. 75 с.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД НОРМАТИВОВ

Веницианов Е.В.¹, Лепихин А.П.²

Институт водных проблем РАН, г. Москва eugeny.venitsianov@gamail.com
Пермский федеральный исследовательский центр УРО РАН, г. Пермь

Аннотация: Система управления качеством вод природных водных объектов в настоящее время несовершенна. Основные причины – недостатки нормативной базы оценки качества и методик расчета распространения загрязнений. Методики расчета нормативов допустимых сбросов и аварийных сбросов не дают возможности адекватно рассчитать динамику загрязнений. Рассмотрены перспективы использования гидравлической и гидрохимической математических моделей в 1D – 2D – 3D постановке для оценки распространения загрязнений водных объектов.

Ключевые слова: математическое моделирование, сбросы сточных вод, качество природных вод, стандарты качества.

MODERN METHODS OF CALCULATING THE STANDARDS REQUIRED FOR WATER QUALITY REGULATION

Venitsianov E. V.¹, Lepikhin A. P.²

Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, eugeny, Moscow, venitsianov@gamail.com
Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm

Abstract: Water quality management system of natura water bodies is currently imperfect. The main reasons are the shortcomings of the regulatory framework of quality standards and methods for calculating the spread of pollution. Methods of calculating standarts of both permissible and emergency discharges do not make it possible to calculate the dunamics of pollution adeguately. Perspectives of using hydraulic and hydrochemicalmathematical models in 1D-2D-3D formulation for assessing the spread of pollution in water bodies are considered.

Keywords: mathematical modeling, wastewater discharges, natural water quality, quality standards.

Регулирование качества вод природных водных объектов является важной функцией управления водным хозяйством и включает перечень нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в водных объектах, нормативов допустимых сбросов (НДС), допустимых воздействий (НДВ), методик расчета концентраций загрязняющих веществ при их поступлении с учетом процессов смешения в водном объекте, а также требования к мониторингу и отчетности. В нашей стране регулятором сбросов сточных вод являются нормативы НДС и наилучшие доступные технологии (НДТ). Однако каждый из них имеет существенные недостатки.

Система НДТ ориентирована на перечень технологий и, соответственно, технологические нормативы качества вод. При этом не учитывается гидрологическая и гидрохимическая ситуации в водном объекте – приемнике сточных вод. Система НДС, напротив, наряду с нормативами качества в виде единых для всех водных объектов систем ПДК (либо рыбохозяйственных, либо хозяйственно-питьевого назначения), учитывает процесс смешения (разбавления) сточных вод, однако не учитывает множество других факторов (реальную гидродинамику и гидрохимию водного объекта).

Очевидно, актуальной проблемой является разработка системы нормирования сбросов, аналогичной National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) в США.

В совершенствовании нуждается система нормативов качества ПДК. Они должны зависеть от приоритетных видов водопользования. В международной практике они разработаны для хозяйственно-питьевого водопользования (Рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ)), рыбного хозяйства (Директива ЕЭС 78/659), орошения, рекреации (Директива по качеству воды для купания 76/100/ЕЕС), эстетического восприятия свойств и состава воды (Великобритания), водной экосистемы, в целом (Нидерланды) и зависят от состава природной воды. Например, в европейской практике нормирование содержания цинка и меди осуществляется с учетом жесткости. Российские нормативы в 30-100 раз (для цинка) и 40 раз (для меди) являются более жесткими, чем европейские, но влияние жесткости на их токсичность не учитывается. Такая ситуация с нормативами вызывает озабоченность.

Имеется печальный опыт с нормативами допустимых воздействий (НДВ), которые были разработаны для бассейнов всех крупных рек без какой-либо связи с нормативами допустимых сбросов и не включены в систему регулирования сбросов.

Разработанные во всех бассейнах Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) должны были обеспечить экологически и экономически обоснованные программы мероприятий по улучшению состояния водных ресурсов, однако действующая методика СКИОВО, разработанная в 80-е гг., этому требованию не удовлетворяет.

В большинстве стран влияние сбросов сточных вод предприятий (как действующих, так и проектируемых) оценивается с использованием математических моделей. В большинстве развитых стран для расчета максимальной суточной нагрузки на участок водного объекта или объект, в целом, используются сертифицированные программные комплексы, ориентированные на индивидуальный подход для каждого водного объекта и каждого водопользователя [4].

В России для этих целей используются расчётные методы начала 1950-х гг. и реализуются в виде объемных томов СКИОВО. Пришло время перейти к компьютерным информационно-вычислительным системам, обеспечивающим поддержку управляющих решений, что соответствует задачам цифровизации страны.

У нас накоплен опыт использования математического моделирования для решения задач регулирования качества вод. Рассмотрим принципы и инструментарий этого использования.

Для оценки и прогноза качества природных вод используются три блока моделей: гидрологические, гидрохимические, гидробиологические. Основой являются модели, описывающие гидрологию водного объекта. В зависимости от решаемых

проблем и характеристики водного объекта, могут использовать как простейшие балансовые схемы, так и физико-математические одно-, двух- и трехмерные (1D – 2D – 3D) модели. Приходится использовать сочетание моделей разного уровня.

Для водовыпусков, расположенных на малых водотоках вне зон активного техногенеза, оценка разбавления загрязненного стока может проводиться на основе простейшего балансового соотношения, требующего для своей реализации минимум исходных данных:

$$C_p = \frac{C_{сб}q_{сб} + C_{ф}q_{ф}}{q_{сб} + q_{ф}} \quad (1)$$

где C_p – концентрация некоторого загрязняющего вещества в результате разбавления сброса речным потоком, его концентрация в сбросе – $C_{сб}$, концентрация в реке – $C_{ф}$; расход сброса – $q_{сб}$, расход реки – $q_{ф}$. Данное соотношение может использоваться при отсутствии морфометрических характеристик русла. Для получения нормативов сброса используют формулу (1) при $q_{ф} = q_{норм}$ – минимальном нормативном расходе воды. Если морфометрические и гидравлические характеристики известны, то зависимость максимальной по сечению потока концентрации от расстояния l от створа сброса до контрольного створа задается простейшей зависимостью:

$$C(X) = \exp(-X) \times (C_{сб} - C_p) + C_p \quad (2)$$

где безразмерная длина $X = l \times D_{ef} / (V \times B^2)$, D_{ef} – эффективный коэффициент поперечный диффузии в русле [м²/сек], V – характерная скорость потока [м/сек], B и H – характерные значения ширины и глубины водотока [м].

Используемые у нас системы регламентации строятся на основе следующих предположений: медленные, инерционные изменения расходов воды; однородность состава воды в водотоке по глубине и ширине русла, т.е. отсутствие стратификации потока; нейтральная пловучесть сброса. Эти допущения открывают возможность использовать для этих целей хорошо отработанную систему уравнений «мелкой воды», которая предполагает однородность распределения по глубине. Однако в настоящее время возникают задачи, когда эти предположения не реализуются, когда требуется учет изменчивости расхода.

Таковым является участок р. Кама (Камского водохранилища) в пределах Соликамско-Березниковского промузла, куда поступают значительные объемы сильно минерализованных вод за счет притоков с высокой минерализацией, разгрузки не декларируемых диффузных источников с поверхности водосбора, промышленных площадок, грунтовых вод, протечек из шламохранилищ и пр.

В районе г. Березники, в придонной области находится значительный слой воды толщиной ~ 3÷5 м с повышенной минерализацией до 3.5 г/л, в то время как в поверхностном слое минерализация воды на порядок меньше [1]. Устойчивость границы раздела этих водных масс подтверждена натурными исследованиями. Распределение минерализации по глубине вдоль левого берега р. Кама в районе расположения на левом берегу Камы хвостохранилища ОАО Березниковского содового завода (БСЗ) для периода летней межени, согласно данным численных расчетов и натурных измерений.

Возникает проблема устойчивости распределения минерализации по глубине при воздействии различных гидродинамических факторов. Это могут быть ветровое воздействие или нестационарные течения в приплотинной зоне водохранилищ.

Резкие изменения расходов сброса через плотину Камской ГЭС существенно отражаются на гидродинамическом режиме водного объекта как в нижнем, так и в верхнем бьефах гидроузла. Натурные измерения колебаний гидродинамических параметров в верхнем бьефе Камской ГЭС (с характерным периодом изменений ~ 10³ ÷ 10⁴ с) были представлены в [2]. Получены хронологические графики изменения горизонтальной скорости течения и направления течения. Измерения показали, что

гидродинамические показатели потока характеризуются значительной внутрисуточной изменчивостью. Модули скорости течения изменяются от $\sim 0,16$ м/с практически до нуля. Направление скорости потока может изменяться на 180° .

Могут ли эти колебания влиять на распределение скоростей выше плотины?

Эти колебания были симитированы на модели течения в одномерной (1D) постановке.

Рассмотрено изменение расхода сброса на Камской ГЭС от $300 \text{ м}^3/\text{сек}$ до $3050 \text{ м}^3/\text{сек}$ в виде ступенчатой функции: 12 час. выдерживался сброс в $300 \text{ м}^3/\text{сек}$, а затем в течение 3 час. поднимался плавно до $3050 \text{ м}^3/\text{сек}$, на этом уровне выдерживался в течение 6 час. и затем в течение 3 час. плавно снижался до $300 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Обратные течения в водохранилище могут также вызываться достаточно интенсивным ветром южного направления. Характерная скорость дрейфового течения оценивалась по соотношению Экмана [3]. Использовались данные метеостанции г. Березники в период с 05.07 по 08.07.2020 г. Действительно, эпюра скоростей течения демонстрирует значительную изменчивость (рис. 1). Использован гидрологический программный пакет HEC-RAS v.5.0.7, разработанный Гидрологическим Инженерным Центром («HEC», США [4]),

Расчет показал, что обратные и дрейфовые течения не влияют на устойчивость распределения минерализации по глубине Камы.

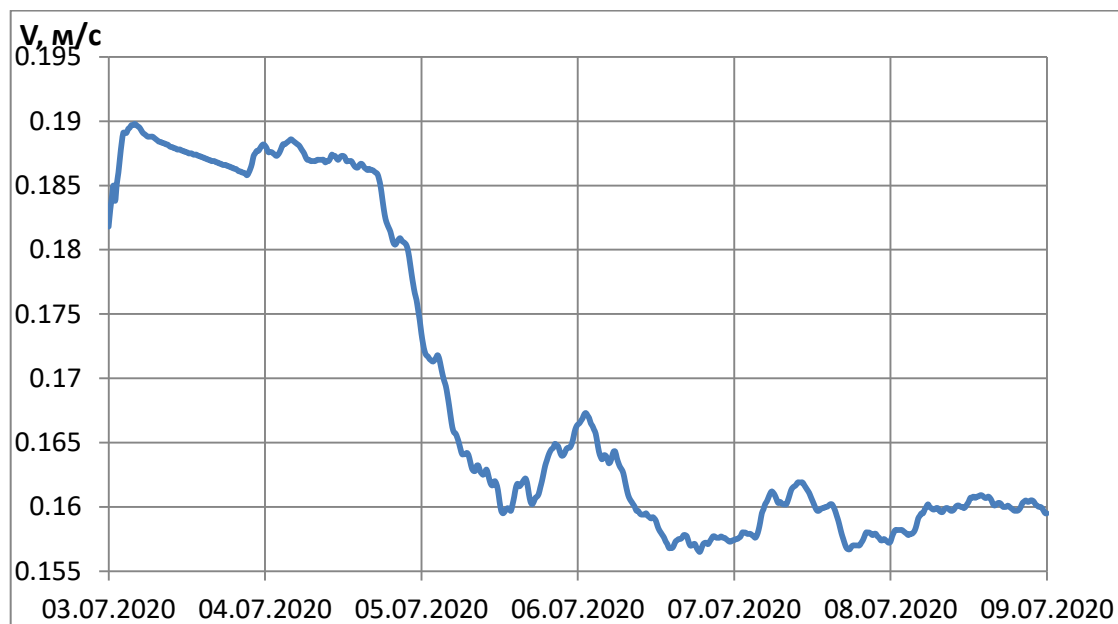


Рисунок 1 – Изменение скорости течения в р. Кама в районе г. Березники по результатам расчета в одномерной модели по данным расходов и уровней воды с 3 по 8 июля 2020 года

Для описания процессов смешения при поступлении загрязнений в масштабах Соликамско-Березниковского промузла использовалась гидродинамическая модель в 2D-постановке [2, 5]. Использован специализированный гидрологический пакет SMS v.11.1 американской компании AQUAVEO LLC. В его основе лежат несколько модулей (RMA2, RMA4, ADH, FESWMS, TUFLOW и др.), позволяющие решать различные гидрологические (модуль RMA2) и гидрохимические (модуль RMA4) задачи. Распределение загрязняющего вещества в районе поступления аварийного сброса рассчитывалось в 3D постановке при помощи пакета вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent.

В качестве примера рассмотрена задача распространения аварийного сброса сильно минерализованных вод с концентрацией 100 г/л хлоридов в р. Кама из левого

притока Камы – р. Толыч, выше водозабора ОАО «Азот» (на расстоянии 4 км от устья р. Толыч) для оценки возможности попадания сильно минерализованных вод на забираемую из р. Кама воду [5].

На рис. 2 показаны распределения минерализации по глубине р. Кама для разных вертикалей у водозабора «Азот» на расстояниях 50, 100, 150 м от берега.

Из представленных расчетом данных видно, что концентрации 800 мг/л достигается только на глубине более 6 м. Концентрация на поверхности – менее 450 мг/л, т.е. удовлетворяет санитарным нормам.

Данный пример достаточно наглядно показывают что современные методы расчетов позволяют учитывать плотностные стратификационные эффекты и существенную нестационарность расходов. Этот подход требует детального задания исходных параметров, в первую очередь, морфометрии рассматриваемого участка водного объекта. Чем более сложная расчетная модель используется, тем она, как правило, более чувствительна к точности задания исходных данных.

Рассмотренные модели могут успешно использоваться не только для решения задач регламентации антропогенных нагрузок на водные объекты и оценки последствий различных аварийных ситуаций, но и для анализа прохождения высоких паводков. Однако широкое внедрение современных методов сдерживается отсутствием соответствующей законодательной базы.

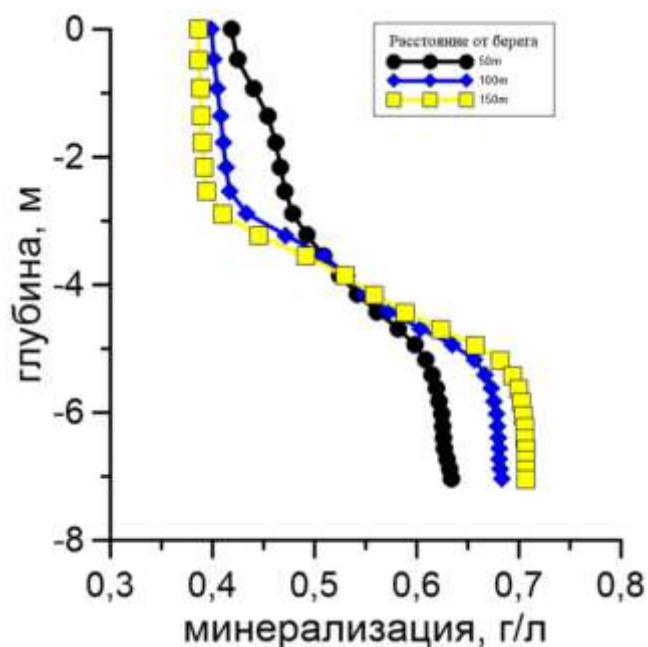


Рисунок 2 – Распределения минерализации по глубине для разных контрольных вертикалей у водозабора «Азот» на расстояниях 50, 100, 150 метров от берега

Выводы

Используемые в настоящее время методы и технологии расчетов при регламентации водохозяйственной деятельности не отвечают современным требованиям. Они в значительной мере основываются на представлениях и технических возможностях 70-80-летней давности.

В то же время имеются отработанные технологии расчетов, позволяющие значительно более обоснованно проводить оценки устойчивости систем питьевого и технического водоснабжения из поверхностных водных объектов. В частности, такой технологией является сопряжение моделей в 1D – 2D – 3D постановке.

Исследование выполнено в рамках гос. задания АААА-А18-118022090106-2 при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 19-41-590013) и гранта РНФ (грант № 17- 77-20093).

Список литературы

1. Куликов Г.И. Влияние сброса химической промышленности на минерализацию воды Камского водохранилища в районе г. Березники // Материалы всесоюз. совещ. по вопросам эксплуатации Камского водохранилища. Вып. 2. Пермь. 1959. С. 1-13.
2. Lyubimova T., Parshakova Ya., Lepikhin A., Lyakhin Yu., Tiunov A. The Effect of Unsteady Water Discharge through Dams of Hydroelectric Power Plants on Hydrodynamic Regimes of the Upper Pools of Waterworks// Water 2020, 12, 1336, DOI:10.3390/w12051336
3. Богословский Б.Б. Волны, течения и водные массы водоемов (Конспект лекций ЛГМИ). Изд. ЛПИ, 1980. 56 с.
4. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual (CPD-69) / Gary W. Brunner, Version 5.0, February 2016. P. 547.
5. Lyubimova T. P., Lepikhin A. P. and Parshakova Ya. N. Numerical Simulation of Highly Saline Wastewater Discharge into Water Objects to Improve Discharge Devices // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, 2020, Vol. 61, No. 7, pp. 203–209.

ТРАНСГРАНИЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОД С ЭСТОНСКОЙ РЕСПУБЛИКОЙ

Гаранжа Е.Б.

Невско-Ладожское бассейновое водное управление, г. Псков
E-mail:owr@inbox.ru

Аннотация: В статье дан краткий обзор сотрудничества в области охраны и рационального использования трансграничных вод с Эстонией за последние годы. Приводятся результаты и перспективы сотрудничества.

Ключевые слова: сотрудничество, охрана вод, рациональное использование.

TRANSBOUNDARY COOPERATION IN THE FIELD OF CONSERVATION AND EFFECTIVE USE OF TRANSBOUNDARY WATER WITH THE ESTONIA REPUBLIC

Garanzha E.B.

Neva-Ladoga basin water authority, Pskov

Abstract: The article provides with a short review of cooperation in the field of conservation and effective use of transboundary water with the Estonia Republic in the recent years. The results and perspectives of the cooperation are given.

Key words: cooperation, water conservation, effective use.

20 августа 1997 г. в Москве подписано Соглашение между Правительством Российской Федерации и Эстонской республикой о сотрудничестве в области охраны и рационального использования трансграничных вод. Объектом Соглашения являются трансграничные воды бассейна р. Нарва, включая Псковско-Чудское озеро.

Для координации деятельности по выполнению настоящего Соглашения Стороны создают совместную российско-эстонскую Комиссию по охране и рациональному использованию трансграничных вод, которая работает под

руководством двух сопредседателей, назначаемых Сторонами и имеющих одинаковые права. Сопредседателем Совместной российско-эстонской Комиссии по охране и рациональному использованию трансграничных вод с Российской Стороны является Заместитель Руководителя Федерального агентства водных ресурсов – Бокова Татьяна Викторовна, с Эстонской стороны – Вице-канцлер Министерства окружающей среды Эстонии Харри Лийв.

Стороны сотрудничают в целях обеспечения рационального, экологически обоснованного управления использованием водных ресурсов трансграничных вод и их сохранения в интересах населения и устойчивого развития. В рамках Комиссии существует две рабочие группы - по комплексному управлению водными ресурсами и по мониторингу, оценке и прикладным исследованиям. Комиссия проводит свои заседания не реже одного раза в год, заседанию Комиссии предшествуют заседания рабочих групп. Последнее, XXIII заседание Совместной Российско-Эстонской комиссии по охране и рациональному использованию трансграничных вод состоялось 26 ноября 2020 г. в формате видеоконференции.

Для обеспечения рационального использования водных ресурсов и их сохранения Стороны:

• принимают меры, необходимые для предотвращения или сокращения до согласованного минимума поступлений загрязняющих веществ в водные объекты

В Российской части бассейна, в период с 2010 по 2020 гг. в бассейне р. Нарва, включая Чудско-Псковское озеро, отмечено снижение объемов забора воды с 75,49 млн. м³ в 2010 г. до 53,38 млн. м³ в 2020 г., почти на 33 %, в т.ч. из поверхностных водных объектов – на 43 %. Объем забора воды из подземных водных объектов увеличился на 23 %. Снижение водопотребления произошло, в основном, за счет уменьшения объемов воды, используемой на хозяйственно-питьевые нужды, и связано с введением системы строгого учета объемов забираемой воды, а также для производственных целей, в связи с прекращением добычи сланца в 2010 г. За период с 2010 по 2020 гг. в бассейне р. Нарва объем сброса сточных вод снизился с 72,32 млн. м³ до 51,57 млн. м³, за счёт уменьшения объема сброса загрязненных сточных вод в бассейне Чудско-Псковского озера. В целом по бассейну с 2010 по 2020 гг. отмечено снижение массы сброса загрязняющих веществ, в связи со снижением объема сточных вод, содержащих загрязняющие вещества: фосфора общего – с 54,87 т/год до 44,59 т/год; азота общего – с 313,14 т/год до 282,84 т/год; взвешенных веществ – с 210 т/год до 142 т/год, а также снижение БПК полн. с 340 т/год до 178 т/год.

На XXIII заседании Совместной Российско-Эстонской Комиссии отмечено, что водохозяйственная обстановка в бассейне р. Нарва, включая Чудско-Псковское озеро, остается стабильной. В течение анализируемого периода **значительно уменьшилось количество сточных вод, содержащих загрязняющие вещества и сбрасываемых в водные объекты**. При этом увеличился объем очищенных сточных вод.

• обеспечивают применение современных технологий рационального использования водных ресурсов, эффективных очистных сооружений и водосберегающих технологий производства;

Общая сумма затрат на водохозяйственные и водоохраные мероприятия, проведенные в бассейне р. Нарва, включая Чудско-Псковское озеро, в 2020 г. составила 117985,98 тыс. руб. На водоснабжение населения и канализование, в т. ч. строительство очистных сооружений израсходовано - 94051,5 тыс. руб. Наиболее значимыми мероприятиями 2020 г. являются – строительство второй очереди подземного водозабора г. Псков, капитальный ремонт аэротенка №1 и замена воздуходувного оборудования ОС МП г. Псков «Горводоканал; профилактические работы на очистных сооружениях и ремонт канализационных сетей рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Балт-Фиш». На мероприятия по охране вод (в т.ч. реабилитация водных объектов) израсходовано -14006,7 тыс. руб. Наиболее значимым мероприятием

является «Расчистка и дноуглубление р. Великая в г. Псков, 1 этап», выполненное на средства, полученные по линии Росводресурсов. На прочие существенные мероприятия израсходовано - 9927,78 тыс. руб. Водохозяйственные мероприятия направлены на снижение антропогенной нагрузки на бассейн р. Нарва, включая Чудско-Псковское озеро.

Ключевые проблемы бассейна, важнейшие водохозяйственные и водоохранные мероприятия направленные на сохранение и восстановление водных объектов, обеспечение устойчивого функционирования водохозяйственных систем отражены в Схемах комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Нарва, разработанных на средства Росводресурсов и утвержденных Приказом Невско-Ладожского БВУ от 27.06.2014 г. № 82 на 10 лет, до 2024 г.

СКИОВО бассейна реки Нарва применяются на территории Псковской (87% от общей площади водосбора) и Ленинградской областях. Анализ хода реализации мероприятий осуществляется раз в год на всем временном этапе реализации мероприятий Схемы.

Ежегодный мониторинг реализации СКИОВО предполагает инвентаризацию проведенных мероприятий (мощность, финансовые реализации, процент достижения целевых показателей, эффективность), перечень мероприятий, предлагаемых субъектам РФ для дальнейшего включения (исключения) по зоне деятельности Невско-Ладожского БВУ. Невско-Ладожское БВУ готовит аналитическую записку о результатах мониторинга выполненных мероприятий. Аналитическая записка рассматривается на Бассейновом совете, и представляется в Федеральное агентство водных ресурсов.

Комиссия согласовывает приоритетные направления и программы научных исследований в области охраны и рационального использования трансграничных вод. Утверждены перспективные направления научно-прикладных исследований на период 2020-2022 гг.

В рамках перспективного направления научно-прикладных исследований по определению и снижению биогенной нагрузки на водные объекты, на основании ряда проведенных исследований и научно-прикладных работ, **основными источниками негативного воздействия на водные объекты определены нерегулируемые диффузные источники загрязнения**, к которым относятся крупные сельскохозяйственные предприятия. Рабочей группе по комплексному управлению водными ресурсами поручены актуализация перечня выявленных предприятий, являющихся потенциальными источниками диффузного загрязнения водных объектов, анализ способов уменьшения диффузной нагрузки от деятельности данных предприятий на водные объекты на основе существующих норм и ограничений, **обмен информацией о работе по экологическому надзору за окружающей средой в бассейне р. Нарва.**

В рамках реализации Соглашения, **с целью получения регулярной информации о состоянии трансграничных вод, прогнозирования его возможных изменений Стороны осуществляют мониторинг по согласованным Комиссией программам, Комиссия согласовывает единые нормативные показатели качества трансграничных вод, методики взятия проб воды и производства анализов.**

На основании предложений, выработанных Рабочей группой по мониторингу, оценке и прикладным исследованиям по программе на XXII заседании Совместной Комиссии утверждена программа мониторинга трансграничных водных объектов бассейна р. Нарва на 2019-2022 гг.

По данным мониторинга и научных исследований Сторон, в последние годы состояние воды в р. Нарва стабилизировалось, наметились тенденции к уменьшению содержания ряда веществ. Основными загрязнителями по-прежнему остаются металлы и органические вещества. Для р. Нарва характерно превышение российской нормы по химическому потреблению кислорода (ХПК_{Cr}), железа общего, марганца и меди. Загрязнение перечисленными металлами имеет, как правило, природное происхождение. Качество воды в р. Нарва и Нарвском водохранилище по

гидрохимическим показателям, в том числе по фосфору и азоту, соответствует установленным нормативам обеих Сторон. В целом, значительных изменений за последние годы не произошло. Состояние реки стабильное, наблюдается тенденция к улучшению. Состояние Нарвского водохранилища в последние годы остается относительно стабильным, на умеренно эвтрофном уровне.

Комиссия отметила возрастающую роль диффузного загрязнения и усиливающееся влияние изменения климата и рекомендовала продолжить работу по выяснению внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на трансграничные воды.

В соответствии с Планом работ Рабочей группы по мониторингу, оценке и прикладным исследованиям пересматриваются и **обновляются программы Сторон мониторинга трансграничных подземных водных объектов на 2023-2025 гг.**, а также сравнения используемых Сторонами методик и критериев оценки состояния подземных вод.

Стороны обеспечивают содержание в надлежащем техническом состоянии гидротехнических и водоохраных сооружений трансграничных водах.

Комиссия отметила конструктивное сотрудничество Сторон по поддержанию в необходимом техническом состоянии гидротехнических сооружений Нарвского гидроузла и дала высокую оценку степени скоординированности действий эксплуатирующих организаций (ПАО «ТГК – 1» и Enefit Energiatootmine AS). Комиссия рекомендовала продолжить мониторинг угля в 2021 году и по его итогам представить предложения по целесообразности реконструкции или строительства угрехода в районе Нарвского гидроузла.

В случаях возникновения чрезвычайной ситуации на трансграничных водах Стороны немедленно информируют об этом друг друга через свои компетентные органы. Рабочей группой по комплексному управлению водными ресурсами разработан, и Комиссией утвержден Регламент оповещения Сторон Российско-Эстонского соглашения по охране и рациональному использованию трансграничных вод о фактах и рисках возникновения чрезвычайных ситуаций на Чудско-Псковском озере и других трансграничных водных объектах.

Регламент разработан в целях:

- повышения оперативности информирования Сторон через свои компетентные органы о фактах и рисках возникновения чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС);
- упорядочения передачи информации компетентными органами Сторон;
- учета и контроля действий компетентных органов Сторон, предпринимаемых в целях предупреждения и снижения последствий ЧС, оказывающих влияние на состояние водных объектов либо связанных с негативным воздействием вод.

Основными решениями на последних заседаниях Комиссии являются:

- утверждение Программы мониторинга трансграничных водных объектов бассейна р. Нарва, включая Чудско-Псковское озеро, на 2019–2022 гг.;
- утверждение актуализированного перечня перспективных направлений научно-прикладных исследований в рамках деятельности Совместной Российско-Эстонской комиссии по охране и рациональному использованию трансграничных вод;
- утверждение Перспективного плана Российско-Эстонского долгосрочного сотрудничества в области охраны и рационального использования трансграничных вод и Планов работы на 2021 – 2022 гг.

Рабочей группы по комплексному управлению водными ресурсами и Рабочей группы по мониторингу, оценке и прикладным исследованиям, а также решения продолжить ежегодную оценку водохозяйственной обстановки в бассейне р. Нарва и эффективности проведения Сторонами водохозяйственных мероприятий и оценку состояния трансграничных водных объектов по данным мониторинга, совместных экспедиций и научных исследований.

ОТКЛИК ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДНЫЙ СТОК ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ СЕЛЕНГА И ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Гармаев Е.Ж.

Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ

E-mail: garend1@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается влияние изменения климата на речной сток на примере главного притока оз. Байкал. На основе дендроклиматической реконструкции расхода воды рек бассейна р. Селенга показано, что продолжительный маловодный период в начале XXI в. обусловлен, в том числе, естественной цикличностью водности в природе. Рассмотрены общие принципы совместного использования водных ресурсов трансграничной р. Селенга.

Ключевые слова: климат, река, сток, трансграничье, использование.

RESPONSE OF GLOBAL CLIMATE CHANGE TO THE WATER RUNOFF OF THE TRANSBOUNDARY SELENGA RIVER AND GENERAL PRINCIPLES OF THE JOINT USING ITS WATER RESOURCES

Garmaev E.Zh.

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude

Abstract. This paper examines the impact of the climate change on river runoff by the example of the main tributary of Lake Baikal. Based on the dendroclimatic reconstruction of the Selenga River basin water discharge it is shown that the prolonged low water period in the early XXI century is caused, among other things, by the natural cyclicity of water content in nature. The general principles of joint use of water resources of the transboundary Selenga River are considered.

Key words: climate, river, runoff, transboundary, use.

В современной геополитической и экономической ситуации анализ характера природопользования на трансграничных территориях приобретает особое значение. Данная проблема ещё более усиливается, если эта территория находится в бассейне одной реки. Для достижения экономически эффективного и экологически безопасного водопользования на водосборных территориях международных рек, находящихся под контролем двух и более стран, наиболее оптимальным и перспективным инструментом представляется применение бассейнового подхода к управлению природопользованием в целом, имея в виду, что речной бассейн считается неделимым гидрологическим единством [1]. Бассейновая концепция управления природопользованием на трансграничных территориях достаточно успешно практикуется в мире уже несколько десятилетий.

С учетом бассейнового подхода наиболее перспективно решаются проблемы организации, рационализации, оптимизации, районирования и т.д. В этом аспекте характер водопользования в бассейне трансграничной р. Селенга, являющейся главным притоком оз. Байкал, определяет направление эколого-экономической стратегии развития данной территории. Таким образом, достижение рационального, экологически безопасного водопользования и сохранение полноценных водных ресурсов трансграничного водного объекта возможно лишь при условии решения проблем использования и охраны вод на территориях сопредельных государств, в данном случае – России и Монголии.

Трансграничное взаимодействие экосистем осуществляется по многим направлениям, доминирующим из которых является негативное воздействие процессов опустынивания (в широком смысле), развивающихся на монгольской части водосбора р. Селенга, на водную экосистему ее российской части и в целом – на экосистему

оз. Байкал. В частности, изменение водного режима и качества воды в верхнем течении р. Селенга во многом определяет сохранность и чистоту вод приемного водоема.

На количественные показатели водного стока р. Селенга весьма существенное влияние оказывает наблюдаемое в последние десятилетия глобальное изменение климата, которое имеет отчетливое проявление на территории Забайкалья и северной части Центральной Азии – Монгольском плато. Этому способствуют внутриконтинентальное расположение обширной территории, и ее большая общая приподнятость над уровнем моря, а также особенности атмосферной циркуляции. Изменение климата отразилось на температуре приземного слоя атмосферного воздуха, увлажненности территории, многолетнемерзлых породах почв и состоянии водных объектов.

Так, среднегодовая температура воздуха в Забайкалье за последние 100 лет увеличилась на 1,9 °С, в монгольской части бассейна р. Селенга – на 2,3 °С. Это существенно выше, чем в других районах умеренных широт Евразии. Здесь широко распространена многолетняя мерзлота почвогрунтов, и по рассматриваемой территории проходит южная граница криолитозоны. На границе перехода от островного распространения мерзлоты к сплошной глубина протаивания почвогрунтов увеличилась с 210 до 280 см. Изменение климата и маловодье за последние 20 лет стали причиной уменьшения и пересыхания многих водных объектов. По данным исследований монгольских коллег, в стране на 2020 г. высохли 180 озер, и 116 малых рек оказались безводными, большая часть которых приходится на бассейн р. Селенга [2]. Если среднемноголетний расход воды Селенги в замыкающем створе с начала наблюдений до 2000 г. составлял $918 \text{ м}^3/\text{с}$, то по 2018 г. – $877 \text{ м}^3/\text{с}$. Лишь за последние два года объемы стока воды наблюдались в пределах многолетней нормы.

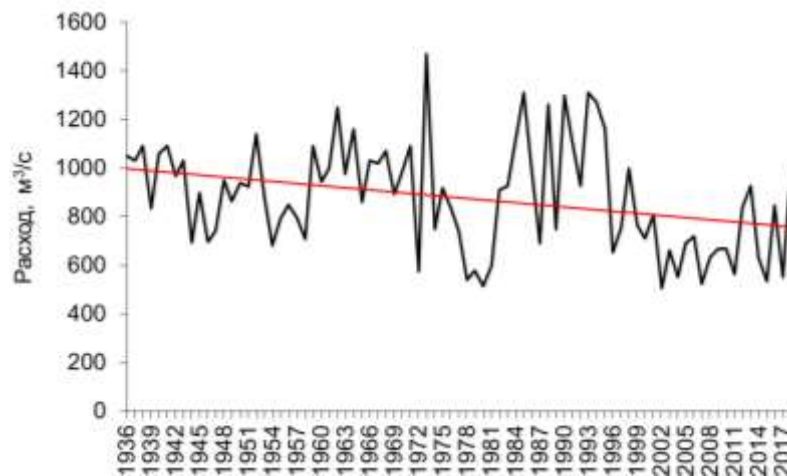


Рисунок 1 – Среднегодовые расходы воды р. Селенга (створ рзд. Мостовой)

Однако считаем неправомерным связывать отмеченное маловодье на рассматриваемой территории в начале тысячелетия исключительно с глобальным изменением климата. Хотя, по данным некоторых исследователей, это имело место. Так, ослабление атмосферной циркуляции привело к уменьшению переносов влаги муссонами, а также к росту давления в области климатической депрессии с центром в Монголии. Причиной подобных процессов вполне могут быть атмосферные блокирования (блокинги) определенного типа, а чередование конфигурации блокингов приводит к изменчивости количества осадков в бассейне озера. Результаты исследования статистических связей блокирования в разных регионах Евразии и

количества атмосферных осадков в летний период подтвердили эти предположения; были получены, в частности, значимые связи изменчивости блокирования и количества осадков в регионах, включающих области бассейна оз. Байкал [3].

В данном случае необходимо учитывать цикличность водности в природе. Так, в самом конце прошлого века вся рассматриваемая территория вошла в маловодную фазу. Другое дело, что маловодный период затянулся на «непривычные» 20 лет, вместо чередования между циклами через 5-7 лет. Непривычные – потому что за период инструментальных наблюдений в бассейне Селенги (около 100 лет) такого затянувшегося маловодья не было зафиксировано, а дендроклиматическая реконструкция водного стока р. Селенга демонстрирует, что подобные продолжительные засушливые периоды происходили и ранее, только через больший отрезок времени в 130-140 лет.

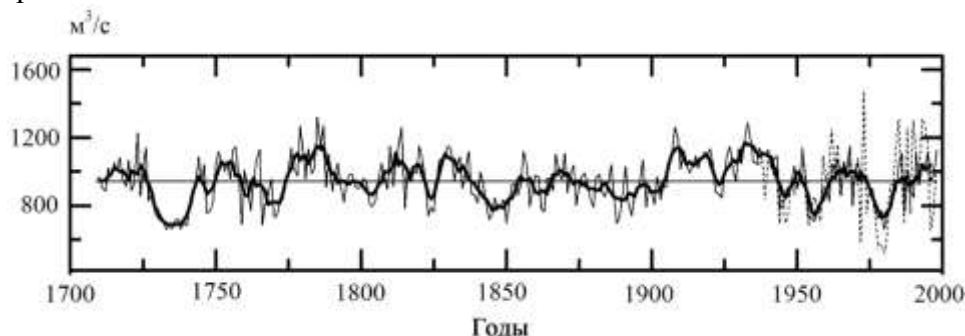


Рисунок 2 – Дендроклиматическая реконструкция расхода воды р. Селенга: пунктирная кривая – инструментальные измерения расходов воды на гидропосту рзд. Мостовой, тонкая кривая – погодичная реконструкция, жирная кривая – сглаженная за 5 лет, горизонтальная прямая – норма расхода воды за инструментальный период

Для трансграничной р. Селенга весьма актуальной представляется рассмотрение общих принципов совместного использования ее водных ресурсов. Тем более, что сток р. Селенга формируется на территориях двух стран практически поровну (табл. 1).

Таблица 1 – Обобщенные данные стока трансграничной р. Селенга

Водосбор р. Селенга	Характеристики стока								
	годовой сток			сток за теплый период года (апрель – октябрь)			сток за холодный период года (ноябрь – март)		
	$Q_{ср}, м^3/с$	C_V	r	$Q_{ср}, м^3/с$	C_V	r	$Q_{ср}, м^3/с$	C_V	r
Российская часть	471 50,8 %	0,23	0,72	434 92,1 %	0,36	0,62	37,3 7,9 %	0,37	0,6 3
Монгольская часть	456 49,2 %	0,36		408 89,5 %	0,65		47,9 10,5 %	0,38	

Под трансграничным взаимодействием между странами понимается взаимное влияние природных и антропогенных факторов одной страны на другую, которые наблюдаются на соответствующих сопредельных территориях. Существенным является вклад трансграничного переноса загрязняющих веществ в оз. Байкал, вносимых с водным стоком Селенги с территории Монголии, однако мы в этой работе остановимся исключительно на количественных показателях этой реки.

В своих исследованиях мы исходили из того, что так же, как и месторождения нефти, газа и других полезных ископаемых, находящиеся на территории той или иной страны, области формирования речного стока являются неотъемлемой частью ее природных богатств. Каждому народу такие богатства достаются отнюдь недаром, а

ценой усилий многих поколений, направленных на формирование нации и создание государства на территории, где эти богатства расположены. Следовательно, страна, на территории которой формируется сток трансграничных рек (верхняя), может использовать это природное богатство для извлечения прибыли, предоставляя часть своих водных ресурсов в пользование странам, расположенным ниже по течению (нижним).

Таким образом, в основе решения проблемы совместного использования водных ресурсов трансграничных рек, должны лежать принципы и методы, применяемые на рынке других природных ресурсов, например, нефти и газа. Однако, полная аналогия здесь невозможна в виду специфики водных ресурсов. Покупатель (нижняя сторона) не в состоянии обходиться без воды и отказываться от покупки. За редким исключением он не может и выбирать продавца. В свою очередь, продавец (верхняя сторона) не может не предоставлять часть своих водных ресурсов, так как полное использование всех водных ресурсов, формирующихся на территории верхней стороны сопряжено с огромными затратами, – это экономически невыгодно и неизбежно привело бы к неблагоприятной политической обстановке в регионе.

В данном случае принципы добрососедских отношений, взаимовыгодного сотрудничества и научно обоснованного решения проблемы совместного использования водных ресурсов трансграничной р. Селенги предполагают предварительные договорные ограничения. Например, верхняя сторона (Монголия) может взять на себя обязательство не уменьшать сток р. Селенга за определенный интервал времени (декада, месяц, сезон, год) ниже заданного процента (ограничение снизу) и не увеличивать его выше заданного процента в случае зарегулирования (ограничение сверху). Более важный для теплого сезона нижний предел и особенно актуальный для холодного сезона верхний предел должны обеспечивать экологическую безопасность нижней стороны. Договариваясь с нижней стороной (Россией) об этих пределах, верхняя сторона должна исходить не только из своих текущих и ожидаемых возможностей использования водных ресурсов; важно понимание того, что вызванные недостатком воды неблагоприятные условия для экономического и социального развития и предпосылки для возникновения экологической катастрофы на территории соседней нижней стороны неизбежно создадут проблемы и для верхней. Договорные ограничения, конечно же, должны распространяться и на качество речных вод, поступающих из Монголии в Россию, но, в силу ограничения объема статьи, мы их не рассматриваем.

При этом необходимо всегда помнить, что приемным водоемом Селенги является не просто оз. Байкал, охраняемый российским законом «Об охране озера Байкал», а объект Всемирного природного наследия ЮНЕСКО, находящийся под защитой Конвенции ООН «Об охране Всемирного культурного и природного наследия».

В нашем же случае Монголия, конечно, может осуществлять любую стратегию управления своими водными ресурсами, но не выходя за рамки общепринятых ограничений. Она может учитывать интересы российской стороны, например, обеспечивать более высокий сток в теплый сезон и более низкий в холодный (в случае зарегулирования стока). Подобные услуги она может продавать России как товар, не только покрывая свои издержки, но и извлекая прибыль. Оплата может производиться в валюте или товарами, объем и цена которых должны заранее оговариваться. Очень важно подчеркнуть, что в качестве оплачиваемого товара может выступать не только сама вода, но и режим ее поступления. Например, подача дополнительного количества воды в теплое время года и ограничение на ее подачу в холодное время неизбежно приведут к уменьшению количества вырабатываемой гидроэлектростанциями электроэнергии, строительство которых в бассейне Селенги активно прорабатывается монгольской стороной. Цена за такую услугу должна не только покрыть все издержки

Монголии, но и принести ей такую же прибыль, какую Россия может извлечь из подачи воды в выгодном для себя режиме.

Безусловно, российская сторона самостоятельно решает вопрос о целесообразности приобретения различных услуг с монгольской стороны (увеличение или уменьшение стока), закладывая его стоимость в задачу оптимизации использования водных ресурсов. При этом она должна быть уверена в том, что Монголия действительно изменяет количество речных вод в гарантированных пределах. Заниженная оценка стока трансграничных рек ведет к ущербу для нижней стороны, завышенная – для верхней. В обоих случаях на рынке услуг по водоснабжению возникнут сбои, нежелательные для обеих сторон. Следовательно, мониторинг водных ресурсов верхних частей бассейнов трансграничных рек должен осуществляться совместно, общими средствами и ко всеобщей выгоде.

Наиболее трудным и вызывающим наиболее острую дискуссию является ограничение снизу, т.е. процент стока каждой трансграничной реки, который не может удерживаться верхней стороной и должен предоставляться нижней стороне бесплатно (квота нижней стороне). Определение этой квоты выходит за рамки теоретических расчетов в область политических соглашений. Однако теоретические расчеты и, в частности, разработанная модель совместного использования водных ресурсов трансграничных рек позволяют правильно оценить смысл квоты и ее роль в рыночных взаимоотношениях между Монголией и Россией.

В целях научного обоснования решения проблемы экономически эффективного и экологически безопасного использования водных ресурсов трансграничной р. Селенга, в монографии расписана общая теоретическая схема [4]. Рассматриваемая схема взаимодействия обеих стран в области использования вод р. Селенга оптимизирует стратегию поведения участников водного рынка. Для бассейна Селенги на межгосударственном уровне такими участниками являются Россия и Монголия. Однако водный рынок должен функционировать и на уровне субъектов и районов Российской Федерации, аймаков и сомонов Монголии, а в идеале, и на уровне отдельных хозяйствующих субъектов-водопользователей. Ввиду своего огромного значения для всего человечества оз. Байкал должно рассматриваться в качестве самостоятельного участника со своими требованиями и интересами. По аналогии с принципами Киотского Протокола, для всех участников рынка вводятся юридически закрепленные договорные квоты на использование водных ресурсов. Эти квоты должны быть согласованы со всеми участниками рынка (ведь ими могут выступать не только государства) и экологически и экономически обоснованы с учетом изменяющихся природных (климатических) условий.

Исходя из того, что сток р. Селенга формируется на территориях Монголии и России приблизительно в равной степени, в качестве первого приближения квоты на использование и загрязнение ее вод для обеих стран могут быть приняты по 50 %. Не выходя за рамки своих квот, каждый из участников может осуществлять любую стратегию их использования, руководствуясь принципами экономической эффективности и экологической безопасности. При этом возможна купля и продажа части квот, обеспечивающая функционирование водного рынка. Цены на квоты формируются в соответствии с общими принципами рынка и определяются экономически оправданными затратами на развитие систем использования в сельском хозяйстве, промышленности и в быту. Они должны меняться в зависимости от состояния водных ресурсов, экономической, демографической, экологической и климатической ситуаций.

Объектом оптимизации модели (схемы) является суммарный экономический эффект, который каждая из сторон получает в результате использования своей квоты на воду и ее загрязнение, продажи ее части или приобретения части квот у других участников рынка. Обоснованность тех или иных решений зависит от полноты и

надежности информации о текущем и ожидаемом режимах трансграничной реки. Для каждой из сторон дефицит такой информации может привести к экономическому ущербу. Исходя из этого, для каждой из сторон модель (схема) позволяет оценить оправданные затраты на развитие системы гидрологического и экологического мониторинга. Определение квот на воду и ее загрязнение выходит за рамки гидрологии и экологии и лежит в плоскости политических и экономических решений. Однако модель оптимизации водного рынка позволяет правильно оценить смысл этих квот, экономические и экологические последствия от их принятия и их роль во взаимоотношениях сторон. Практическая реализация изложенных принципов может оказаться полезной при совместном использовании и охране водных ресурсов не только трансграничной Селенги, но и для других международных рек.

Список литературы

1. Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Изд-во ин-та географии СО РАН, 2001. 163 с.
2. Новости Национального агентства Монголии «Монцамэ», 30.04.2021.
3. Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Kochetkova O.S., Mordvinov V.I. Summer circulation of the Northern Hemisphere atmosphere in periods of strong and weak East Asian monsoon. *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2015. Vol. 28, No. 3, pp. 258-264.
4. Гармаев Е.Ж., Христофоров А.В. Водные ресурсы рек бассейна озера Байкал: основы их использования и охраны. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2010. 231 с.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТРАНСГРАНИЧНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

Гертман Л.Н., Глинская А.Н., Бладыко В.Д., Буко И.Ю.

Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (РУП «ЦНИИКИВР»), Минск, Республика Беларусь,
E-mail: lubov.hertman@yandex.by

Аннотация: Статья посвящена вопросам развития в Республике Беларусь мониторинга за состоянием водных объектов по гидроморфологическим показателям, которые являются составной частью оценки экологического состояния водных объектов. Гидроморфологические показатели являются важной составляющей для разработки мероприятий по улучшению состояния водных объектов, а также выполнения задачи 6 ЦУР «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех». Для трансграничных водных объектов предлагается проведение совместных российско-белорусских исследований с разработкой общих методических подходов.

Ключевые слова: гидроморфологические показатели, мониторинг, охрана водных объектов.

DEVELOPMENT OF A HYDROMORPHOLOGICAL MONITORING SYSTEM AT CROSS-BORDER RIVER SEGMENTS

L. N. Hertman, A. N. Hlinskaya, V. D. Bladyka., I. Yu. Buka

Central Research Institute for Complex Use of Water Resources
E-mail: lubov.hertman@yandex.by

Abstract: The article is devoted to the development in the Republic of Belarus of monitoring the state of water bodies by hydromorphological indicators, which are an integral part of the assessment of the ecological state of water bodies. Hydromorphological indicators are an important component for the development of measures to improve the state of water bodies, as well as the

achievement of SDG target 6 “Ensuring the availability and rational use of water resources and sanitation for all”. For transboundary water bodies, it is proposed to conduct joint Russian-Belarusian studies with the development of common methodological approaches.

Keywords: hydromorphological parameters, monitoring, protection of water bodies.

Интенсивное антропогенное преобразование природных комплексов речных бассейнов приводит к изменению естественного баланса и экологического состояния рек.

Водным кодексом Республики Беларусь одним из основных принципов охраны и использования вод определено улучшение экологического состояния (статуса) поверхностных водных объектов и их частей, который устанавливается на основании гидробиологических показателей с использованием гидрохимических и гидроморфологических данных [1].

Сеть мониторинга поверхностных вод в трансграничных бассейнах рек Днепр и Западная Двина по гидрохимическим и гидробиологическим показателям практически сформирована. В бассейне реки Днепр на территории Беларуси мониторинг проводится на 38 водных объектах (25 водотоках, 13 водоемах). Сеть станций наблюдений насчитывает 88 гидрохимических пунктов, включая 5 фоновых и 6 трансграничных участков рек. Гидробиологическими наблюдениями охвачено 23 реки, 10 водохранилищ и 3 озера (36 водных объектов). В бассейне реки Западная Двина на территории Беларуси мониторинг проводится на 45 водных объектах (10 водотоках, 35 водоемах). Сеть наблюдений насчитывает 79 гидрохимических пунктов, включая 4 фоновых и 4 трансграничных участков рек. Гидробиологическими наблюдениями охвачено 10 рек, 13 водоемов.

В то же время процесс развертывания наблюдательной сети за состоянием поверхностных вод по гидроморфологическим показателям в Республике Беларусь находится в начальном состоянии. В рамках выполнения Государственной программы обеспечения функционирования и развития Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь на 2011 – 2015 годы начались первые работы по формированию сети наблюдений за гидроморфологическими показателями состояния рек [2, 3], включая сильноизмененные участки в районах размещения крупных гидротехнических сооружений.

РУП «ЦНИИКИВР» разработаны рекомендации по организации поэтапного развертывания сети пунктов наблюдений по гидроморфологическим показателям в Республике Беларусь. На основе проведенных исследований был предложен график организации наблюдений за состоянием рек на участках размещения крупных гидротехнических сооружений и на отдельных пунктах наблюдений.

Методической основой выполнения работ являются разработанные в РУП «ЦНИИКИВР» СТБ 17.13.04-01-2012/EN 14614:2004 «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Руководство по оценке гидроморфологических показателей состояния рек» [4] и СТБ 17.13.04-02-2013/EN 15843:2010 «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Руководство по оценке степени изменения гидроморфологических показателей состояния рек» [5]. Данные нормативные документы регламентируют работы по оценке гидроморфологических показателей состояния рек и степени их изменения.

По характеру воздействия на водный режим и экологическое состояние рек выделяются три основных группы факторов хозяйственной деятельности:

- непосредственное изменение объемов стока (заборы воды, водоотведение использованных вод);
- преобразование в русловой сети (создание водохранилищ и прудов), изменение русловых процессов;

- преобразование поверхности водосбора (сельскохозяйственное производство, мелиорация земель, урбанизация территорий, вырубка леса, рекреация).

В естественных условиях ход руслового процесса определяется соотношением между стоком, изменяющимся во времени, и поступлением наносов с водосборной площади, которое также не остается постоянным. В многолетнем разрезе характер этой связи может меняться в связи с изменением климатических условий, характером растительного покрова на водосборе, нарушением источников питания речного потока. Это приводит к весьма медленным русловым деформациям, которые обычно происходят в течение столетий. Ход таких изменений может в сотни раз ускоряться в результате регулирования русел, что в ряде случаев приводит к негативным необратимым изменениям в состоянии водотока (вплоть до его полного исчезновения).

В полностью зарегулированных малых реках интенсивное заиление и зарастание часто отмечается по всей длине, что приводит к повсеместному обмелению русел и потере гидравлической связи с грунтовыми водами и, как следствие, к снижению водности.

В бассейнах малых рек, которые зарегулированы на отдельных участках, изменение ландшафтно-гидрологических условий происходит лишь частично. Если суммарная протяженность реки в естественном положении составляет более половины ее длины, то экологическая система реки сможет восстановить свое первоначальное состояние через определённый период времени.

На спрямленных канализованных малых реках преобладают немеандрические однорукавные речные русла. На них отмечается превалирование побочного типа руслового процесса, иногда встречается незавершенное меандрирование.

Сильное стеснение поперечного сечения реки дамбами неизбежно вызывает заметное повышение максимального уровня воды не только в междамбовом пространстве, но и на некотором участке реки выше сооружений. Возрастает также скорость течения воды в реке, что чревато опасностью саморазмыва русла и разрушения откосов дамбы.

Наиболее серьезные изменения связаны с преобразованиями в русле реки и продольной непрерывностью, вызванной строительством гидротехнических сооружений, в частности шлюзов.

Изменение очертаний речных участков в результате создания на них гидротехнических сооружений сказывается на свойствах дна и берегов, на динамике перемещения отложений, на гидрогеологическом режиме прилегающей территории, общей экологической обстановке. Последствия могут распространяться в течение ряда лет вверх и вниз по течению не только в пределах русла реки, но и на прилегающую территорию. В отсутствие мониторинга этих процессов изменение экологической обстановки может создать помехи для хозяйственной деятельности в целом и для работы гидротехнических сооружений в частности.

Проведенные исследования позволили определить наиболее репрезентативные участки рек и рекомендовать их для включения в Национальную систему мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь.

В настоящее время с целью развертывания сети пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод по гидроморфологическим показателям в трансграничных с Россией речных бассейнах Западной Двины и Днепра проведены исследования и включены в сеть мониторинга ряд пунктов наблюдений. В бассейне Днепра - для 8 участков рек: Березина (г. Борисов), Плисса (г. Жодино), Удога (г. Чериков), Гайна (н.п. Гайна), Жадунька (г. Костюковичи), Свислочь (н.п. Королищевичи), Друть (н.п. Чигиринка), Друть (н.п. Городище); в бассейне Западной Двины – 13 участков рек: Западная Двина (г.п. Сураж); Западная Двина (г. Витебск); Западная Двина (г. Полоцк); Улла (г. Чашники); Усвяча (н.п. Новоселки); Дисна (г.п. Шарковщина); Каспля (г.п. Сураж); Полота (г. Полоцк); Черница (н.п. Добромисли);

Ушача (г. Новополоцк); Оболь (н.п. Желудово), Черница (н.п. Добромысли), Нища (н.п. Клястицы) [6].

Для получения полноценной картины изменений по гидроморфологическим показателям в таких крупных трансграничных бассейнах данного незначительного количества пунктов явно недостаточно. Особенно это важно при условии, что на трансграничных участках водных объектов в Республике Беларусь наблюдения по гидроморфологическим показателям в настоящее время не ведутся.

В то же время в рамках задач ЦУР 6 «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех» рассматривается показатель 6.3.2 «Доля водных объектов с хорошим экологическим статусом». Оценка состояния водных объектов по гидроморфологическим показателям является необходимой составляющей частью для оценки экологического статуса водных объектов в целом.

Организация и оптимизация сети наблюдений за гидрологическим и гидроморфологическим режимами водных объектов до 2030 года находятся в числе мероприятий, направленных на улучшение экологического состояния (статуса) поверхностных водных объектов (их частей), определенных в приоритетных направлениях развития Национальной системы мониторинга окружающей среды, а в части повышения экологического статуса водных объектов бассейна Днепра определены Планом управления бассейном реки Днепр.

Важным представляется организация сети наблюдений по гидроморфологическим показателям на трансграничных водных объектах с целью разработки мероприятий по улучшению состояния (статуса) водных объектов.

Задачами такого исследования могут быть следующие. Во-первых, требуется провести анализ и оценку нормативной правовой и научно-технической базы для возможности проведения гидроморфологического мониторинга в Республике Беларусь и Российской Федерации. Во-вторых, требуется также разработка общих методических подходов к оценке гидроморфологических изменений и их направленности на трансграничных участках рек в том числе с использованием современных методов, в том числе дистанционного зондирования земли. По результатам оценки этих изменений и их направленности с применением разработанных методических подходов и натурных исследований трансграничных водотоков могут быть разработаны предложения по организации сети наблюдений по гидроморфологическим показателям на трансграничных водных объектах. Важным аспектом также является разработка научно-методических и нормативных документов по организации, проведению, обмену данными наблюдений на трансграничных водных объектах в Республике Беларусь и Российской Федерации.

Исследования должны базироваться не только на теоретическом материале, но и с проведением экспедиционных исследований на пилотных участках трансграничных рек в бассейнах Западной Двины и Днепра.

Список литературы

1. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З.
2. Указ Президента Республики Беларусь «Об утверждении Государственной программы обеспечения функционирования и развития Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь на 2011 - 2015 годы» от 13.06.2011 №244.
3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016–2020 годы» от 17 марта 2016 г. № 205.

4. СТБ 17.13.04-01-2012/EN 14614:2004 Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Руководство по оценке гидроморфологических показателей состояния рек.

5. СТБ 17.13.04-02-2013/EN 15843:2010 Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Руководство по оценке степени изменения гидроморфологических показателей состояния рек.

6. Обеспечение поэтапного развертывания сети пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод по гидроморфологическим показателям. Этап 4: отчет / ЦНИИКИВР; рук. Гертман Л.Н. – Минск, 2020. – 110 с.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК БАСЕЙНА УРАЛА И ИХ ПРИЧИНЫ

Георгиевский В.Ю., Грек Е. А., Молчанова Т. Г.

ФГБУ ГГИ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург

E-mail: priem@ggi.nw.ru

E-mail: georg@nw.ru

Аннотация. В статье приведен научный анализ трансформаций в водном режиме рек в результате воздействия антропогенных факторов и влияния изменяющихся климатических условий. Исходными материалами для анализа послужили данные о месячном, годовом, максимальном и минимальном осенне-летнем и зимнем стоке за весь период наблюдений по 2018 г. включительно.

Ключевые слова: река, бассейн реки, сток реки, водный режим, водохранилище.

LONG-TERM CHANGES OF THE URAL BASIN RIVERS RUNOFF AND THEIR CAUSES

Georgievsky V.Yu., Grek E.A., Molchanova T.G.

FSBI «State Hydrological Institute», Saint Petersburg

Abstract. Scientific analysis of transformations in rivers' water regime as a result of the impact of anthropogenic factors and influence of changing climatic conditions is given in the article. Data about monthly, annual, maximum and minimum, autumn and summer and winter runoff for the whole period of observations up to 2018 inclusive served as initial materials for the analysis.

Key words: river, river basin, river runoff, water regime, reservoir.

Водные ресурсы р. Урал являются важнейшим фактором, обеспечивающим устойчивое социально-экономическое развитие как в российской, так и в казахстанской частях бассейна. Водный режим Урала испытывает значительные антропогенные воздействия, прежде всего связанные с регулированием стока реки и её притоков в целях наиболее полного удовлетворения потребностей населения и отраслей экономики в воде. В последние десятилетия формирование стока в бассейне реки происходит в условиях происходящих климатических изменений, характеризующихся, прежде всего, повышением приземной температуры воздуха.

Научный анализ трансформаций в водном режиме рек, в результате воздействия антропогенных факторов и влияния изменяющихся климатических условий, должен основываться на многолетних данных наблюдений за стоком, охватывающих периоды с существенно различными условиями хозяйственного освоения их водосборов и

отличающихся по основными климатическим параметрам. В настоящей работе были использованы данные по 3 гидрологическим постам, расположенным на р. Урал и 3 постам на основных притоках реки (табл. 1). Исходными материалами для анализа многолетних колебаний стока рек послужили данные о месячном, годовом, максимальном и минимальном летне-осеннем и зимнем стоке за весь период наблюдений по 2018 г. включительно.

Стабильное обеспечение водой населения и отраслей экономики в условиях очень значительной внутригодовой неравномерности стока рек бассейна Урала, когда в весенний период проходит большая часть годового стока, возможно только при его регулировании водохранилищами. На р. Урал, в верхней части его бассейна, в период с 1939 по 1958 гг. были сооружены три водохранилища. Крупнейшим из них является Ириклинское, с полезным объёмом 2760 млн.м³, существенно превышающим средний многолетний годовой сток в створе плотины, что позволяет осуществлять не только сезонное, но и многолетнее регулирование стока. Наполнение водохранилища происходило в период 1958-1966 гг. В результате водный режим реки ниже плотины, начиная с 1958 г., претерпел существенные изменения. Интенсивное строительство водохранилищ в бассейнах притоков р. Урал происходило в 1970-х -1980-х гг. Как правило, сооружались водохранилища с полезным объёмом менее 50 млн.м³, оказывающие только локальное воздействие на водный режим рек, на которых они расположены, и практически не влияющие на сток р. Урал. Отдельно следует отметить два водохранилища, построенных на р. Илек и его притоке р. Каргала: Актюбинское с объёмом 245 млн.м³ и Каргалинское с объёмом 280 млн.м³. Суммарная ёмкость этих водохранилищ сопоставима с объёмом годового стока р. Илек, и их влияние на водный режим этой реки может быть весьма существенным.

Таблица 1 - Сведения о гидрологических постах

Код поста	Название водного объекта	Расстояние		Площадь водосбора, км ²	Отметка нуля графика поста		Координаты, в долях градуса	
		от истока, км	от устья, км		м	высот	широта	долгота
19063	р.Урал - г.Оренбург	1132	1296	82300	81,60	БС	51,45	55,07
19135	р.Орь - с.Истемес	249	83	13000	208,35	БС	50,55	59,04
19159	р.Сакмара - с.Каргала	766	32	29600	86,97	БС	51,57	55,11
19197	р.Илек - пос.Веселый 1	326	297	17200	123,90	БС	50,59	55,34
19072	р.Урал-с.Кушум	1696	732	190000	15,79	БС	50,87	51,17

В статье об особенностях климата на территории Российской Федерации [1] отмечается, что средняя по России скорость роста среднегодовой температуры воздуха в 1976-2018 гг. составила 0,47⁰С /10 лет, т.е. в 2,5 раза больше скорости роста глобальной температуры. Рост среднегодовых температур наблюдается во всех физико-географических регионах страны, в том числе и в бассейне р. Урал, где их повышение за рассматриваемый период оценивается примерно в 0,50⁰С/10 лет. По данным, приведённым в работе [2], интенсивность потепления больше в среднем и южном

районах бассейна. Так аномалии годовой температуры в 1995-2015 гг., в сравнении с периодом 1961-1990 гг., составили для метеорологических станций Верхнеуральск, Оренбург и Уральск, $0,7^{\circ}\text{C}$, $1,1^{\circ}\text{C}$ и $1,1^{\circ}\text{C}$ соответственно. Потепление происходит во все сезоны года. С середины 1990-х годов отмечается резкое увеличение суммы положительных температур воздуха за холодный период.

В многолетних колебаниях годовых сумм осадков в бассейне Урала не наблюдается однонаправленных значимых трендов, а присутствуют фазы повышенной и пониженной увлажнённости различной продолжительности.

При анализе многолетних изменений стока рек бассейна Урала следует иметь в виду, что только на двух гидрологических постах (р. Урал – г. Верхнеуральск и р. Сакмара – с. Каргала) водный режим можно рассматривать как условно-естественный, т.е. существенно ненарушенный влиянием хозяйственной деятельности. Наполнение Ириклинского водохранилища началось в 1958 г., что даёт основание считать эту дату началом периода с антропогенно - изменённым водным режимом р. Урал на ниже расположенных постах. Следует отметить, что выше гидрологического поста у с. Кушум, являющегося входным створом на территории Казахстана, и по которому обычно оцениваются водные ресурсы р. Урал, часть стока реки поступает в Кушумский канал, функционирующий с 1956 г. По данным, приведённым в [2], в период 1970-2014 гг. объем забираемый в канал воды составил, примерно, $0,7 \text{ км}^3/\text{год}$. Сток р. Илек интенсивно использовался для водоснабжения и орошения ещё в 1950-е гг., а в дальнейшем, в результате ввода в эксплуатацию Каргалинского (1976 г.) и Актюбинского (1988 г.) водохранилищ многолетнего регулирования, антропогенное воздействие на водный режим реки возросло. На водный режим р. Орь оказывают влияние плотины, перехватывающие часть стока весеннего половодья, с последующим использованием в меженный период, а также Красно-Чабийское водохранилище с полезной ёмкостью $53,6 \text{ млн. м}^3$, расположенное на её притоке.

Таким образом, антропогенное воздействие на водные ресурсы р. Урал начало оказывать влияние со второй половины 1950-х гг., достигнув максимума в конце 1980-х гг., с последующим снижением объёмов использования речных вод и уменьшением безвозвратного водопотребления. Несмотря на это, формальная оценка однородности всех рассматриваемых рядов годового стока по критерию Стьюдента свидетельствует об их стационарности. По нашему мнению, стационарность рядов по среднему объясняется тем, что доминирующими факторами, определяющими многолетнюю динамику годового стока рек бассейна Урала, являются климатические.

В табл. 2 приведены статистические параметры годового стока рек, определённые по данным за весь период наблюдений.

Таблица 2 - Статистические параметры годового стока рек бассейна р. Урал

Река-пост	Период наблюдений	Характеристики годового стока за период наблюдений			
		$Q_{\text{ср.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$W, \text{ млн м}^3$	C_v	C_s
р.Урал - г. Верхнеуральск	1936-2018	7,81	246	0,56	1,03
р.Урал - г. Оренбург	1933-2018	94,5	2980	0,74	1,67
р.Урал-с.Кушум	1915-2018	305	9620	0,56	1,19
р.Орь - с.Истемес	1950-2018	6,25	197	0,69	1,23
р.Сакмара - с. Каргала	1920-2018	135	4260	0,43	0,67
р.Илек - пос. Веселый 1	1950-2018	22,2	700	0,58	1,38

На рис. 1 приведены разностные интегральные кривые годового и сезонного стока р. Урал у г. Верхнеуральск и р. Сакмара у с. Каргала, многолетние колебания которых определяются влиянием климатических факторов. Представленные на рис. 1 данные позволяют сделать вывод о ряде особенностей многолетней динамики сезонного стока этих рек. В многолетних колебаниях водности р. Сакмара чётко прослеживается синфазность стока всех сезонов. В период, начиная с середины 1980-х гг., характеризующийся, значительным повышением приземной температуры воздуха, чётко прослеживается фаза увеличения всех составляющих годового стока, завершившаяся во второй половине 2000-х гг. В последнее десятилетие наметилась тенденция снижения стока. Реакция сезонного стока р. Урал у г. Верхнеуральск на современные климатические изменения иная. Если зимний сток в последние 30-35 лет так же, как и на р. Сакмара, возрастает, то весенний и летне-осенний - снижается.

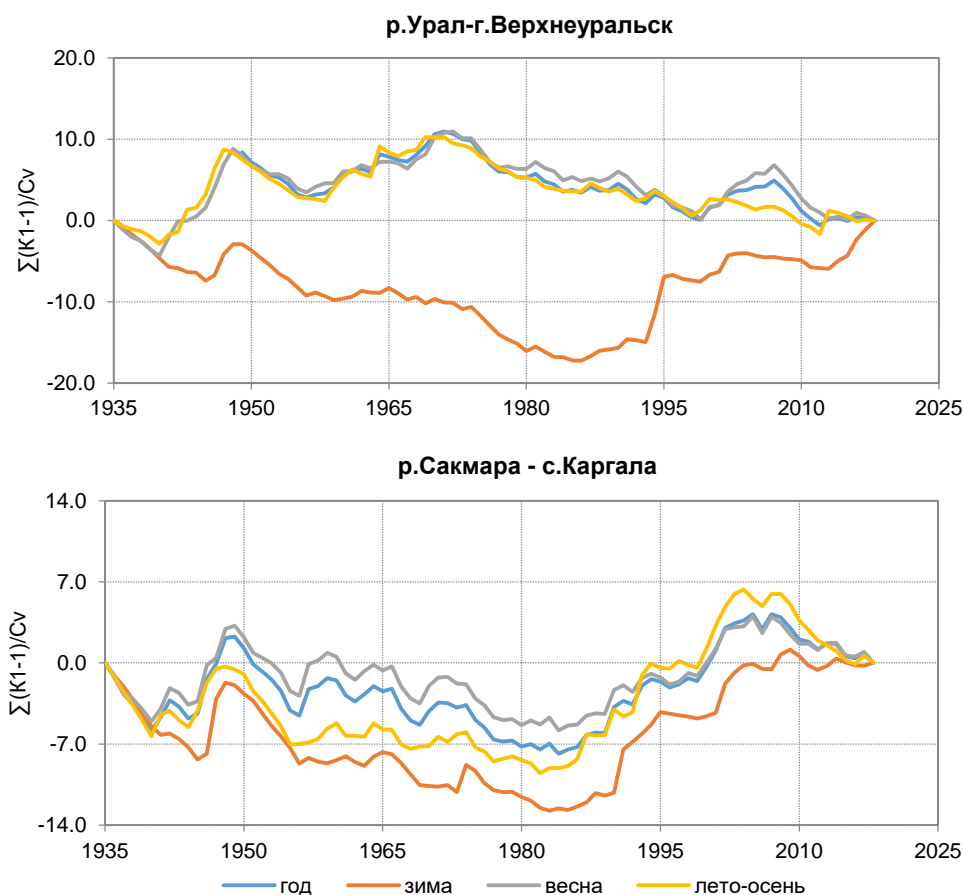


Рисунок 1 – Разностные интегральные кривые годового и сезонного стока рек бассейна р. Урал

Таким образом, отмечаются противоположные тенденции в изменениях весеннего и летне-осеннего стока этих рек в период современного потепления климата. Если в бассейне р. Сакмара средний за 1986-2018 гг. весенний и летне-осенний сток увеличился, по сравнению со стоком в предшествующий многолетний период, соответственно на 13% и 22%, то на Верхнем Урале весенний и летне-осенний сток уменьшился, примерно, на 10%. При этом сток рек в холодный период года увеличился на 50-60%. Отметим, что увеличение зимнего стока является характерным для большинства рек Российской Федерации в современных климатических условиях [3], [4], [5]. Согласно данным работ [6], [7], [8], это явление обусловлено повышением

приземной температуры воздуха в холодный сезон года, приводящей к существенной перестройке процессов гидрологического цикла.

На рис. 2 приведены гидрографы по осредненным за два периода данным в различных створах р. Урал за периоды до и после создания Ириклинского водохранилища.

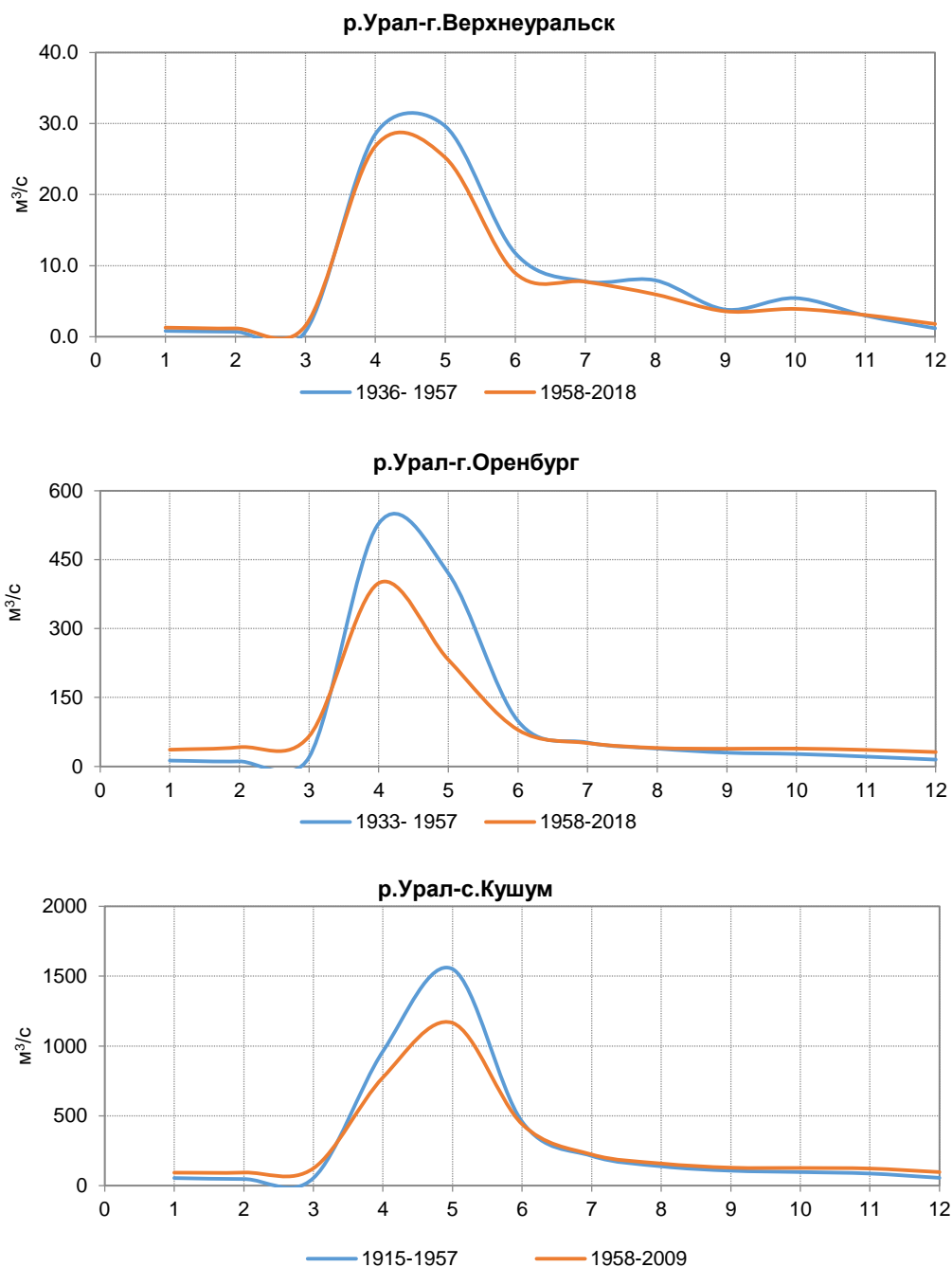


Рисунок 2 – Гидрографы стока р.Урал по осредненным за два периода данным

Как следует из этих данных, на внутригодовое и сезонное распределение стока р. Урал на гидрологических постах, расположенных в среднем и нижнем течении, существенное влияние оказывает Ириклинское водохранилище. Наиболее значительное влияние водохранилища оказало на внутригодовое распределение р. Урал у г. Оренбург (рис. 2), где произошло снижение весеннего стока на 31% и увеличение летне-осеннего и зимнего стока, соответственно на 24% и 202%.

Существенно меньше воздействие Ириклинского водохранилища на водный режим р. Урал у с. Кушум, поскольку на водный режим реки в этом створе существенное влияние оказывает сток р. Сакмара, а также забор воды в Кушумский канал. В среднем за период 1958-2009 гг. весенний сток, по отношению к предшествующему многолетнему периоду, снизился на 22% при увеличении летне-осеннего на 22% и зимнего на 91%.

Значительная трансформация водного режима отмечается на р. Илек со второй половины 1980-х гг., что связано, по нашему мнению, с влиянием комплекса гидротехнических сооружений, расположенных в бассейне реки и вводом в строй Актюбинского водохранилища. В последние десятилетия произошло перераспределение стока реки в результате его снижения в весенний период (на 32%) и резкое увеличение зимнего (на 280%) и летне-осеннего стока (на 118%).

За исключением р. Сакмара, где с конца 1980-х гг. наблюдается увеличение повторяемости максимальных в году расходов воды малой обеспеченности (меньше 10%), на всех остальных, рассматриваемых в настоящей работе реках, отмечается снижение максимального стока. Если на р. Урал у г. Верхнеуральск причиной этого снижения являются климатические особенности современного периода, то на гидрологических постах у г. Оренбург и с. Кушум, а также на реках Орь и Илек, основной вклад в уменьшение максимального стока вносят антропогенные факторы и, прежде всего, регулирующее влияние водохранилищ. Что касается минимальных расходов воды в холодный сезон, являющихся наименьшими в году, то на всех рассматриваемых реках и гидрологических постах наблюдается их статистически значимое увеличение. Если на р.р. Сакмара и Урал у г. Верхнеуральск рост максимальных значений зимнего стока обусловлен влиянием климатических факторов, то на остальных реках и гидрологических постах их роль является второстепенной, а основной причиной является регулирование водохранилищами.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ЛЬДАХ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ АМУР

Голубева Е.М.^{1,2}, Кондратьева Л.М.³

¹ Институт тектоники и геофизики Дальневосточного отделения РАН, г. Хабаровск

² Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

³ Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения РАН,
г. Хабаровск

E-mail: evg8302@yandex.ru

Аннотация. Речной лед является важным показателем экологического состояния водных объектов трансграничного статуса, а также выступает источником информации о пространственно-временном характере загрязнения рек в период ледостава и отражает геохимические особенности территории водосбора. Представлены результаты послойного исследования содержания элементов (Pb, Hg, Cd, As, Al, Fe, Mn, Cu, Cr, Co, Ni, Zn) в толще льда р. Амур по поперечному профилю на нескольких участках. Состав элементов во льдах в значительной степени зависел от аккумуляции органических веществ, присутствующих в воде при формировании ледового покрова. К источникам их поступления отнесены сточные воды промышленных предприятий крупных городов, расположенных на трансграничном участке (Россия-Китай), технологические сбросы воды из водохранилищ Зейской и Бурейской ГЭС.

Повышенные концентрации токсичных элементов отмечены в составе детрита после крупного наводнения на р. Амур в 2013 г.

Ключевые слова: речной лед, аккумуляция, токсичные элементы, детрит.

FEATURES OF ELEMENTS DISTRIBUTION IN ICE OF THE TRANSBOUNDARY AMUR RIVER

Golubeva E.M.^{1,2}, Kondratyeva L.M.³

¹Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS, Khabarovsk

²Federal State Educational Institution "Pacific National University", Khabarovsk

³Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk

Abstract: River ice is an important indicator of the ecological state of transboundary water bodies, acts as a source of information on the spatial and temporal nature of river pollution during the freeze-up period and reflects the geochemical features of the catchment area. The results of a layer-by-layer study of the content for elements (Pb, Hg, Cd, As, Fe, Mn, Cu, Cr, Co, Ni, Zn) in the ice thickness of the Amur River along the cross section of the river are presented. The composition of the elements in the ice largely depended on the accumulation of organic substances present in the water during the formation of the ice cover. The sources of their income include wastewater from industrial plants of large cities located on the transboundary section (Russia-China), technological discharges of water from of the Zeya and Bureya reservoirs. Increased concentrations of toxic elements were noted in the composition of detritus after a major flood on the Amur River in 2013.

Key words: river ice, accumulation, toxic elements, detritus.

Введение

Река Амур относится к крупнейшим трансграничным водным экосистемам, испытывающим влияние хозяйственной деятельности всех пограничных стран. Принимая во внимание сезонное изменение качества воды, становится целесообразным изучение льда как важного компонента водной экосистемы. Химический состав льда отражает экологическое состояние водотока и характер загрязнения воды в начальный период ледостава. Исследование ледового покрова позволяет оценить глобальное, региональное и локальное влияние загрязнения поверхностной гидросферы на биоту в целом, включая человека; установить закономерности формирования качества воды при совместном воздействии природных и антропогенных факторов в период ледостава; представить естественно-научное обоснование современной системы нормирования сброса сточных вод в зимний период и оценить степень риска при техногенных авариях [1,2].

Послойное исследование льда в конце ледостава позволяет сделать ретроспективный анализ загрязнения речных экосистем в период формирования ледового покрова. Отбор кернов льда по продольному и поперечному профилю водотоков дает возможность оценить характер их загрязнения в пространстве, а послойное исследование льда – во времени [2].

Проведенные исследования льдов р.р. Сунгари и Амур в 2006 г. показали, что в них происходит аккумуляция токсичных органических соединений и элементов, которые выступают в качестве факторов экологического риска для функционирования речных экосистем. Во время весеннего ледохода и таяния льда происходит высвобождение загрязняющих веществ в водную среду. Это приводит к вторичному загрязнению рек в пространстве, но и во времени. В результате происходит суммация антропогенного воздействия на водную экосистему р. Амур с эффектами вторичного загрязнения, вызванного природными биогеохимическими процессами.

Цель настоящего исследования состояла в анализе распределения токсичных металлов в разных слоях кернов льда, отобранных по поперечному профилю р. Амур и их возможном генезисе в составе взвесей в период ледоставов 2011-2014 гг.

Результаты и обсуждение

Исследования льда, проведенные в период с 2012 по 2014 гг., показали существенные изменения в содержании элементов в толще льда на разных участках р. Амур. Это свидетельствует о непостоянстве качественного состава воды в период формирования ледового покрова и о разных источниках поступления загрязняющих веществ.

Внимание было уделено различным группам металлов, которые относят к высокотоксичным элементам (Pb, Hg, Cd и As) и тем, которые участвуют в различных биохимических процессах (Fe, Mn, Cu, Cr, Co, Ni, Zn). Особая роль в водной среде отводится алюминию, железу и марганцу. Их биогеохимические циклы тесно связаны с миграцией токсичных металлов. Оксиды этих элементов способны адсорбировать на своей поверхности многие тяжелые металлы [3].

Содержание тяжелых металлов. В толще льда, который сформировался в зимний период 2011-2012 гг. на р. Амур максимальное содержание Cr и Ni обнаружено у правого берега, а повышенные концентрации Co были зафиксированы у правого и левого берегов (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в кернах льда, отобранных р. Амур в периоды ледостава (мкг/л)

Сезон	Место отбора	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
2011-2012	Л.б. (n=4)	<u>0,08-1,46</u> 0,69	<u>0,08-0,66</u> 0,33	<u>0,05-1,06</u> 0,52	<u><0,001-3,9</u> 3,9	<u><0,001-21,11</u> 11,16
	Сер. (n=4)	<u>0,004-1,06</u> 0,44	<u>0,007-0,46</u> 0,18	<u><0,001-1,19</u> 0,7	<u><0,001-1,19</u> 0,9	-
	П.б. (n=5)	<u><0,001-1,74</u> 0,85	<u>0,14-0,75</u> 0,33	<u>0,45-4,92</u> 2,65	<u><0,001-6,94</u> 3,73	-
2012-2013	Сер. (n=13)	<u>0,01-0,94</u> 0,48	<u>0,06-0,25</u> 0,11	<u>0,91-5,82</u> 3,73	<u>12,6-76,01</u> 37,24	<u>24,93-102,97</u> 65,2
	П.б. (n=9)	<u>0,33-2,88</u> 1,00	<u>0,03-0,24</u> 0,12	<u>1,25-11,78</u> 4,40	<u>26,27-219,75</u> 66,51	<u>51,99-254,09</u> 117,21
2013-2014	Л.б. (n=6)	<u>0,26-0,92</u> 0,57	<u><0,001-0,15</u> 0,08	<u>0,38-2,4</u> 0,97	<u>19,81-29,75</u> 23,19	<u>36,31-119,44</u> 81,04
	Сер. (n=5)	<u>0,31-3,19</u> 1,37	<u>0,003-0,71</u> 0,19	<u>0,43-6,14</u> 1,84	<u>13,89-42,56</u> 27,44	<u>14,23-112,15</u> 60,16
	П.б. (n=4)	<u>0,44-1,31</u> 0,80	<u><0,001-0,55</u> 0,21	<u>0,18-1,19</u> 0,64	<u>18,52-21,29</u> 18,14	<u>10,06-28,44</u> 22,78

Примечание: Л.б. – левый берег; Сер. – середина; П.б. – правый берег. Прочерк – элемент не обнаружен. Над чертой — предельные значения концентраций, мкг/л; под чертой — арифметическое среднее.

Вдоль правого берега распространяются недостаточно очищенные сточные воды городских очистных сооружений, а также воды трансграничных р.р. Сунгари и Уссури,

испытывающих высокий уровень загрязнения сточными водами городов и промышленных предприятий Китая.

В период ледостава 2012-2013 гг. у правого берега р. Амур в районе г. Хабаровск установлено максимальное за весь период наблюдения содержание таких элементов как Ni, Cu и Zn. Вероятно, поступление этих металлов связано с коммунальными стоками, содержащими высокие концентрации ОВ.

Содержание токсичных элементов. В период ледостава 2011-2012 гг. повышенные концентрации As и Pb были установлены в верхних слоях льда (0,69 и 1,49 мкг/л соответственно), а содержание Cd достигало своего максимума (0,03 мкг/л) в нижнем слое льда (41-70 см). В период ледостава 2012-2013 гг. повышенное содержание Pb (23,02 мкг/л) отмечено в верхнем слое льда, Cd (0,12 мкг/л) – в среднем слое (40-50 см), а содержание As увеличивалось в нижних слоях (0,48 мкг/л). Это свидетельствует о том, что за период формирования ледового покрова природные воды периодически загрязнялись различными токсичными элементами.

В зимний период 2013-2014 гг., после летне-осеннего катастрофического наводнения на р. Амур, в керне льда, отобранном на середине реки, выделялся слой льда (70-117 см) с высоким содержанием детрита. Расплав этого слоя льда отличался от других бурой окраской, повышенным содержанием тонкодисперсных частиц, хлопьев и имел болотный запах. В нем были отмечены высокие концентрации кадмия и мышьяка (0,02 и 2,23 мкг/л соответственно). Это может быть связано с поступлением в р. Амур взвешенного материала при увеличении сбросов воды с Бурейского и Зейского водохранилищ. В период 2012-2014 гг. установлены максимальные показатели водности р. Амур в зимнюю межень, обусловленные высокими расходами воды рек Зeya и Бурея [4].

Анализ содержания Al, Fe, Mn во льдах, отобранных в период наблюдения, позволил выявить неравномерность их послойного распределения, общую тенденцию и некоторые особенности. Так, в период ледостава 2011-2012 гг. повышенные концентрации Al, Fe, Mn (249,99; 773,18 и 112,28 мкг/л, соответственно) были отмечены в верхних слоях кернов льда. Этот факт можно связать с аэрогенным переносом металлов в составе взвешенных веществ и аэрозолей от промышленных предприятий г. Хабаровск; их поступлением в составе железо- и марганецсодержащих подземных вод и формированием торосов с повышенным содержанием почвенных частиц.

В период ледостава 2013-2014 гг. в уже описанном выше слое льда 70-117 см, отобранном на середине реки, было отмечено существенное увеличение содержания металлов (Al – 1895,85; Fe – 2310,61 и Mn – 56,08 мкг/л). Увеличение концентраций этих металлов может быть связано с их аккумуляцией в составе взвешенных веществ и детрита. Кроме того, высокие концентрации многих металлов были установлены в керне льда, отобранном у правого берега, где неоднократно отмечали повышенное содержание ОВ.

Проведенные исследования показали, что на распределение ионов металлов в ледовом покрове р. Амур влияет ряд факторов: изменение элементного состава замерзающей воды, поступление минеральных взвесей и ОВ с коммунальными, промышленными стоками и в составе детрита, содержащегося в сбросах Зейского и Бурейского водохранилищ, а также со стоком р.р. Усури и Сунгари.

Содержание металлов во взвесах из расплавов льда

Ранее было отмечено, что амурский лед содержит включения терригенного материала разного гранулометрического состава. Присутствие суглинистого материала внутри льда, связывают с возрастанием мутности воды при попусках из водохранилищ, сопровождающихся увеличением скоростей течения [5].

Так керн льда, отобранный на середине р. Амур в период ледостава 2013-2014 гг. характеризовался неоднородным распределением взвешенных веществ (ВВ). Анализ содержания ТМ в составе ВВ показал сопоставимое с расплавами льда распределение элементов. Четко выделяется слой (70-117 см), в котором при высоком содержании детрита и минеральных взвесей наблюдали резкое увеличение концентраций всех токсичных элементов.

Проведенные в 2014 г. исследования показали, что в этом слое на фоне высокого содержания ОВ со значительной долей ароматических соединений зарегистрирована максимальная численность гетеротрофных и сульфатредуцирующих бактерий. Показатели содержания ОВ и численности культивируемых бактерий в расплаве этого слоя льда были в несколько раз выше, чем в подледной воде, что может быть связано с зимними сбросами воды из Зейской и Бурейской ГЭС [6]. Биогеохимические процессы окисления и восстановления многих из этих элементов могут привести к кардинальному изменению их поведения и токсичности, особенно это касается метилирования ртути

Таблица 2 – Содержание металлов (мкг/г) во взвешенном веществе из керна льда, отобранного на середине р. Амур в период ледостава 2013-2014 гг.

	0-40	40-50	52-72	70-117	117-139
Al	3545,96	26064,80	51786,20	153162,11	6738,64
Mn	66,08	227,67	839,77	4660,86	177,66
Fe	1875,83	14100,93	32696,87	197964,27	3120,87
Cd	0,01	0,08	0,29	0,84	0,01
Pb	0.001	8,36	19,84	117,31	0.001
As	3,92	8,14	18,69	78,55	3,17
Hg	0,30	0,22	0,50	0,91	-

Концентрация ртути в детрите, содержащемся в слое 70-117, см была максимальной (0,91мкг/г) по сравнению с другими слоями льда. Наличие биотических и абиотических факторов создает предпосылки для процессов метилирования ртути и повышению риска последующего ее поступления в водную среду при весеннем ледоходе.

Ранее при исследовании микроэлементного состава донных отложений в районе Нижнебурейской ГЭС [7,8] было показано, что в тонкодисперсной фракции происходит накопление железа и марганца, до значений, двукратно превышающих их содержание в осадочных породах. При высоком содержании ОВ процессы восстановления трехвалентного железа активируются и повышаются риски перехода сорбированных на частицах коллоидного железа тяжелых металлов из связанного состояния в ионное. Процессы, которые происходят в составе органоминеральных комплексов, аккумулярованных во льдах, могут активизироваться при таянии льда и оказывать существенное влияние на качество воды в весенний период.

Заключение

Проведенные исследования льда в р. Амур показали, что в них происходит аккумуляция ОВ и тяжелых металлов, которые являются фактором экологического риска для функционирования речных экосистем. Во время весеннего ледохода и таяния льда происходит высвобождение загрязняющих веществ в водную среду и их дальнейший трансфер в прибрежные морские акватории. Это приводит к распространению загрязняющих веществ в пространстве и во времени.

Тонкодисперсная часть взвешенного вещества, поступающая во время сбросов воды из водохранилищ Бурейской и Нижнебурейской ГЭС, представляет

сложный конгломерат водорослей, бактериальных комплексов и литогенной составляющей. Она является дополнительным источником токсичных элементов, которые аккумулируются на биогеохимическом барьере «лед – взвешенное вещество». Процессы, происходящие в толще речного льда, изменяют миграционную способность многих тяжелых металлов и создают условия для образования их более токсичных соединений (например, метилртути).

Последствия загрязнения экосистемы р. Амур в период ледостава могут быть связаны с аккумуляцией токсичных элементов во льдах, которые затем вовлекаются в природные биогеохимические процессы при участии биотической составляющей. В весенний период складываются предпосылки для вторичного загрязнения водной среды токсичными элементами с переменной валентностью. Это оказывает значительное влияние на качество водных ресурсов. Исследование химического состава речного льда позволяет оценить пространственно-временные риски загрязнения поверхностной гидросферы для гидробионтов и человека.

Список литературы

1. Кондратьева Л.М., Фишер Н.К., Бердников Н.В. Микробиологическая оценка качества воды в реках Амур и Сунгари после техногенной аварии в Китае в 2005 г. // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 5. С. 575 – 587.
2. Кондратьева Л.М. Геоэкологические исследования речного льда // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2010. № 6. С. 511 – 520.
3. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода-донные отложения речных экосистем: Аналитический обзор / ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. Новосибирск, 2001. Сер. Экол. Вып. 62. 58 с.
4. Шестеркин В. П. Многолетняя динамика содержания органического вещества в воде Среднего Амура в зимнюю межень // Вестник ДВО РАН, 2018. № 2. С. 130–136.
5. Махинов А. Н., Ким В. И., Шмигирилов С. А. Строение льда и ледового покрова реки Амур в Нижнем течении на участках разветвленного русла // Водные ресурсы, 2017. Т. 44, № 4. С. 432–441.
6. Кондратьева Л.М., Андреева Д.В., Голубева Е.М. Факторы, влияющие на процессы сульфатредукции и метилирования ртути во льдах реки Амур // Лед и снег, 2018. Т. 58. № 1. С. 105–116.
7. Сиротский С.Е., Харитонова Г.В., Ким В.И., Климин М.А. и др. Гранулометрический состав донных отложений реки Амур в среднем и нижнем течении // Тихоокеанская геология, 2014. Т. 33, № 3. С. 88–98
8. Харитонова Г.В., Остроухов А.В., Уткина Е.В., Коновалова Н.С., Стенина А.С. Микроэлементный состав донных отложений реки Бурея района Нижне-Бурейской ГЭС // Тихоокеанская геология, 2015. Т. 34, № 5. С. 96–107.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ И ЕЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДОТОКОВ

Горелиц О.В., Ермакова Г.Е., Землянов И.В., Сапожникова А.А.

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, г. Москва

E-mail: gorelits@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены результаты многолетних исследований гидрологического режима восточной части дельты Волги. Показаны закономерности распределения стока, включая трансграничные водотоки. Приведены сведения о работе наблюдательной сети и крупных водохозяйственных мероприятиях. Отмечена необходимость более тесного

взаимодействия в вопросах обмена данными гидрологических наблюдений, а также обмена информацией о водохозяйственном использовании трансграничных водных объектов восточной части дельты Волги, расположенных на территориях Российской Федерации и Республики Казахстан.

Ключевые слова: дельта Волги, гидрологический режим, трансграничные водотоки.

HYDROLOGICAL REGIME OF THE EASTERN PART OF THE VOLGA DELTA AND ITS TRANSBOUNDARY WATERCOURSES

O.V. Gorelits, G.S. Ermakova, I.V. Zemlyanov, A.A.Sapozhnikova

gorelits@mail.ru

N. N. Zubov's State Oceanographic Institute, Roshydromet, Moscow, Russia

Abstract: The results of long-term studies of the hydrological regime for the eastern part of the Volga delta are considered. Regularities of flow distribution, including transboundary watercourses, are shown. Information about the work of the observation network and large-scale water management activities is given. The need for closer interaction in the exchange of hydrological observation data, as well as the exchange of information on the water management of transboundary water bodies in the eastern part of the Volga delta located in the territories of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan, was noted.

Key words: Volga delta, hydrological regime, transboundary watercourses/

Дельта Волги – классическая дельта выдвигания, образованная на открытом отмеле морском побережье. Формирование и динамика гидрографической сети дельты, особенности ее гидрологического режима определяются внешними факторами, важнейшими из которых являются сток Волги в вершине дельты, колебания уровня Каспийского моря и малые уклоны поверхности Прикаспийской низменности и дна Северного Каспия [1]. Длина дельты Волги по кратчайшему водному пути от ее вершины до морского края изменяется по различным направлениям от 125 км до 150 км, протяженность по морскому краю в меженных условиях – около 175 км [2].

Вершиной современной дельты Волги служит узел разветвления в 4-х км ниже с. Верхнелебяжье, где от основного русла Волги отделяется крупнейший левый рук. Бузан. Современная структура гидрографической сети дельты включает пять частных систем крупных магистральных дельтовых рукавов – Бузана, Болды, Камызяка, Старой Волги и Бахтемира. Морфологически территория дельты и ее гидрографическая сеть подразделяется на западную и восточную, а также районы западных и восточных подступных ильменей. Примыкающая к морскому краю дельты отмеляя зона устьевого взморья Волги также подразделяется на западную и восточную части [3, 4].

Наиболее крупная из частных систем – система рук. Бузан – занимает практически всю восточную часть дельты, на ее долю приходится до 40% стока Волги в вершине дельты [4].

С 1992 г. территории на востоке дельты, обводняемые левобережными водотоками системы рук. Бузан – протоками Кигач, Шаронова, Алгара, Долонка и др., включая район восточных подступных ильменей, входят в состав Республики Казахстан. Государственная граница двух стран проходит по пр. Кигач, пр.пр. Алгара и Долонка, Сумнице Широкой, и далее по Иголкинскому банку выходит на устьевое взморье (рис. 1). Эти левобережные водотоки системы Бузана имеют статус трансграничных, а на тех участках, где граница проходит непосредственно по руслам водотоков, они приобретают статус пограничных.

В дельте Волги и на устьевом взморье в границах РФ в настоящее время постоянно действует 21 пункт гидрологических наблюдений – 18 речных и 3 морских гидрологических поста, продолжительность непрерывного ряда наблюдений на г/п р. Волга – г. Астрахань составляет 145 лет. Большинство постоянно действующих

стационарных гидрологических постов дельты Волги были открыты в 1930-1940-х гг. (рис. 1), продолжительность рядов наблюдений достигает 80-90 лет, что позволяет подробно освещать гидрологический режим и в естественных условиях, до сооружения Волжской ГЭС, и в период после зарегулирования стока.

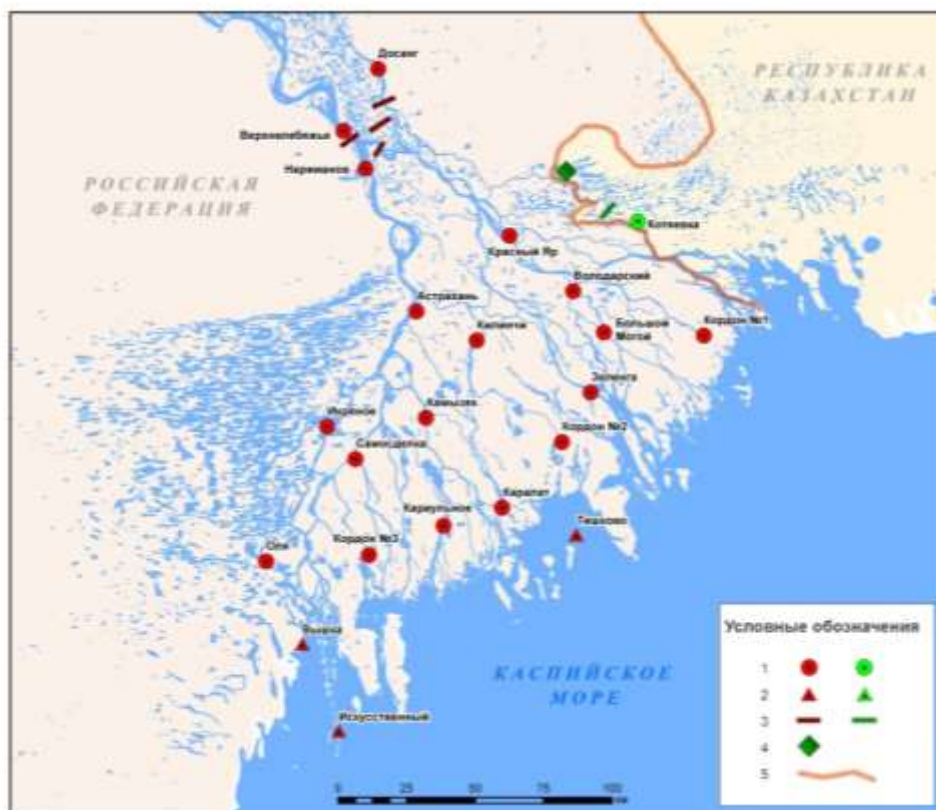


Рисунок 1 – Схема наблюдательной сети в дельте Волги, красный цвет – наблюдательная сеть Росгидромета, зеленый цвет – наблюдательная сеть Казгидромета 1- речные гидрологические посты, 2 – морские гидрологические посты, 3 – гидростворы, 4 – водозабор магистрального водовода «Астахань-Мангышлак», 5- Государственная граница

В период активного развития хозяйственной деятельности в дельте Волги, начиная с 1930-х гг., научные и проектные организации для обеспечения изыскательских и научно-исследовательских работ открывали временные наблюдательные пункты. В отдельные годы число одновременно работающих стационарных и временных гидрологических постов в дельте Волги достигало 80. После сооружения Волжской ГЭС и в связи с проектированием Волжского вододелиителя в конце 1950-х и в 1960-х гг. в дельте Волги и вблизи ее морского края, на отмеле устьевом взморье, одновременно работали от 60 до 75 стационарных и временных уровенных постов, расходы воды измерялись на более чем 50 гидростворах, разбитых во всех магистральных рукавах и частных системах водотоков [5].

В настоящее время стационарные гидрологические посты Астраханского ЦГМС размещены равномерно в дельте Волги по 5 частным системам магистральных рукавов, охватывая все основные водотоки, включая район отмелой зоны устьевом взморья. В дельте также работают 2 стационарных гидрологических поста Астраханского государственного биосферного заповедника.

До начала 1990-х гг. гидрологический режим восточной части дельты Волги освещали 7 стационарных гидрологических постов. С 1992 г. 2 гидрологических поста,

расположенные на трансграничных водотоках восточной части дельты – г/п пр. Кигач – с. Котьяевка и г/п Иголкинский банк – Московское охотхозяйство, а также гидроствор пр. Кигач – с. Шортанбай перешли в ведение Казгидромета, пост на Иголкинском банке был закрыт в 1994 г. [5]. В настоящее время Казгидромет ведет наблюдения на гидрологическом посту пр. Кигач – с. Котьяевка. В 2016 г. специалистами Казгидромета была выполнена серия измерений расходов воды на гидростворе пр. Кигач – с. Жанаталап (рис. 1), но сведения о последующих регулярных измерениях расходов воды пока не поступали.

Детальные исследования водного режима восточной части дельты Волги были начаты в 1950-х гг., в связи с выбором и проектированием комплекса мероприятий по ее дополнительному обводнению. Сооружение Волжской ГЭС и зарегулирование стока Нижней Волги привело к снижению максимальных расходов и уровней воды в период половодья, сокращению площадей и продолжительности затопления пойменных массивов восточной части дельты и, как следствие, значительному ухудшению условий воспроизводства водных биоресурсов и уменьшению биопродуктивности [4, 6].

Для комплексного изучения этих проблем Президиум Академии наук СССР создал специальную комиссию, в которую вошли ведущие ученые, представители различных научных и проектных организаций. Специалистами были рассмотрены различные варианты комплексных решений, призванных компенсировать недостающие объемы водного стока и изменения его режима и внутригодового распределения, связанные с зарегулированием. По результатам этой работы, в соответствии с планами хозяйственного освоения дельты Волги, ее восточная часть – система рук. Бузан, включая прилегающую отмелую зону устьевого взморья, была ориентирована на создание благоприятных условий для воспроизводства ценных пород рыб и водоплавающих птиц [7].

Масштабным техническим мероприятием для обеспечения устойчивого обводнения водотоков системы рук. Бузан в период половодья стало строительство комплекса гидротехнических сооружений Волжского вододелителя, в состав которого входят плотина гидроузла в русле Волги, ниже истока рук. Бузан и продольная дамба длиной 78 км, разделяющая восточную и западную части дельты. Строительство вододелителя было начато в 1963 г., первое пробное включение в работу было произведено в 1976 г. Затем вододелитель эксплуатировался только в 1977-1978, 1982-1983, 1988-1989 гг. – весной в период спада половодья, и в 1986 г. – осенью. Но, как показали многолетние исследования распределения стока в дельте Волги, даже в нерабочем состоянии плотина гидроузла создает подпор в истоке рук. Бузан, что приводит к относительному увеличению доли стока, поступающего в восточную часть дельты.

Для исследования распределения стока в дельте Волги в ГОИНе под руководством С.С. Байдина и В.Ф. Полонского [8] была разработана научная программа посистемного учета стока, в рамках которой в 1960-1980-х гг. проводились регулярные измерения расходов воды на закрепленных створах в узлах разветвления всех значимых водотоков от истоков магистральных рукавов до морского края дельты. [2, 9]. В 2000-х гг. силами Астраханского ЦГМС под руководством Л.Г.Синенко был проведен сокращенный цикл работ по учету распределения стока в истоках магистральных рукавов. В настоящее время в состав гидрометрических работ, которые ежегодно выполняет Астраханский ЦГМС, входит измерение расходов воды на закрепленных гидростворах в вершине дельты Волги у с. Верхнелебяжье и в истоке рук. Бузан (рис. 1).

Анализ результатов, накопленных за 70-летний период, показал, что доля рук. Бузан, отводящего сток в восточную часть дельты, после зарегулирования и, в особенности, после сооружения вододелителя устойчиво возрастала до начала 2000-х гг. (табл. 1). В последнее десятилетие, по-видимому, происходит процесс стабилизации

и относительного снижения доли стока, поступающего в исток Бузана, но натуральных данных для оценки этого процесса пока недостаточно. Интервал расходов воды в вершине дельты Волги $Q_{вл} = 8000-12000 \text{ м}^3/\text{с}$ является своего рода границей, ниже и выше которой наблюдается изменчивость долевого стока основных водотоков. Именно в этом интервале расходов воды в вершине дельты Волги (в основном русле) происходит выход воды на пойму на подъеме половодья, и начинается заполнение пойменных понижений. На спаде половодья наблюдается обратная картина [10].

Таблица 1 – Перераспределение стока в истоке рук. Бузан, 1950-2012 гг.

Расход воды р. Волга в вершине дельты, $Q_{вл}, \text{ м}^3/\text{с} / \%$	Расходы воды рукава Бузан в истоке, в % от расхода в вершине дельты					
	1951 – 1955	1961 - 1965	1971 - 1977	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2012
6000/100	29,2	30,8	31,8	33,3	34,2	35,1
10000/100	32,0	33,1	34,1	34,2	34,2	34,2
14000/100	33,1	34,6	35,2	36,2	35,7	35,0
18000/100	33,3	34,7	36,3	37,8	38,5	35,8
22000/100	31,7	32,9	35,3	35,1	36,6	36,8
среднее	31,9	33,2	34,5	35,3	35,8	35,4

Доля стока Волги, поступающая в восточную часть дельты, является одним из важнейших факторов, определяющих условия сохранения биоразнообразия обширного района дельты, а также возможности хозяйственного использования водных ресурсов Волги на территории Астраханской области Российской Федерации и Атырауской и Мангистауской областей Республики Казахстан.

Основным трансграничным водотоком восточной части дельты является пр. Кигач, после зарегулирования в ее исток поступало от 8% до 9% стока системы рук. Бузан, что составляет 2,5-3,2% стока Волги в вершине дельты. Данные регулярных измерений на закрепленном створе пр. Кигач – с. Шортанбай в 1960-1980-х гг. показали, что расходы воды здесь изменялись от 130-150 $\text{м}^3/\text{с}$ в межень до 600-700 $\text{м}^3/\text{с}$ – в половодье [2].

В 2016 г., в рамках выполнения решений Российско-Казахстанской комиссии по трансграничным рекам, была проведена серия измерений расходов воды в створе пр.Кигач – с. Жанталап [11]. 2016 г. был многоводным, объем стока Волги во 2-м квартале составил 127,5 км^3 , на пике половодья в вершине дельты максимальные расходы выше 25000 $\text{м}^3/\text{с}$ наблюдались в течение 20 суток. Это позволило зафиксировать современное распределение стока в восточной части дельты в условиях высокой водности (рис. 1, табл. 2). Измерения расходов воды пр. Кигач были выполнены специалистами Казгидромета в период половодья и в условиях осенней межени [11].

Для устойчивого обводнения расположенных на территории Казахстана засушливых районов левобережья проток Кигач и Шаронова, включая восточные подступные ильмени, и водоснабжения населенных пунктов и нефтяных промыслов Западного Казахстана 20 лет назад был сооружен магистральный водовод «Астрахань-Мангышлак» (диаметр 1220 мм). Водозабор водовода расположен на пр. Кигач (рис. 1), его мощность составляет 100 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$. По магистральному водоводу и примыкающим к нему водораспределительным сетям водоподготовка и подача воды обеспечиваются головным очистным сооружением «Кигач», 4 водонасосными станциями и водоочистным сооружением «Кульсары». В 2020 г. по водоводу было подано 28,4 млн. м^3 . В перспективе планируется повысить его мощность сначала до 135 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$, а затем довести ее до 170 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$.

Таблица 2 – Поступление стока в рук. Бузан и пр.Кигач в 2016 г.

Расход воды р. Волга в вершине дельты, $Q_{вл}, м^3/с$	Расход воды рук. Бузан в истоке		Расход воды пр. Кигач в истоке <i>по данным [11]</i>	
	$Q_{Бузан}, м^3/с$	% $Q_{вл}$	$Q_{Кигач}, м^3/с$	% $Q_{Бузан} / \% Q_{вл}$
6000	2000	33,3	160	8,0 / 2,70
10000	3000	30,2	265	8,8 / 2,65
14000	4400	31,4	360	8,2 / 2,57
18000	6000	33,3	450	7,5 / 2,50
22000	8000	36,2	570	7,1 / 2,59
25000	9500	38,0	720	7,6 / 2,88

В этих условиях постоянный мониторинг распределения стока в вершине дельты Волги, динамики поступления волжских вод в восточную часть дельты и в ее трансграничные водотоки по пр. Кигач необходим для оценки водообеспеченности экосистемы региона. Динамика уровней воды и параметров заливания пойменных массивов восточной части дельты является основным показателем, характеризующим условия воспроизводства водных биоресурсов.

В настоящее время становится все более очевидной необходимость проведения совместных комплексных исследований гидрологического режима восточной части дельты Волги как единого водного объекта. Для оценки современных тенденций развития гидролого-морфологических процессов в системе рук. Бузан – крупнейшей системе водотоков дельты Волги – нужно более тесное взаимодействие в вопросах обмена данными гидрологических наблюдений, а также обмена информацией о водохозяйственном использовании трансграничных водотоков восточной части дельты Волги, протекающих по территориям Российской Федерации и Республики Казахстан.

Список литературы

1. Рогов М.М., Скриптунов Н.А. Некоторые гидролого-морфологические особенности устьевой области Волги и их влияние на пути рационального использования водных ресурсов // Тр. ГОИН. 1984. Вып.172. С.7-19.
2. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря // Под ред. В.Ф.Полонского, В.Н.Михайлова, С.В.Кирьянова. М.: ГЕОС, 1998. 280с.
3. Байдин С.С. Сток и уровни дельты Волги. М.: Гидрометеиздат, 1962. 387 с.
4. Рогов М.М. Некоторые особенности развития дельты Волги и ее гидрографической сети // Тр. ГОИН. 1986. Вып. 179. С. 56–80.
5. Синенко Л.Г., Тарасова Т.И. Состояние наблюдений и исследований устьевой области Волги // Тр. ГОИН. 2013. Вып. 214. С. 7-32.
6. Горелиц О.В. Влияние водохозяйственных мероприятий на режим стока Волги в ее дельте // Тр. V Всесоюз. Гидролог. съезда, Т. 9. Устья рек. Л., ГИМИЗ, 1990. С.53-58.
7. Проблемы хозяйственного освоения Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги. // Под ред. акад. И.П.Герасимова, акад. Д.И.Щербакова, проф. М.И.Львовича. Изд. АН СССР, М., 1962. 148с.
8. Полонский В.Ф., Байдин С.С. Распределение стока и его перераспределение в дельте Волги. // Тр. ГОИН. 1982. Вып.161. С.111-122.
9. Полонский В.Ф., Горелиц О.В. Сток воды и его распределение в дельте Волги. // Метеорология и Гидрология, 1997, N4, с.84-95.
10. Полонский В.Ф., Горелиц О.В. Оценка регулирующей роли дельты Волги при пропуске половодья. // В кн. «Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна», 2003, СПб, Гидрометеиздат, с.65-77.

11. Предварительные результаты исследований протоки Кигач (дельта р.Волги). Астана, 2017. // Электронный ресурс. Дата обращения 25.04.2021. https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Transboundary_Rivers_Study_Kigach_Channel_Feb_2017.pdf

ПРОГНОЗ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ДОН*

Демин А.П., Зайцева А.В.

Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва
e-mail: deminar@mail.ru, yew-tree@mail.ru

Аннотация. Описаны методические подходы к прогнозу водопотребления. На основе демографического прогноза и прогноза удельного водопотребления по регионам бассейна Дона выполнен прогноз водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды. Показаны фактическая и прогнозная площади орошаемых земель на уровень 2025 и 2030 гг. Выявлены противоречивые изменения в объемах водопотребления на перспективу трех секторов экономики: снижение в ЖКХ, незначительный рост в промышленности и существенный рост в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: бассейн р. Дон, хозяйственно-бытовое и питьевое водоснабжение, удельное водопотребление, прогноз водопотребления, площадь орошаемых земель.

FORECAST OF WATER CONSUMPTION IN THE RUSSIAN PART OF THE TRANSBOUNDARY DON RIVER BASIN

Demin A.P., Zaitseva A.V.

Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. Methodological approaches for forecasting water consumption are described. On the basis of the demographic forecast and that of specific water consumption in the regions of the Don River basin, a forecast of water consumption for household and drinking needs has been made. The actual and projected area of irrigated land at the level of 2025 and 2030 are shown. Changes in future water consumption in three sectors of the economy are revealed to be contradictory: a decrease in housing and communal services, a slight increase in industry, and a significant increase in agriculture were found.

Key words: Don River basin, household and drinking water supply, specific water consumption, forecast of water consumption, area of irrigated land.

Бассейн р. Дон – один из важнейших в экономическом отношении регион России, где проживает более 12 млн. чел., а плотность населения в 4.5 раза превышает среднероссийский показатель. Благоприятные транспортно-географическое положение, природные и демографические условия обусловили большие потенциальные возможности для социально-экономического развития региона. Однако дальнейшее поступательное развитие региона тормозит нарастающий дефицит водных ресурсов. В связи с этим прогноз водопотребления является очень важной задачей. Целью данного исследования является получение прогнозных оценок водопотребления на

* Работа выполнена при финансировании из средств государственного бюджета (тема 0147-2019-0003 государственного задания ИВП РАН, государственная регистрация № АААА-А18-118022090105-5)

хозяйственно-питьевые, производственные и нужды орошения, а также полного водопотребления (водозабора) на среднесрочную перспективу.

Методические подходы к прогнозу водопотребления

К настоящему времени как в нашей стране, так и за рубежом, накоплен существенный опыт по прогнозированию водопотребления отдельных отраслей водохозяйственного комплекса и других показателей развития водного хозяйства. Прогнозирование объемов водопотребления и водоотведения входило в состав балансовой оценки водных ресурсов при разработке комплексных программ и схем их рационального использования и охраны.

Наиболее подробно методика расчета объемов водопотребления на перспективу рассмотрена в [1]. По мнению авторов, основной метод расчета потребности в воде по отраслям или народному хозяйству, в целом, заключается в использовании удельных норм расхода воды на душу населения либо на 1 руб. продукции. Приводятся особенности методических подходов к расчету перспективного водопотребления для коммунально-бытового хозяйства, сельского населения, промышленности, теплоэнергетики, животноводства, прудового рыбоводства, орошаемого земледелия.

По расчетам в [2], ~ 20% зерна и 50% кормов необходимо производить на орошаемых землях. Площадь этих земель существенно зависит от прогнозируемых величин урожайности всех сельскохозяйственных культур. По прогнозу потребность в орошаемых землях в России (верхний предел) к 2020-2025 гг. составит 18-20 млн. га. В расчетах автор не рассматривал проблему ограниченных капиталовложений, а проецировал поступательное линейное развитие экономики на будущее.

В [3] рассматривались три сценария развития водохозяйственного комплекса, Объем забора воды для орошения прогнозных площадей в 2020 г. должен был составить 14.6 км³. По состоянию на 2019 г., площадь орошаемых земель РФ составляла 4.67 млн га (из них фактически поливалось 1.7 млн. га), а объем использования воды на орошение – 6.57 км³, что с учетом потерь воды на транспортировку значительно ниже данных пессимистического прогноза. По их расчетам, к 2025 г. объем водопотребления для нужд сельскохозяйственного водоснабжения должен превысить 8 км³. Прогнозы авторов оказались абсолютно нереальными. В 2019 г. на эти нужды в России было использовано 0.3 км³.

Важным комплексным прогнозом является работа, выполненная в Государственном гидрологическом институте [4]. По их расчетам, к 2020 г. суммарное водопотребление в России должно вырасти по сравнению с 2005 г. на 9%. При этом промышленное водопотребление свежей воды сократится на 10%, коммунальное – на 25%, а сельскохозяйственное вырастет более чем в 1.5 раза в результате увеличения площади орошаемых земель до 10.2 млн га. Анализ фактических данных показывает, что в 2019 г. промышленное водопотребление по сравнению с 2005 г. снизилось в 1.7 раза, коммунальное – в 1.63 раза, а сельскохозяйственное – на 7%. Суммарное водопотребление за 14 лет не только не выросло, а снизилось на треть.

Итак, большинство прогнозов, разработанных в конце XX – начале XXI вв. не учитывало реальную экономическую ситуацию в стране и исходило из привлечения огромных средств в водное хозяйство. Не учитывались нестабильность национальной экономики и новые геополитические условия, что приводило к завышенным прогнозным оценкам водопотребления, особенно в сельском хозяйстве.

В зарубежных исследованиях самая активная область - прогнозирование спроса на воду в городах. В то же время сценарии глобального будущего водных ресурсов предполагают разные пути социально-экономических изменений и разную степень климатических изменений [5]. Прогнозные объемы водопотребления для каждого из крупных секторов рассчитываются для мира в целом, континентов и 18 субрегионов на 2030, 2050, 2080 гг. Прогнозные объемы водопотребления для коммунально-бытового хозяйства учитывают демографические прогнозы, изменение доходов населения и

водной инфраструктуры. Площадь орошаемых земель увеличивается с 321 млн га в 2010 г. до 356-376 млн га в 2050 г. и 350-400 млн га – в 2080 г.

В [6] для оценки неопределенности в прогнозах нехватки воды используется ансамбль из 45 прогнозов будущего дефицита воды, основанных на трех глобальных гидрологических моделях, пяти глобальных климатических моделях и трех водных сценариях.

Прогноз водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды

Объем коммунального водопотребления в любом регионе определяется численностью жителей городов и прилегающих сельских населенных пунктов, а также величиной удельного водопотребления, которая зависит от степени благоустройства населенных пунктов и климатических условий. Во всех субъектах федерации, входящих в бассейн р. Дон (за исключением Краснодарского края), численность населения в среднесрочной перспективе будет снижаться [7]. Максимальные темпы снижения населения до 2030 г. (11-13%) прогнозируются в Орловской, Тамбовской областях, Республике Калмыкия. В соответствии с проведенными нами расчетами, численность населения в бассейне р. Дон по среднему варианту развития снизится с 12.1 млн человек в 2018 г. на 0,27 млн к 2025 г. и на 0.49 млн – к 2030 г.

В последние годы в подавляющем большинстве регионов проводится комплекс водосберегающих мероприятий по рациональному расходованию воды в жилом фонде, активно внедряются общедомовые и квартирные водосчетчики, применяется улучшенная санитарно-техническая арматура, новые машины (посудомоечные, стиральные), приборы и насадки, позволяющие существенно экономить воду в быту. В результате удельное водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды на 1 чел. повсеместно сокращается. В большинстве регионов бассейна р. Дон среднесуточное водопотребление на 1 жителя за 2000-2018 гг. снизилось на 30-40% [8].

Тарифы на воду ощутимо увеличиваются, и граждане стали бережно относиться к этому важному ресурсу. Поскольку доля квартир, оборудованных приборами учета воды, будет расти и впредь, мы предполагаем дальнейшее снижение удельного водопотребления, хотя и в меньшей степени, чем ранее. По нашим оценкам, объем использования воды на хозяйственно-питьевые нужды в бассейне р. Дон снизится с 555 млн м³ в 2018 г. до 521 и 483 млн м³ в 2025 и 2030 гг., соответственно.

Прогноз водопотребления на производственные нужды

Анализ использования воды на нужды промышленности и энергетики в бассейне р. Дон показал, что введение мощностей оборотного и повторно-последовательного водоснабжения является главной причиной снижения забора свежей воды [8]. С 1990 по 2018 гг. использование оборотной и повторно-последовательной воды в бассейне увеличилось с 10.4 до 17.0 км³, а коэффициент водооборота вырос с 64.2 до 85.3%.

Оценка развития промышленного водопотребления проведена с учетом разработок, предложенных в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г., Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики – до 2035 г., Схеме и программе развития Единой энергетической системы России – на 2019-2025 гг. Наиболее крупными водопользователями в бассейне р. Дон являются объекты атомной и тепловой энергетики межрегионального значения – Нововоронежская АЭС, Ростовская АЭС, Новочеркасская ГРЭС, Ставропольская ГРЭС. Крупными водопотребителями являются промышленные комплексы г.г. Липецк, Воронеж, Волгодонск, Новочеркасск, Шахты, Ростов-на-Дону и др.

Поскольку, основная доля воды в промышленности расходуется на охлаждение реакторов атомных и тепловых электростанций, производство электроэнергии имеет очень большое влияние на изменение объема водопотребления в промышленности. Покажем влияние изменения величины коэффициента водооборота (X_1) и производства электроэнергии (X_2) за 1997-2018 гг. на динамику объема использования воды на производственные нужды на примере двух регионов – Воронежской и Тамбовской

областей. Связь величины коэффициента водооборота и объема использования воды на производственные нужды тесная и выражается следующими уравнениями регрессии:

$$\text{По Воронежской области: } Y = 23.141 X_1 + 2410.7 \quad R^2 = 0.814$$

$$\text{По Тамбовской области: } Y = 4.667 X_1 + 442.92 \quad R^2 = 0.959$$

Связь величины производства электроэнергии в регионах и объема использования воды на производственные нужды менее тесная, но существенная, и выражается следующими уравнениями регрессии:

$$\text{По Воронежской области: } Y = 14.202 X_2 + 489.62 \quad R^2 = 0.366$$

$$\text{По Тамбовской области: } Y = 52.853 X_2 - 27.42 \quad R^2 = 0.527$$

Такие связи находились для всех регионов бассейна р. Дон. Далее строились множественные уравнения регрессии зависимости объема использования воды на производственные нужды одновременно от величины коэффициента водооборота (X_1) и производства электроэнергии (X_2) за 1997-2018 гг. По каким-то регионам коэффициенты регрессии (в основном при X_2) не удовлетворяли критериям 95%-ной значимости. Однако для многих регионов получены достоверные множественные уравнения регрессии. Для прогноза объема использования воды на производственные нужды в других субъектах федерации использовались линейные уравнения регрессии зависимости объема использования воды на производственные нужды или от величины коэффициента водооборота (X_1), или от объема производства электроэнергии (X_2).

На основе полученных уравнений были рассчитаны прогнозные оценки использования воды на эти нужды по регионам бассейна р. Дон. Максимальные приросты объема водопотребления на производственные нужды отмечаются в Воронежской области и Ставропольском крае в результате ввода новых мощностей электроэнергетики. В целом по бассейну, объем водопотребления на эти нужды увеличится в 2025 г., по сравнению с 2018 г., на 5%, а в 2030 г. – на 6%.

Прогноз водопотребления на орошение

Для расчета прогнозных оценок водопотребления на орошение определяющее значение имеют достоверные оценки развития площадей орошаемых земель (ОЗ) по отдельным регионам, входящим в бассейн р. Дон, а также сценарии изменения климата. За основу расчета площади фактически ОЗ брались итоги сельскохозяйственной переписи 2016 г. по 15 субъектам федерации. Данные по наличию ОЗ за более ранние годы находились как разность между площадью в 2016 г. и вводом ОЗ в эксплуатацию в результате нового строительства и реконструкции за соответствующие периоды, взятые из статистических сборников по агропромышленному комплексу. Данные по приросту ОЗ в 2017-2018 гг. брались из сборника по АПК [9].

При отсутствии программ развития орошения до 2030 г. (в большинстве регионов) при обосновании прогнозных площадей орошения мы исходили из темпов развития мелиорации, характерных для программ развития до 2024-2025 гг. По нашим оценкам, площадь фактических ОЗ в бассейне Дона к 2030 г. увеличится на 72% и составит 332 тыс. га.

По прогнозам климатологов в XXI в. на Европейской территории России ожидается увеличение расходной части водного баланса. Диапазон ожидаемого роста дефицита испарения может возрасти к 2030-2039 гг. для регионов бассейна Дона от ~ 40-60 мм для среднего и влажного сценариев до 100 мм – для сухого сценария [10].

На изменение величины удельного водопотребления будут оказывать влияние две противоположные тенденции. С одной стороны, в результате роста засушливости климата и дефицита испарения частота поливов и оросительная норма должны увеличиваться. С другой стороны, в производстве все шире применяются водосберегающие и экологически безопасные технологии орошения. За период с 1999 по 2018 гг. площадь капельного орошения, позволяющего резко снизить потребление воды, выросла в России с 0,9 до 83,4 тыс. га. Такие же темпы развития капельного орошения характерны и для бассейна Дона. Многочисленными опытами,

проводящимися в РФ более 20 лет, доказано, что на посевах риса аэробных сортов, поливаемого капельным способом возможно получить, высокую урожайность при экономии оросительной воды до 5 раз, по сравнению с постоянным поддержанием слоя воды на поле. Растет площадь, поливаемая современными экономичными дождевальными машинами. В итоге, по нашим оценкам, к 2030 г. удельное водопотребление на 1 га может вырасти на 10-15%, что и было заложено в расчеты.

Исходя из прогнозных площадей орошения и удельных норм водопотребления, характерных для каждого региона в связи с особенностями структуры посевных площадей на орошении, были рассчитаны объемы водопотребления на орошение сельскохозяйственных земель для каждого субъекта федерации. В целом для бассейна р. Дон, объем водопотребления для этих целей увеличится с 843 млн м³ в 2018 г. до 1184 млн м³ в 2025 г. и 1368 млн м³ – в 2030 г. (рис. 1).

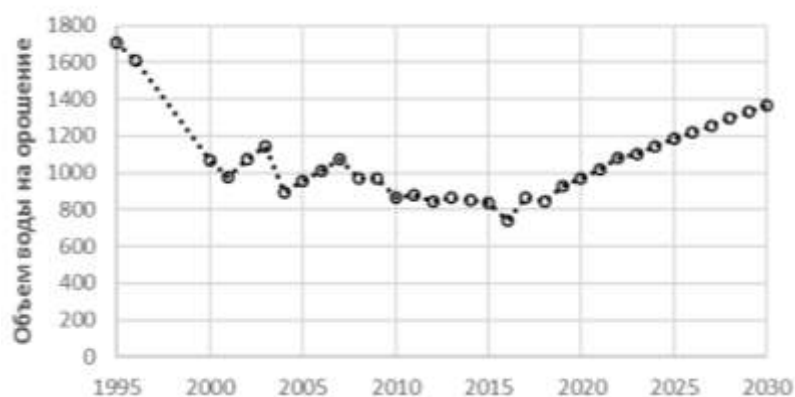


Рисунок 1 – Фактический и прогнозный объемы использования воды на орошение в бассейне р. Дон, млн м³.

В условиях нарастающего дефицита водных ресурсов необходимо шире проводить опытные работы по привлечению сточных вод ЖКХ, животноводческих комплексов, а также коллекторно-дренажных вод для орошения различных видов сельскохозяйственных культур, в первую очередь, технических. Данные меры широко используются в сельском хозяйстве зарубежных стран и должны применяться у нас при наступлении маловодных и засушливых периодов.

Прогноз объема использования воды на все нужды и полного водопотребления (водозабора)

Расходы воды в вышеописанных трех секторах народного хозяйства составляют, как правило, 75-95% суммарного водопотребления на все нужды для отдельных регионов. Рассмотрим особенности водопотребления на другие значимые нужды.

В связи с резким падением поголовья скота в 1990-х – начале 2000-х гг. существенно снизилось водопользование на нужды сельскохозяйственного водоснабжения. В последнее время в связи с возрождением животноводства стала существенно расти эта статья водопотребления в Белгородской, Тамбовской областях и Ставропольском крае. Так как в ближайшем будущем намечается существенное развитие животноводства, в том числе мясного направления для реализации этой продукции на экспорт, следует ожидать заметного роста объемов сельскохозяйственного водоснабжения в регионах с аграрной специализацией.

Значительные расходы воды на нужды прудового рыбного хозяйства отмечаются в Волгоградской, Ростовской областях, Ставропольском и Краснодарском

краях (60-120 млн м³). По-видимому, в среднесрочной перспективе резкого изменения объема водопотребления на эти нужды не предвидится.

Расходы воды на поддержание горизонтов в каналах, включая замочку каналов, за последние 10 лет существенно выросли и в 2016-2018 гг., что было учтено в прогнозе. Расходы воды на все остальные нужды, кроме вышеперечисленных, в большинстве субъектов федерации невелики и суммарно составляют 4-7%.

Учитывая все вышеперечисленные обстоятельства, были рассчитаны прогнозные величины объема использования воды на все нужды. Суммарный объем использования воды на все нужды в бассейне р. Дон к 2030 г. вырастет незначительно – на 13%, по сравнению с 2018 г. Для расчета объемов полного водопотребления (водозабора) на среднесрочную перспективу мы использовали отношение объема использования воды на все нужды к объему водозабора в последние годы, специфические для каждого субъекта федерации и в то же время довольно устойчивые во временном аспекте из-за существенной консервативности структуры водопотребления. В результате получены прогнозные величины объема водозабора по регионам бассейна р. Дон. В целом по бассейну, по нашим оценкам, объем водозабора в среднесрочной перспективе вырастет незначительно – примерно на 8% к 2030 г.

Список литературы

1. Воропаев Г.В., Благоверов Б.Г., Исмаилов Г.Х. Экономико-географические аспекты формирования территориальных единиц в водном хозяйстве страны. М.: Наука. 1986. 240 с.
2. Березнер А.С. Прогноз развития водопотребления орошаемого земледелия СССР в отдаленной перспективе // Изв. РАН. Сер. геогр. 1982. №1. С.44-52.
3. Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России/ под общей ред. В.Н. Щедрина. М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ». 2009. 342 с.
4. Шикломанов И.А., Балонишникова Ж.А., Цыценко К.В. Оценка перспективного водопотребления // Водные ресурсы России и их использование. СПб: ГГИ. 2008. С.473–484.
5. Burek P., Satoh Y., Fischer G. et al. (2016). Water Futures and Solution - Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper. - IIASA. Luxenburg. Austria: WP-16-006. [Электронный ресурс]. <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/>.
6. Greve, P., Kahil, T., Mochizuki, J. et al. (2018). Global assessment of water challenges under uncertainty in water scarcity projections. Nature Sustainability. - 1. 486–494 [Электронный ресурс]/ <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0134-9>
7. Предположительная численность населения Российской Федерации до 2035 года (статистический бюллетень) / Росстат. М.; 2020. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13285>
8. Демин А.П. Водообеспечение населения и объектов экономики в бассейне реки Дон: современное состояние и проблемы // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. №6. С. 767-778.
9. Агропромышленный комплекс России в 2018 году/ МСХ РФ. М.: 2019. 555 с.
10. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). СПб; Саратов: Амирит, 2020. 120 с.

О МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЯХ ПО НОРМИРОВАНИЮ ДОПУСТИМОГО БЕЗВОЗВРАТНОГО ИЗЪЯТИЯ РЕЧНОГО СТОКА И УСТАНОВЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА (ПОПУСКА) И ИХ АКТУАЛИЗАЦИИ

*Дубинина В.Г.¹, Косолапов А.Е.², Коронкевич Н.И.³, Чебанов М.С.⁴,
Никитина О.И.⁵*

¹ Центральное Управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации (ФГБУ «ЦУРЭН»), г. Москва

² Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНИВХЦ), г. Ростов-на-Дону

³ Институт географии РАН, г. Москва

⁴ Центр сохранения генофонда осетровых рыб ГКУ КК «Кубаньбиоресурсы» Министерства природных ресурсов Краснодарского края, г. Краснодар

⁵ Всемирный фонд дикой природы (WWF России), г. Москва

E-mail: vgdu@mail.ru, onikitina@wwf.ru

Аннотация: Установление обоснованных норм безвозвратного изъятия речного стока и экологического стока становится важной задачей для сохранения и восстановления водных экосистем бассейнов разных рек. В статье приведена информация о ранее выполненных работах по определению экологического стока в бассейнах рек Российской Федерации, описана методология нормирования допустимого безвозвратного изъятия речного стока и определения экологического стока (попуска), приведены также сведения об уточнении методологии.

Ключевые слова: сохранение водных экосистем, допустимое изъятие речного стока, экологический сток, методические указания, водные и пойменные экосистемы.

ON THE METHODOLOGICAL GUIDELINES FOR NORM-SETTING THE PERMISSIBLE SURFACE WATER WITHDRAWAL AND ENVIRONMENTAL FLOW (RELEASE) AND THEIR UPDATE

Dubinina V. G.¹, Kosolapov A. E.², Koronkevich N. I.³, Chebanov M. S.⁴, Nikitina O. I.⁵

¹ Central Directorate for Fisheries Expertise and Standards for the Conservation, Reproduction of Aquatic Biological Resources and Acclimatization, Moscow

² Russian Information and Analytical and Research Water Management Center, Rostov-on-Don

³ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow

⁴ State Centre for Sturgeon Gene Pool Conservation "Kubanbioresursy" of the Ministry of Natural Resources of the Krasnodar Territory, Krasnodar

⁵ World Wildlife Fund for Nature (WWF-Russia), Moscow

E-mail: vgdu@mail.ru, onikitina@wwf.ru

Abstract: Setting sound norms of the permissible surface water withdrawal and environmental flow is becoming an important task for freshwater ecosystem conservation and restoration in different river basins. The article provides information on the previously performed work to determine the environmental flow in the river basins of the Russian Federation, describes the methodology for standardizing permissible surface water withdrawal and determining the environmental flow (release), and gives information on the methodology adjustment, as well.

Key words: freshwater ecosystem conservation, permissible surface water withdrawal, environmental flow, freshwater ecosystems, floodplains.

Введение

В связи с ухудшением экологического состояния водных объектов требуется разработка научно-обоснованной стратегии их использования и охраны. Для

сохранения и восстановления водных экосистем важной задачей становится установление обоснованных норм безвозвратного изъятия речного стока и экологического стока для бассейнов разных рек и их последующая реализация.

В настоящее время осуществляется подготовка предложений в Минприроды России по доработке «Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты» [1], которые, среди прочих положений, содержат методологию расчета нормативов допустимого воздействия по изъятию водных ресурсов. В связи с этим Росводресурсы поручили ФГБУ «ЦУРЭН» актуализировать проект «Методических указаний по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска)».

История проведения работ по определению экологического стока в бассейнах рек Российской Федерации

В 1987 г. рыбохозяйственные институты в России начали проведение работ по определению допустимого безвозвратного изъятия речного стока и экологического стока (попуска). С 1992 г. эти работы возглавила Межведомственная ихтиологическая комиссия в лице В. Г. Дубининой. По заказу Минприроды России разработанные методические подходы были апробированы при установлении нормы допустимого объема безвозвратного изъятия речного стока и экологического попуска р. Дон в 1997 г.

В 2000 г., при содействии Инженерного научно-производственного центра «Союзводпроект» (главный инженер проекта М. В. Лурье), работа была продолжена с участием таких специалистов, как В. Г. Дубинина (Межведомственная ихтиологическая комиссия), Н. И. Коронкевич и И. С. Зайцева (Институт географии РАН). В итоге была разработана первая редакция «Методических указаний по установлению экологических попусков и нормированию предельно допустимого безвозвратного изъятия поверхностных вод». Научное обоснование подходов и результаты разработок изложены в материалах [2–11].

В 2008–2015 гг. по бассейновым округам России проводилась разработка нормативов допустимого воздействия (НДВ) хозяйственной и иной деятельности на водные объекты. Работа осуществлялась в соответствии с «Методическими указаниями по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты» (далее – «Методические указания» [1]. Разработка нормативов допустимого безвозвратного изъятия водных ресурсов (НДВиз) выполнялась в соответствии с Приложением Г «Методических указаний», научное обоснование и методы расчета которых взяты из книги В. Г. Дубининой «Методические основы экологического нормирования безвозвратного нормирования речного стока и установления экологического стока (попуска)» [4]. Ряд положений «Методических указаний» требовали уточнений, в связи с чем Росводресурсы приняли решение о разработке самостоятельного документа по нормированию допустимого безвозвратного изъятия водных ресурсов и установления экологического стока (попуска).

В 2008 г. авторский коллектив в составе д-ра геогр. наук В. Г. Дубининой (руководитель и ответственный исполнитель), д-ра техн. наук А. Е. Косолапова, д-ра геогр. наук Н. И. Коронкевича, д-ра биол. наук М. С. Чебанова разработал проект «Методических указаний по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска)» (далее – «Методические указания по нормированию») [9], который опубликован в материалах статьи [10]. В последней редакции разработанных «Методических указаний по нормированию» при сохранении основных принципов и подходов был принят ряд предложений по совершенствованию методических подходов. В частности, допустимое безвозвратное изъятие речного стока в годы различной водности стало определяться с учетом корректирующего коэффициента пропорциональности. Упразднен расчет стока базового года.

При расчете нормативов допустимого безвозвратного изъятия водных ресурсов (НДВиз) использовались оба документа: «Методические указания», Приложение Г и «Методические указания по нормированию».

Практика указала на вольную трактовку определения и терминов со стороны исполнителей, отсутствие отсылок на базы гидрологических данных при расчетах допустимого безвозвратного изъятия водных ресурсов. Исполнители часто не принимали во внимание основной принцип определения допустимого изъятия стока, согласно которому оно должно рассчитываться исходя из суммарной величины допустимого безвозвратного изъятия стока в целом для бассейна, т. е. в замыкающем створе.

Основные положения методических указаний по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и определения экологического стока (попуска)

При оценке экологически допустимого безвозвратного изъятия стока рек необходимо выбирать такие экологические критерии и базовые показатели, обеспечение которых обуславливает сохранение устойчивого функционирования водной и околородной экосистем, при котором изменения структурно-функциональной организации происходят в пределах границ толерантности естественной стадии гидрогенеза и не подрывается способность природных комплексов к саморегулированию (самоочищению и самовозобновлению) [4, 11]. Различные варианты экологически допустимых объемов изъятия воды определяются на основе оценки возможных изменений физико-химических, гидрологических, биологических и иных показателей воздействия и состояния водных экосистем. Одним из основных условий нормирования безвозвратного изъятия речного стока ($W_{ди}$) и установления экологического стока ($W_{эс}$) (попуска, $W_{эп}$) является определение значений гидрологических параметров, характеризующих оптимальные, нормальные и критические условия функционирования водных и околородных (в основном пойменных) экосистем, в т. ч. условия воспроизводства рыб и других водных животных и растений. Критические гидрологические условия ($W_{кр}$) создаются в основном в маловодные годы и периоды.

Водные и околородные системы могут функционировать при эпизодических снижениях объема стока ниже критического, что имеет место и в естественных условиях. Однако систематическое снижение объемов стока и нарушение естественного гидрологического режима рек при антропогенных воздействиях может привести к деградации и гибели экосистемы. Поэтому расчетная величина $W_{ди}$ должна обеспечивать режим экологического стока, максимально приближенного к естественному.

Сложность разработки методических подходов к оценке последствий изъятия разных объемов воды вызвана качественной неоднородностью и прерывистостью исходных временных рядов наблюдений за характеристиками водного режима, отсутствием достаточно надежных длительных и непрерывных рядов наблюдений за показателями биологической продуктивности. Поэтому в зависимости от наличия многолетних данных по условиям естественного размножения гидробионтов и гидрологическим характеристикам реки предлагаются два подхода. Определение $W_{ди}$, $W_{эс}$, $W_{эп}$ базируется на анализе связей характеристик гидрологического режима с биологическими показателями или заменяющими их косвенными показателями, характеризующими состояние водных экосистем (расход и скорость течения воды, уровень и соленость воды, объем половодья или паводка, при котором не происходит затопления поймы, сохранение условий естественного размножения рыб и др.).

Для водных объектов или отдельных их участков, имеющих важное значение для воспроизводства массовых и ценных видов рыб, в качестве основных критериев нормирования безвозвратного изъятия речного стока следует принимать

эффективность их размножения и условия нагула молоди и половозрелых рыб в замыкающем гидрографическую сеть водном объекте. В качестве показателей (прежде всего для малых рек и водоемов) могут использоваться характеристики состояния сообществ планктонных и донных растений и животных.

При преобладающей роли поймы в функционировании водной и пойменной экосистем на рассматриваемом участке речного бассейна и отсутствии надежной информации о биологических характеристиках их состояния, показатель обводнения поймы может быть использован как основной для установления критического стока.

Количественная оценка влияния изъятия стока на гидрографические характеристики устьевых водотоков может быть дана по гидролого-морфометрическим зависимостям (скорость течения, глубина, ширина в зависимости от расхода воды в расчетном створе). Нормативы $W_{ди}$ разрабатываются и утверждаются по водному объекту или его участку, в соответствии с принятым гидрографическим и/или водохозяйственным районированием, с обязательным учетом требований к объему поступления речных вод в замыкающий водный объект – конечное звено гидрографической сети (море, залив, лиман, озеро). Это методическое условие касается всех водных объектов, включая трансграничные.

Расчеты $W_{ди}$, $W_{эс}$ и $W_{эп}$ производятся по многолетним естественным (восстановленным) рядам водного стока в расчетном створе и по его внутригодовому распределению для лет со стоком различной обеспеченности. При отсутствии гидрологических рядов привлекаются реки-аналоги и данные гидрологических карт.

Уточнения и оптимизация методических положений

В 2014 г. проведены дополнительные исследования и разработаны предложения к методическим подходам по определению объемов допустимого безвозвратного изъятия стока из малых, слабоизученных и неизученных рек [12]. Объектами исследования являлись малые реки (с площадью бассейна до 2000 км²), расположенные в различных природных зонах. Методология нормирования допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока для малых рек базируются на тех же принципах, что и для средних и крупных рек. Основное отличие заключается в определении критического объема воды в водном объекте для воспроизводства организмов и функционирования экосистемы. Для решения этой задачи проводились исследования по определению пороговой величины речного стока, соответствующей критическому состоянию водной экосистемы малой реки. Работа проведена на основе обработки рядов многолетних данных минимальных месячных расходов (стоков) воды в летне-осеннюю и зимнюю межень, а также минимальных 30-суточных летне-осеннего и зимнего стока. Для малых рек за критическую величину рекомендуется принимать годовой объем естественного (восстановленного) стока 97%-ной обеспеченности. Как показали исследования, эта величина, будучи малой даже среди маловодных периодов, но, вместе с тем, не являясь историческим минимумом стока реки, обеспечивает сохранение водной экосистемы, в особенности при увеличении расчетного периода и учете климатических изменений. Даны предложения для расчета величин допустимого безвозвратного изъятия речного стока из слабоизученных и неизученных рек по рекам-аналогам.

В 2021 г. предложен ряд редакционных уточнений для внесения в проект «Методических указаний по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска)». В частности, при определении экологического стока (попуска) рекомендуется также учитывать наличие в пойме реки особо охраняемых природных территорий и необходимость поддержания их водного режима, максимально приближенного к естественному. Среди экологических условий (критериев), используемых при разработке норм $W_{ди}$, $W_{эс}$, $W_{эп}$, предложено учитывать и использовать состояние особо охраняемых природных территорий. Отмечено, что величины допустимого безвозвратного изъятия речного

стока, экологического стока и попуска должны корректироваться, в соответствии с изменениями параметров стока под воздействием климатических факторов. Также предложены к внесению указанные выше уточнения по определению допустимого безвозвратного изъятия стока из малых, слабоизученных и неизученных рек.

В большинстве речных бассейнов экологический сток (попуск) не реализуется на практике, что приводит к ухудшению состояния водных и пойменных экосистем. Необходимо законодательно закрепить установление допустимого безвозвратного изъятия поверхностного стока и экологических стоков (попусков), а также контроль за их реализацией. Для сохранения и восстановления водных и пойменных экосистем трансграничных речных бассейнов разработку определения экологического стока (попуска) следует прописать в Международных соглашениях с сопредельными государствами по использованию и охране трансграничных вод.

Список литературы

1. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утверждены Приказом МПР России от 12.12.2007 №328 (зарегистрированы Минюстом России от 23.01.2008 № 10974).
2. Дубинина В.Г. Экологические основы использования и управления водными ресурсами южных рек России. Проблемы географии и экологии (к 90-летию проф. Д. Г. Панова). Ростов-на-Дону. 1999. С. 55–79.
3. Дубинина В.Г. Эколого-географические последствия трансформации водных экосистем бассейнов южных рек России и перспективы их преодоления. Научное познание окружающего мира, динамика географической среды (природа, общество, политика). Тр. XI съезда РГО. Т. 5. СПб. 2000. С. 101–102.
4. Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). М.: Экономика и информатика. 2001. 118 с.
5. Дубинина В.Г., Гаргопа Ю.М., Чебанов М.С., Катунин Д.Н., Филь С.А. Методические подходы к экологическому нормированию антропогенного сокращения речного стока. Водные ресурсы. 1996. № 1. С. 78–85.
6. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Вуглинский В.С. Применение методических документов по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока. Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России. Краснодар: ООО «Авангард плюс». 2010. С. 338–348.
7. Дубинина В.Г., Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Медведева Г.П. Подходы к экологическому нормированию изъятия речного стока // Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. [Монография]. Отв. ред.: Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. Ин-т географии РАН. М. 2003. С. 335–340.
8. Dubinina V.G., Kozlitina S.V. Water resources management of the southern rivers of Russia with reference to fisheries requirements. Fisheries Management and Ecology. 2000. № 7. P. 157–165.
9. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С. Методические указания по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) по Государственному контракту № М-08-18 от 16 мая 2008 г. Федер. гос. учреждение «Межведомственная ихтиологическая комиссия». М. 2008. 40 с.
10. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич, Н.И., Чебанов М.С., Скачедуб Е.А. Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска). // Водное хозяйство России. 2009. № 3. С. 26–61.

11. Пастухова Е.В., Дубинина В.Г., Епишин Н.Б., Прохоров В.Г. Концепция экологического риска водных экосистем. Тезисы докл. II Всесоюз. конф. по рыбхоз. токсикологии. СПб. 1991. С. 89–91.

12. Дубинина В.Г., Никитина О.И., Марков М.Л. Методические подходы к определению объемов допустимого безвозвратного изъятия стока из слабоизученных, неизученных и малых рек. // Водное хозяйство России. 2015. № 4. С.80–97.

РАСЧЕТ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА АЗОВСКОГО МОРЯ С УЧЕТОМ ЕГО ТРАНСГРАНИЧНОГО СТАТУСА

Евстигнеев В.П.^{1,2}, Остроумова Л.П.³, Лемешко Н.А.⁴, Вишневская И.А.³,
Милосердов П.Г.²

¹ Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

² Севастопольский ЦГМС, г. Севастополь

³ Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

E-mail: vald_e@rambler.ru

Аннотация. В статье дана сравнительная оценка качества расчета компонентов водного баланса Азовского моря, акватория которого имеет трансграничный статус и разделена между Россией и Украиной. Сравнительный анализ выполнен для таких компонент, как слой осадков над морем и слой испарения, с учетом и без учета данных наблюдений с украинского побережья моря. Формулируется проблема невозможности современной оценки водообмена между Азовским морем и заливом Сиваш через пролив Тонкий как одного из компонентов водного баланса Азовского моря.

Ключевые слова: водный баланс, испарение, осадки, водообмен, Азовское море.

CALCULATION OF WATER BALANCE COMPONENTS OF THE AZOV SEA TAKING IN TO ACCOUNT OF ITS TRANSBOUNDARY STATUS

Evstigneev V.P.^{1,2}, Ostroumova L.P.³, Lemeshko N.A.⁴, Vishnevskaya I.A.³, Miloserdov P.G.²

¹ Sevastopol State University, Sevastopol

² Sevastopol Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Sevastopol

³ N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Moscow

⁴ St. Petersburg State University, St. Petersburg

Abstract. The article provides a comparative assessment of the quality of water balance components calculation for the Azov Sea, the water area of which has a transboundary status and is divided between Russia and Ukraine. Comparative analysis is made for such components as a layer of precipitation above the sea and a layer of evaporation, when they are calculated with and without taking into account the observation data from the Ukrainian coast of the sea. The problem of impossibility for modern assessment of water exchange between the Azov Sea and Sivash Bay through the Tonky Strait as one of the components of the water balance of the Azov Sea is formulated.

Keywords: water balance, evaporation, precipitation, water exchange, Azov Sea.

Шельфовые зоны, устьевые области, заливы, внутренние моря вызывают большой научный интерес у исследователей в связи с тем, что функционирующие в них экосистемы являются наиболее продуктивными и одновременно наиболее чувствительными к климатическим изменениям и антропогенному прессу [1]. Особо

актуальны эти исследования в условиях отмечаемой в последние десятилетия тенденции к потеплению нижних слоев атмосферы. Одним из примеров таких водоемов является Азовское море, состояние экосистемы которого зависит от цикличности объемов речного стока [2] и в сопоставимой мере от других факторов абиотической природы, к которым можно отнести: аномальный прогрев поверхности водоемов и, как следствие, интенсификация испарения с их поверхности и соответствующих водосборов; изменение режима осадков над акваторией водоемов; для внутренних морей равномерное повышение уровня воды с последующим изменением интенсивности водообмена через проливы, соединяющие данный водоем с примыкающими. Такой каскад процессов проявляется в последние десятилетия наиболее ярко.

Последние две причины связаны с таким важнейшим последствием глобального потепления, как изменение структуры гидрологического цикла и водности рек, уровня озер и внутренних морей [3]. Такие процессы происходят вследствие увеличения влагоемкости атмосферы, связанного с повышением глобальной температуры воздуха и, как следствие, с увеличением частоты обильных осадков, что уже отмечается в последние десятилетия [4]. Уже сейчас человечество сталкивается с угрозами, связанными с избытком или недостатком воды, которые составляют основную часть экологических проблем - 69%. Интересно отметить, что наибольшее число из них (52%) относят к засухам и лишь 11% - к наводнениям.

В целом, все указанные процессы влекут за собой перестройку структуры водного баланса водоемов, проекции изменения которого в ближайшее будущее позволяет выработать оптимальную адаптационную стратегию управления водными ресурсами. Однако острой проблемой при построении таких стратегий является трансграничный статус водных объектов и ограничение в количественных оценках их эволюции. Недостаток освещения части водного объекта в границах территорий одного из государств может привести к систематическим ошибкам, которые вкупе с неточностью самой методики расчета могут привести к неопределенностям в оценках климатообусловленных вариаций в составляющих водного баланса. Одним из наиболее наглядных примеров такого рода служит акватория Азовского моря, разделенная территориально между Россией и Украиной. Методики расчета составляющих водного баланса для этого объекта были разработаны еще в Советском союзе и предполагали использование всего массива имеющихся данных двух республик. В существующих условиях взаимодействия и сотрудничества между двумя странами, составление водного баланса крайне осложнено и требует актуализации расчетных методик с учетом «влияния» трансграничного статуса объекта. В табл.1 представлен список составляющих водного баланса Азовского моря и методик учета трансграничности.

Таблица 1 – «Влияние» фактора трансграничности водной акватории Азовского моря на расчет отдельных составляющих его водного баланса

Компонент водного баланса / Фактор трансграничности	Водообмен через Керченский пролив	Водообмен через пролив Тонкий	Слой осадков над морем	Слой испарения с поверхность и моря	Речной сток
Влияние трансграничности	-	+	+	+	+
Методика расчета с учетом трансграничности	+	-	-	-	+

Так, согласно табл.1, расчет объема речного стока зависит от данных гидрологических наблюдений на замыкающих створах рек Украины (малых рек) и России, впадающих в Азовское море. Однако, ранее была разработана формула пересчета суммарного объема речного стока только по величине стока р.р. Дон и Кубань [5]. На расчет же водообмена через Керченский пролив трансграничный статус Азовского моря никак не влияет, и все данные для расчета находятся в доступе в единой системе Росгидромета. Наиболее критичная ситуация отмечается при расчете слоя осадков над морем, испарения и водообмена через пролив Тонкий.

Слой атмосферных осадков над Азовским морем

Ранее, по данным о влагосодержании атмосферного столба, восстановленного на основе данных спутникового зондирования атмосферы (радиометр SEVIRI за период 2013-2015 гг.), и приведенных к декадным значениям, нами был определен оптимальный набор предикторов (из 9-ти действующих станций на побережье) для восстановления слоя осадков над Азовским морем – «Бердянск», «Стрелковое», «Приморско-Ахтарск» и «Опасное» [6]. Регрессионные коэффициенты для этих локаций составили значения 0,356; 0,206; 0,268 и 0,159. Из этих 4-х станций 2 располагаются на украинском побережье – «Стрелковое» и «Бердянск». Была поставлена задача оценить ошибку расчета слоя осадков при условии использования только российских станций.

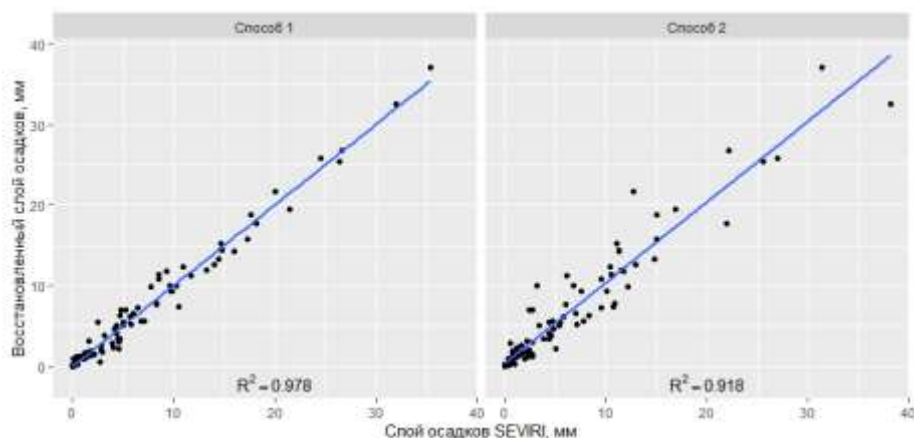


Рисунок 1 – Диаграммы рассеяния декадных значений слоя осадков за период 2013-2015 гг., оцененного по данным спутникового зондирования (SEVIRI) и восстановленным значениям разными способами по совокупности станций-предикторов

На первом этапе методом шаговой регрессии был определен набор станций на российском побережье, которые дают наиболее близкие к [6] результаты. Оказалось, что наиболее значимое сочетание станций-предикторов выглядит следующим образом: «Мысовое», «Таганрог», «Ейск», «Приморско-Ахтарск», «Опасное» (регрессионные коэффициенты 0,170; 0,114; 0,183; 0,105; 0,300 соответственно; свободный коэффициент незначим). Стандартная ошибка регрессии по декадным данным SEVIRI составила величину 2,27 мм, что в 2 раза превосходит ошибку из [6] – 1,16 мм. На рис. 1 представлены графики связи между величиной слоя осадков, пересчитанного по спутниковым данным, и теми его оценками, которые были получены по данным в локациях пунктов-предикторов с учетом станций украинского побережья (Способ 1) и без их учета (Способ 2). Графики подтверждают вывод о менее тесной связи по Способу 2, по сравнению со Способом 1. Сравнение коэффициента детерминации свидетельствует о том, что при применении второго способа доля объясненной дисперсии не критично снижается на 6%.

В табл. 2 приведены дополнительные показатели качества восстановления величины слоя осадков над Азовским морем с учетом станций украинского побережья и без их учета. Выполнен расчет по 7 показателям качества подгонки: ME – средняя ошибка, MAE – средняя абсолютная ошибка, MSE – средний квадрат ошибки, RMSE – среднеквадратическая ошибка, NRMSE – среднеквадратическая ошибка, нормированная на стандартное отклонение исходного ряда и представленная в %, PBIAS – систематическое отклонение, выраженное в % по отношению к наблюдаемым данным, rSD – отношение стандартных отклонений наблюдаемых и восстановленных значений.

Таблица 2 - Качество воспроизведения слоя осадков над Азовским морем за период 2013-2015 гг.

Показатели качества	Способ 1	Способ 2
ME	0,0	-0,39
MAE	0,82	1,39
MSE	1,27	4,96
RMSE	1,12	2,23
NRMSE %	14,6	28,9
PBIAS %	-0,1	-6,0
rSD	0,99	0,96

Из табл. 2 следует, что при применении Способа 1 систематическая ошибка (ME=0, PBIAS =-0,1) практически отсутствует, в отличие от Способа 2, где эта ошибка достигает 6 % (см.PBIAS), хотя, по всей видимости, она незначима. Стандартная ошибка восстановления величины слоя по Способу 1 составляет менее 15% от стандартного отклонения исходной выборки (см.NRMSE), в то время как для Способа 2 эта ошибка становится в 2 раза выше (30%). В целом, изменчивость восстановленных значений по Способам 1 и 2 чуть ниже, чем у исходного ряда; оценки отдельных максимальных величин слоя осадков могут быть занижены. Таким образом, в случае оценки слоя осадков над Азовским морем, расчетная схема может включать только российские станции.

Слой испарения над Азовским морем

Испарение с поверхности является одной из основных расходных составляющих баланса вод Азовского моря. Поскольку измерения этой величины непосредственно с поверхности моря не производятся, расчет потерь воды осуществляется по данным наблюдений за температурой и влажностью воздуха, скорости ветра с использованием разных полуэмпирических соотношений. Многие из них некорректно или не полностью отражают многообразие физических процессов, протекающих в приводном слое атмосферы. Одним из наиболее точных способов расчета слоя испарения над водоемами считается метод А.П. Браславского, основанный на ряде эмпирических формул, моделирующих процесс испарения, как взаимодействие двух явлений - массообмена в пограничном слое водоема и атмосферы и переноса водяных паров в приводном слое атмосферы [7]. Согласно методике, расчеты ведутся отдельно для каждой метеорологической станции вдоль побережья моря; далее, совокупность величин слоя испарения усредняется для получения общего интегрального слоя испарения над морем. Очевидно, что величина интегрального слоя может зависеть от набора используемых для расчета станций. Расчеты проводятся, как правило, на месячном уровне.

Методика расчета слоя испарения над морем требует данных о разнообразных метеорологических элементах, включая характеристики температуры и влажности воздуха, облачности, количества осадков, атмосферного давления. Для расчета слоя испарения над Азовским морем использованы наиболее полные массивы метеорологических данных по станциям «Бердянск», «Стрелковое», «Геническ», «Мариуполь», «Мысовое» и «Опасное», из которых 4 станции располагаются на украинском побережье моря. На рис. 2 представлены графики связи между интегральным слоем испарения над Азовским морем, рассчитанным по данным всех береговых станций (6 станций) и отдельно по 2 российским станциям «Мысовое» и «Опасное». Как видно из рис., качество воспроизведения слоя испарения только по 2 станциям российского побережья вполне удовлетворительное.

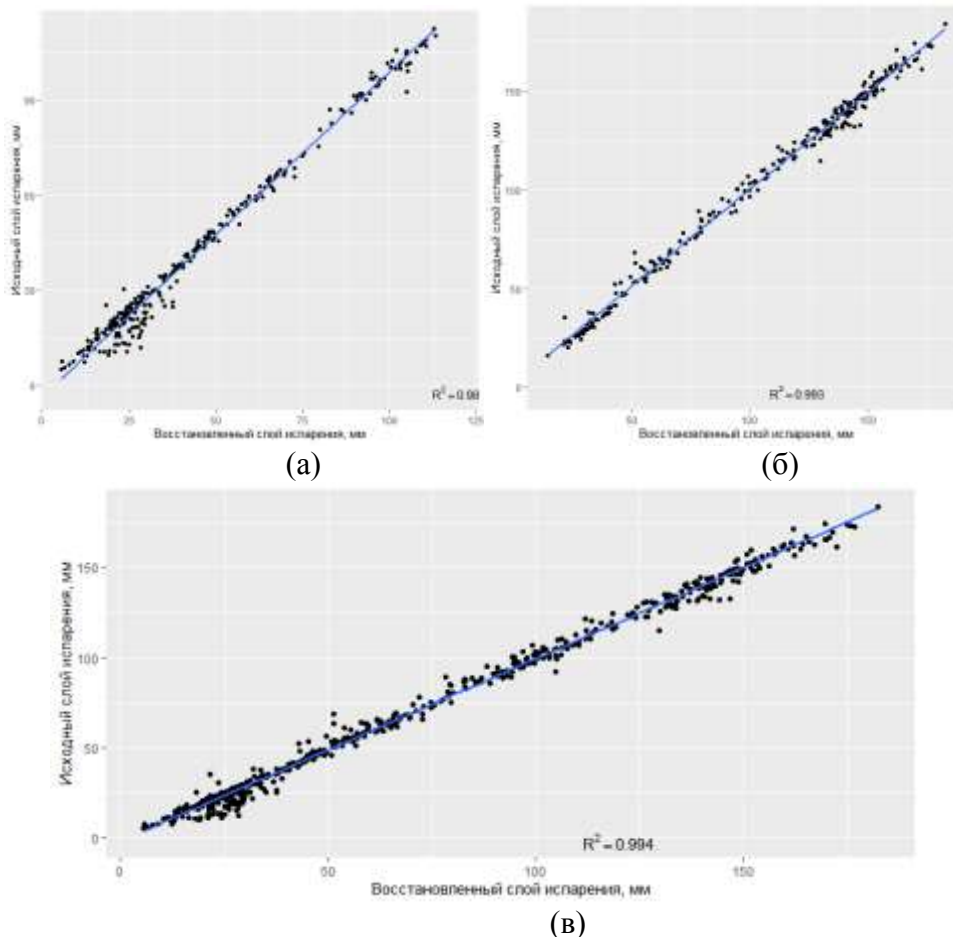


Рисунок 2 – Диаграммы рассеяния месячных сумм слоя испарения Азовского моря за период 1966-2010 гг., оцененного по данным гидрометеорологических наблюдений на всех 6-ти береговых станций региона и отдельно по 2-м Крымским станциям «Мысовое» и «Опасное». Графики представлены отдельно за холодное (а) и теплое (б) полугодие и за весь год

Уравнение связи между интегральным слоем испарения (y) и предикторным рядом по 2 станциям (x) не зависимо от сезона (см. рис. 2в) принимает вид: $y = 1.013 \times x - 2.04$, где указанные коэффициенты являются значимыми (5% уровень значимости). Угловый коэффициент линейной регрессии практически близок к 1, но большее внимание обращает на себя свободный коэффициент уравнения. Видно, что между «полным» рядом значений испарения и предикторным по 2 российским станциям существует систематическое отклонение – предикторный ряд завышает высоту слоя испарения, и это имеет свое объяснение. В редуцированной схеме расчета

используются только крымские станции, располагающиеся на побережье южной части Азовского моря. Локальные гидрометеорологические условия этих станций в меньшей степени отражают условия северной мелководной части Азовского моря – Таганрогского залива – особенно в ледовый сезон. Наиболее ярко эта особенность проявляется, если рассмотреть тесноту связи редуцированных данных с «полным» рядом значений в холодное полугодие (см.рис.2а). На графике видна группа выпадающих точек в области низких значений испарения, явно обусловленных наличием льда, в частности, припая. Таким образом, в случае оценки слоя испарения, расчетная схема может включать только российские станции, но с обязательным включением станций северной части Азовского моря.

Водообмен с заливом Сиваш через пролив Тонкий

В основном, водообмен между Азовским морем и заливом Сиваш осуществляется через пролив Тонкий, длина которого около 5 км, ширина – от 70 до 180 м, глубина – до 5 м (при выходе из пролива в Сиваш глубина меньше 1 м). Динамика водообмена в проливе зависит от множества факторов: уровня Азовского моря в районе пролива, направления, скорости и продолжительности ветров, изменения уровня самого залива. Существуют несколько методик расчета водообмена через пролив, разработанных на основе данных параллельных гидрометрических измерений и стандартных гидрометеорологических наблюдений на станциях «Геничеськ» и поста «Чонгарский мост» [8]. После 2014 г. данные с пункта наблюдений в Геничеське (Украина) не поступают, пост «Чонгарский мост» перестал функционировать, что делает невозможной оценку азово-сивашского водообмена по данным косвенных измерений на метеорологических станциях и на основе эмпирических методик. Таким образом, для этой составляющей водного баланса проблема ее оценки в условиях трансграничности стала критичной.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-05-00803.

Список литературы

1. Waycott M. et al. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems // PNAS. 2009. Vol. 106, Iss. 30. P. 12377-12381.
2. Матишов Г.Г. и др. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона // Наука юга России. 2017. Т. 13, № 1. С. 35-43.
3. Nohara D. et al. Impact of climate change on river discharge projected by multimodel ensemble // Journal of Hydrometeorology. 2006. V.7. P.1076-1089.
4. Мохов И.И. Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне реки Амур в условиях глобального потепления // Докл. Акад. наук. 2014. Т.455, № 5. С.585-588.
5. Симов В.Г. и др. Приток речных вод в Азовское море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2010. №23. С.142-152.
6. Евстигнеев В.П. и др. Расчет количества выпадающих на поверхность Азовского моря осадков как составляющей его водного баланса // Метеорология и гидрология. 2018. №8. С.39-52.
7. Остроумова Л.П. Расчет испарения с поверхности водных объектов в устьевых областях рек южных морей России. // Метеорология и гидрология. 2004. №9. С. 81-96.
8. Еремина Е.С., Евстигнеев В.П. Межгодовая изменчивость водообмена между Азовским морем и заливом Сиваш через пролив Тонкий // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 5. С. 532-544.

ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ, КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ АРГУНЬ И ПРОТОКИ ПРОРВА В РАЙОНЕ П. МОЛОКАНКА (2007-2020 гг.)

Емельянова В.П., Оленникова Н.Н.

ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону

E-mail: info@gidrohim.com

Аннотация. На единой методической основе с использованием дифференцированного и комплексного подходов проведен анализ и оценка динамики химического состава трансграничных водных объектов р. Аргунь и протоки Прорва в районе п. Молоканка. Оценены многолетние изменения загрязненности и качества воды по степени загрязнения комплексом широкого набора обнаруживаемых в воде химических веществ. Выделены критические показатели загрязненности воды, вносящие наибольший загрязняющий эффект в общую степень загрязненности. Установлены репрезентативные загрязняющие вещества с учетом устойчивости и уровней загрязненности каждым из них и изменение их перечней за 2007-2020 гг.

Ключевые слова: трансграничный водный объект, химический состав воды, р. Аргунь и протока Прорва в пунктах п. Молоканка, комплексная оценка качества, динамика загрязненности воды.

DYNAMICS OF POLLUTION, WATER QUALITY IN THE ARGUN RIVER AND BREAKTHROUGH FLOWS IN THE AREA OF P. MOLOKANKA (2007-2020)

Emelyanova V. P., Olennikova N. N.

FGBU "Hydrochemical Institute", Rostov-on-Don

E-mail: info@gidrohim.com

Abstract: And Prorva channel in the area of Molokanka settlement. An analysis and assessment of the dynamics of the chemical composition of transboundary water bodies of the Argun river were carried out on a unified methodological basis using a differentiated and complex approaches. The long-term changes in water pollution and quality have been assessed by the degree of pollution by a complex of a wide range of chemicals found in water. Critical indicators of water pollution, which bring the greatest polluting effect to the overall degree of pollution have been identified. Representative pollutants have been established, taking into account the stability and pollution levels of each of them, and a change in their lists for 2007-2020.

Key words: transboundary water body, chemical composition of water, Argun river and Prorva channel at the points of Molokanka settlement, comprehensive quality assessment, dynamics of water pollution.

Для обеспечения целостного подхода к оценке многолетней динамики качества воды р. Аргунь и протоки Прорва в районе п. Молоканка проведены исследования не только с использованием дифференцированного, но и комплексного подходов к оценке степени загрязненности воды [1, 2]. Примененный метод формализует процессы анализа, обобщения и оценки режимной гидрохимической информации о химическом составе воды по определенному набору изучаемых химических веществ и трансформирует её в относительные расчетные показатели оценки, однозначно характеризующие степень загрязненности, качество воды водных объектов. Используемая методика оценивает межгодовые изменения количества и перечней загрязняющих воду веществ, репрезентативность в химическом составе каждого из них, в том числе уровней наблюдаемых концентраций и встречаемости загрязненности воды относительно нормативных требований, классы опасности веществ; формализует в соответствии с [1] уровень загрязнения и устойчивость загрязненности воды по каждому химическому веществу, выделяет вещества и их число с высоким загрязняющим эффектом (критические показатели загрязненности – КПЗ),

обуславливающие перевод воды по этому веществу в категорию «экстремально грязная»; ранжирует химические вещества по доле загрязняющего эффекта, вносимого каждым из них в общую загрязненность комплексом присутствующих в воде веществ [1, 2], оценивает комплексность загрязненности воды водного объекта [3].

Все водные объекты, подвергающиеся какому-либо изменяющемуся во времени, антропогенному воздействию, тем более трансграничные, характеризуются в большинстве случаев нарушением естественного состава воды не по одному, а по комплексу признаков. Количество обнаруженных в воде веществ, концентрации которых или значения показателей химического состава воды отклоняются от установленных нормативов, являются первой, очень простой и в то же время достоверной характеристикой загрязнения, равно как и загрязненности воды водного объекта [3].

Для оценки тенденций изменения качества воды р. Аргунь, трансграничного с КНР водного объекта, из этой системы использовали: коэффициент комплексности загрязненности воды (K_1), коэффициенты комплексности высокого ($K_{вз}$) и экстремально высокого уровней загрязненности воды ($K_{эвз}$); перечень и число учитываемых в комплексной оценке показателей качества воды водных объектов; обобщенные оценочные баллы ($S_{об,ij}$) по каждому учитываемому веществу; критические показатели загрязненности воды (КПЗ); удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ); классы качества воды в количественной и качественной формах (4 «а» и 4 «б» - грязная, 4 «в» – очень грязная, 3 «б» – очень загрязненная).

Расчеты проводились по 15 наиболее характерным ингредиентам и показателям качества воды с использованием программного обеспечения «Гидрохим ПК UKISV-сеть».

Река Аргунь – правая составляющая р. Амур, берет начало на западном склоне Большого Хингана и на протяжении 669 км течет по территории КНР. На 951-м км от устья р. Аргунь вступает в пределы РФ и является естественной границей с КНР. Качество воды р. Аргунь оценивалось по материалам государственной наблюдательной сети (ГНС) за химическим составом, включающей 2 пункта: р. Аргунь (основное русло), 3,2 км восточнее от п. Молоканка и протока Прорва (р. Аргунь), в черте п. Молоканка.

Река Аргунь (основное русло) в пункте 3,2 км к В от п. Молоканка, расположенном в 944,5 км от устья, относится к категории «средних» водных объектов. На этом участке по течению реки имеет место транзитный перенос с территории сопредельного государства КНР.

В течение последних 14 лет (2007-2020 гг.) вода р. Аргунь в основном русле к востоку от п. Молоканка в трансграничном створе отличалась стабильно высокой комплексностью загрязненности, существенно превышающей комплексность загрязненности воды р. Аргунь, в целом. Значения коэффициента комплексности загрязненности воды р. Аргунь на этом участке варьировали в очень широком для поверхностных вод интервале – от минимальных за многолетний период в диапазоне 12,5-26,7 % до максимальных с 2007 по 2015 гг. включительно и в 2017 г. в пределах 50,0-87,5 % (рис. 1). В конце изучаемого временного ряда расчетных данных комплексность загрязненности воды заметно снизилась. В 2010-2020 гг. нарушение нормативных требований наблюдали только по 8-9 из 15 рассматриваемых ингредиентов и показателей качества воды. В 2020 г. отмечали в одной из проб наименьшее разовое за 14 лет значение коэффициента комплексности 6,70 % (рис.1).

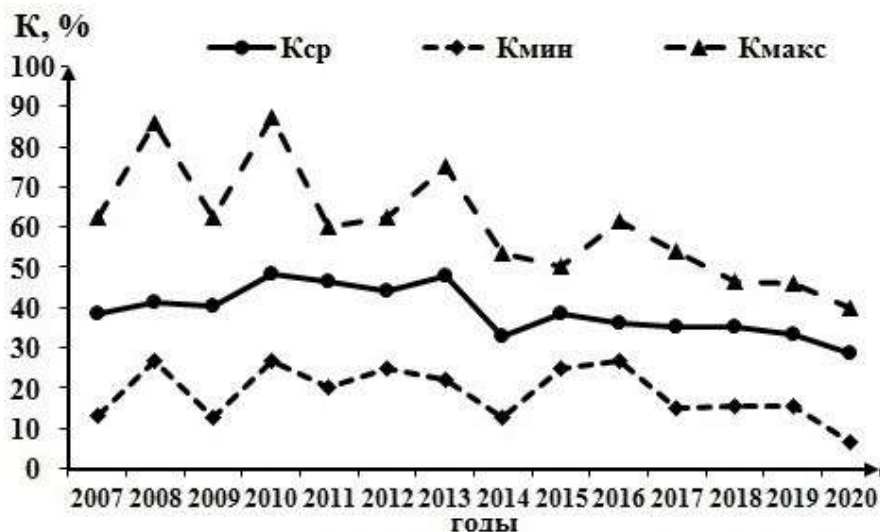


Рисунок 1 – Динамика комплексности загрязненности воды в р. Аргунь (основное русло) в пункте 3,2 км к В от п. Молоканка

Начиная с 2016 г. до конца анализируемого периода, в воде не было зарегистрировано ни по одному веществу случаев высокого загрязнения. Между тем, как в 2007-2015 гг. максимальные значения коэффициента комплексности высокого загрязнения ($K_{вз}$) достигали 6,70-13,3 %, в 2010 и 2012 гг. – 20 %. С 2015 г. экстремально высокого загрязнения воды р. Аргунь в основном русле не обнаруживали. Значения коэффициентов комплексности высокого ($K_{вз}$) и экстремально высокого ($K_{эвз}$) уровней загрязнения снизились до нулевых величин. В течение предыдущих восьми лет на этом участке р. Аргунь стабильно отмечали случаи ВЗ и ЭВЗ воды соединениям марганца, реже цинка и нитритному азоту, фиксировали дефицит и глубокий дефицит растворенного в воде кислорода. Среднегодовые значения $K_{вз}$ р. Аргунь (основное русло) в пункте п. Молоканка колебались от 0,06 % в 2008 г. до 4,60 % в 2010 г. Наибольшую комплексность экстремально высокого загрязнения регистрировали в воде р. Аргунь в створе п. Молоканка в 2007 и 2010-2012 гг., когда максимальные его значения достигали 12,5% и 13,0 %. С 2015 г. случаев экстремально высокого загрязнения на этом участке реки не обнаруживали.

Идентично характеризуются тенденции изменения степени загрязненности воды р. Аргунь в створе 3,2 км к В от п. Молоканка значениями УКИЗВ. В начале четырнадцатилетнего периода наблюдали некоторый рост загрязненности воды химическими веществами. В 2007 и 2008 гг. значения УКИЗВ составляли 4,86 и 4,94, в 2009 г. увеличились до 5,54, в 2010-2011 гг. – до 6,52-6,15. По качеству вода р. Аргунь в 2007-2008 гг. соответствовала разряду «а» и оценивалась как «грязная» (рис. 2). В 2009 г. критического уровня достигла загрязненность марганцем, наблюдали дефицит растворенного в воде кислорода. Увеличение УКИЗВ сопровождалось переходом воды по качеству в пределах 4-го класса качества в разряд «б». Тенденция повышения загрязненности воды комплексом присутствующих в воде р. Аргунь в пункте

п. Молоканка веществ продолжалась и позже. Отмечался некоторый рост устойчивости загрязненности и уровней наблюдаемых в воде содержаний цинка, марганца, нефтепродуктов, и, в несколько меньшей степени, железа и меди. В 2010 г. повысилась и ранее высокая загрязненность воды основного русла р. Аргунь в пункте 3,2 км к В от п. Молоканка соединениями марганца, фенолами, аммонийным и нитритным азотом. Возросла встречаемость случаев обнаружения дефицита растворенного в воде кислорода, загрязненность воды фенолами, аммонийным и нитритным азотом, осталась устойчивой и повышенной для створа п. Молоканка загрязненность воды нефтепродуктами. В 2010 г. выделялись 2 критических показателя

загрязненности (КПЗ) воды – растворенный в воде кислород, соединения марганца; в 2011-2012 гг.: растворенный в воде кислород, соединения цинка, соединения марганца. Значения УКИЗВ достигли в 2010 и 2011 гг. 6,52 и 6,15, вода перешла в пределах 4-го класса качества из разряда «б» в разряд «в» «очень грязная» (рис. 2).

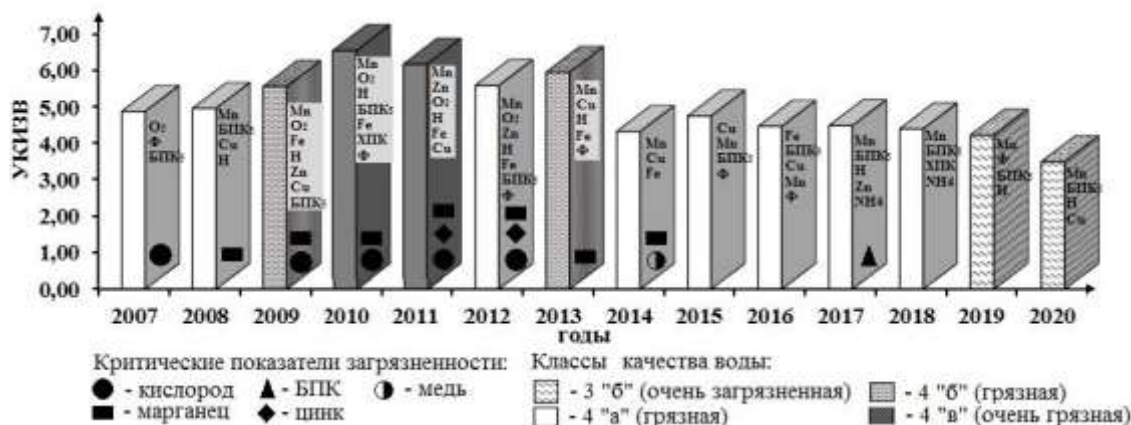


Рисунок 2 – Многолетние изменения степени загрязненности, качества воды р. Аргунь (основное русло) в пункте 3,2 км к В от п. Молоканка

В последующие 2012-2013 гг. по большинству веществ отмечалась стабилизация вносимых химическими веществами в общую загрязненность воды р. Аргунь долей загрязняющего эффекта. В то же время снизилась загрязненность соединениями меди, свинца, в 2013 г. цинка, нитритного азота. По комплексной оценке вода перешла в разряд «б» 4-го класса и характеризовалась как «грязная». Значения УКИЗВ оставались весьма высокими и составляли 5,57 и 5,93. Тенденция некоторого снижения загрязненности р. Аргунь (основное русло) в створе 3,2 км к В от п. Молоканка комплексом присутствующих в воде химических веществ с переходом в разряд «а» «грязная» в пределах 4-го класса качества прослеживалась в 2014 г. и в дальнейшем сопровождалась стабилизацией все в той же категории «грязная» в 2015-2018 гг. В 2019-2020 гг. наблюдали дальнейшее, постепенное снижение загрязненности воды р. Аргунь (основное русло) в пункте п. Молоканка. Значение УКИЗВ уменьшилось до 4,21 и 3,48. Вода перешла по качеству в 3-й класс и характеризовалась как «очень загрязненная» (рис. 2).

Протока Прорва (р. Аргунь), в черте п. Молоканка – водный объект категории «малая». В этом створе наблюдается транзитный перенос с расположенного на территории сопредельного государства КНР участка водного объекта, подземный приток.

Комплексность загрязненности воды протоки Прорва с 2007 по 2020 гг. носила достаточно изменчивый характер. Разовые значения K_k колебались в интервале 0-73,3%. При этом существенно, от 0 до 37,5 %, изменялись год от года его минимальные годовые значения, максимальные колебались в более узких пределах от 50,0 % и выше (рис. 3). К загрязняющим ежегодно относились 10-11, в 2019-2020 гг. 7 из 15 учтенных в оценке показателей качества воды.

Значения $K_{вз}$ в 2007-2013 гг. и 2019 г. достигали максимальные 6,70-20,0 %, среднегодовые 0,60-5,30 %; $K_{звз}$ в 2007-2013 и 2019 гг. – 6,70-20,0 % и 0,60-4,10 %. В 2014-2017 гг. случаев загрязненности воды протоки Прорва высокого и экстремально высокого уровней не наблюдали.

По качеству вода протоки Прорва (р. Аргунь) в створе в черте п. Молоканка с 2007 по 2019 гг. оценивалась как «грязная», относилась к 4-му классу и варьировала в многолетнем плане в пределах разрядов «а» и «б», и только в 2020 г. перешла в 3-й класс качества (рис. 4). В протоке Прорва (р. Аргунь) в створе в черте п. Молоканка прослеживается тенденция изменения качества воды в многолетнем плане, близкая к

той, которую наблюдали в основном русле. В начале многолетнего периода отмечалась достаточно высокая и возрастающая от года к году загрязненность протоки Прорва химическими веществами. Всего к загрязняющим относились в большинстве лет 10 из 15 показателей качества воды.

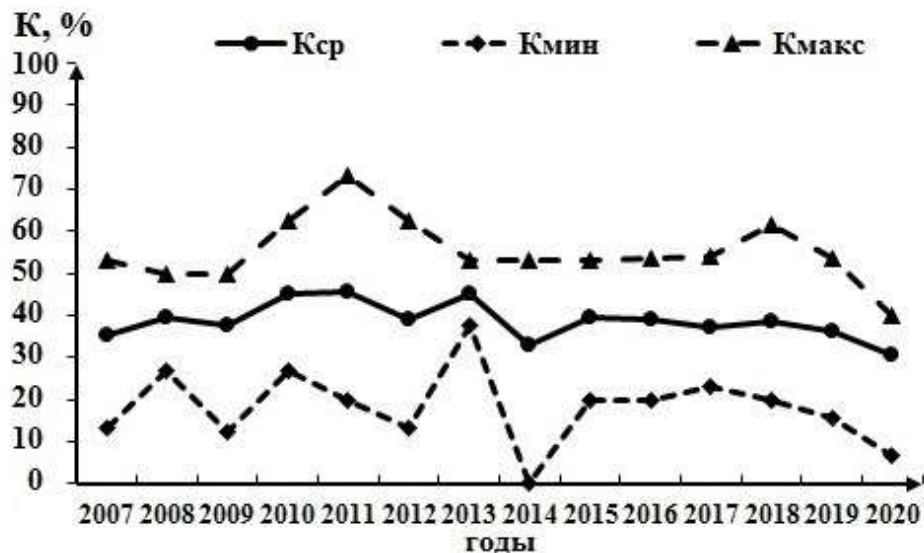


Рисунок 3 – Динамика комплексности загрязненности воды протоки Прорва (р. Аргунь) в пункте в черте п. Молокана

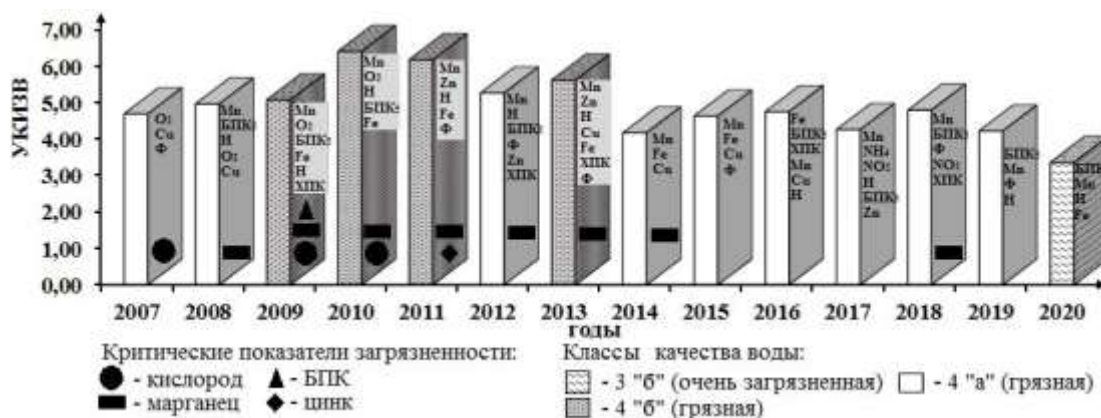


Рисунок 4 – Многолетние изменения степени загрязненности, качества воды протоки Прорва (р. Аргунь) в пункте в черте п. Молоканка

Низкое качество воды было сопряжено, как правило, с хронически проявляющимися неудовлетворительным кислородным режимом, загрязненностью соединениями марганца, меди и другими химическими веществами, малой водностью. Изменение в многолетнем плане состава загрязняющих воду протоки Прорва в районе п. Молоканка химических веществ и долей загрязняющего эффекта, вносимого каждым из учтенных в комплексной оценке веществ показано в табл. 1. В 2007 г. с января по март фиксировали 3 случая глубокого дефицита растворенного в воде кислорода 1,79 мг/л, 1,59 мг/л; 0,19 мг/л. Дефицит растворенного в воде кислорода выделялся как критический показатель загрязненности воды. В 2007 г. это приносило наибольший загрязняющий эффект из всего комплекса учитываемых в оценке веществ. Почти в каждой пробе воды фиксировали повышенное содержание органических веществ (по БПК₅ и ХПК), соединений меди, марганца, фенолов, что определило оценку степени

загрязненности воды «грязная». Значение УКИЗВ составило 4,68, по качеству вода соответствовала разряду «а» 4-го класса.

Таблица 1 - Временные ряды долей загрязняющего эффекта, вносимого в общую загрязненность воды протоки Прорва (р. Аргунь) в черте п. Молоканка отдельными загрязняющими веществами ($S_{об}$)

Годы	Значение обобщенного оценочного балла, $S_{об}$											
	O ₂	SO ₄ ²⁻	ХПК	БПК ₅	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	Fe ₀₆	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Фенолы	НФПР
2007	11,0	0	7,56	7,64	4,06	4,77	2,44	8,21	4,98	5,92	8,05	5,53
2008	8,50	2,52	7,74	8,76	4,46	0	5,83	8,19	3,32	10,0	6,39	8,53
2009	10,7	0	8,04	9,24	3,22	3,90	8,76	8,06	0	10,9	4,71	8,39
2010	13,1	0	7,22	8,22	5,56	7,73	8,01	6,90	6,78	15,7	8,08	8,49
2011	6,30	0	6,93	7,79	5,86	6,26	8,11	7,02	11,8	16,0	8,07	8,20
2012	5,50	0	8,04	8,19	6,12	3,69	6,82	4,40	8,06	11,5	8,13	8,28
2013	2,37	0	8,05	7,23	3,95	4,91	8,21	8,22	8,62	16,0	8,04	8,39
2014	0	0	5,98	6,40	3,65	4,00	8,11	8,05	5,18	10,2	7,17	3,64
2015	0	0	8,00	7,87	2,90	5,24	8,16	8,07	6,65	8,57	8,02	5,76
2016	0	0	8,20	8,23	3,18	6,90	8,71	8,18	4,17	8,19	7,19	8,14
2017	0	0	8,20	8,60	0	7,70	4,70	8,10	5,00	8,60	4,70	8,10
2018	0	0	8,00	8,04	3,20	8,10	7,20	8,00	2,00	9,20	8,30	7,30
2019	0	0	7,40	8,36	3,19	3,88	5,04	8,04	2,05	8,82	8,14	8,18
2020	0	0	7,29	8,40	0	0	6,25	7,25	0	8,29	4,71	8,09

Примечание:

- Нарушений нормативных требований по содержанию в воде хлоридов, азота нитритного и нитратного не наблюдали.
- Жирным шрифтом отмечены критические показатели загрязненности воды.

В 2008 г. вода протоки Прорва в черте п. Молоканка также соответствовала по качеству разряду «а» 4-го класса. По сравнению с предыдущим годом несколько повысились доли загрязняющего эффекта ($S_{об}$) (табл. 1), вносимого в общую для створа степень загрязненности воды нефтепродуктами, фенолами, соединениями железа, что вызвало некоторое увеличение загрязненности. УКИЗВ возрос до 4,95, не вызвав изменения в оценке качества воды. В последующие 2009-2011 гг. продолжалось постепенное повышение степени загрязненности воды протоки Прорва (р. Аргунь) в створе п. Молоканка. В 2009 г. здесь регистрировали в период ледостава 2 случая глубокого дефицита растворенного в воде кислорода 1,88 мг/л и 1,77 мг/л, случаи ВЗ: 2 – органическими веществами (по БПК₅) 14,4 мг/л и 12,3 мг/л; 2 – соединениями марганца 45 ПДК в марте, 31 ПДК в июле. Вода, оставаясь в пределах 4-го класса «грязная», перешла из разряда «а» в разряд «б» и в этом качественном состоянии или близком к нему находилась в последующие 2010-2013 гг. Значения УКИЗВ повысились в 2010-2011 гг. до 6,39 и 6,16, в 2012 и 2013 гг. составляли 5,25 и 5,60.

Начиная с 2014 г. по 2017 г. в протоке Прорва (р. Аргунь) нормализуется кислородный режим, снижается загрязненность воды соединениями марганца и цинка, не фиксируется ни по одному веществу случаи высокого и экстремально высокого загрязнения воды. Степень загрязненности воды протоке Прорва в створе в черте п. Молоканка несколько снижается и, оставаясь в пределах 4-го класса, вода переходит из разряда «б» в разряд «а» менее загрязненных вод (рис. 4). Значительное снижение степени загрязненности воды протоки Прорва (р. Аргунь) в пункте п. Молоканка и улучшение качества воды наблюдали в 2020 г. Ни по одному веществу не наблюдали критического уровня загрязненности. В мае фиксировали единичный случай высокого загрязнения воды протоки Прорва в створе в черте п. Молоканка (п, п'- ДДТ) пестицидами 3,4 ПДК, отмеченного при высокой водности. Наблюдали снижение УКИЗВ до 3,35, вода относилась к 3-му классу характеризовалась как «очень загрязненная».

Список литературы

1. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2002. 49 с.
2. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеоздат, 2005. Гл. 12. С. 450-483.
3. Емельянова В.П., Данилова Г.Н. Опыт предварительной оценки степени загрязнения водных объектов по величине условного коэффициента комплексности / Тезисы сообщ. Всесоюз. конф., Харьков. 3-4 октября 1979 г. Харьков, 1979. С. 126-128.

ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ, КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ АРГУНЬ НА УЧАСТКЕ С. КУТИ – С. ОЛОЧИ (2007-2020 гг.)

Емельянова В.П., Оленникова Н.Н.

ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону

E-mail: info@gidrohim.com

Аннотация: С использованием метода комплексной оценки рассмотрены тенденции многолетних изменений (2007-2020 гг.) степени загрязненности, качества воды р. Аргунь на трансграничном с КНР участке с. Кути – с. Олочи. Использованы сочетание дифференцированного и комплексного подходов к оценке уровней и устойчивости загрязненности воды р. Аргунь по 15 наиболее характерным для химического состава воды загрязняющим веществам. Выделены репрезентативные и критические показатели загрязненности воды, показаны динамика интегральных показателей загрязненности воды химическими веществами, классы качества.

Ключевые слова: комплексная оценка качества, р. Аргунь, участок с. Кути-с. Олочи, состав загрязняющих веществ, динамика степени загрязненности.

TENDENCIES OF LONG-TERM CHANGES IN POLLUTION AND WATER QUALITY OF THE ARGUN RIVER AT THE SECTION S. KUTI – S. OLOCHI

Emelyanova V.P., Olennikova N.N.

FSBI "Hydrochemical Institute", Rostov-on-Don

E-mail: info@gidrohim.com

Abstract: The tendency of long-term changes (2007-2020) of the degree of pollution, water quality of the river is considered using the method of complex assessment. Argun on a section transboundary with the PRC with. Kutı - p. Olochi. A combination of differentiated and integrated approaches to assessing the levels and stability of water pollution in the river. Argun on 15 pollutants most typical for the chemical composition of water. The representative and critical indicators of water pollution are highlighted, the dynamics of integral indicators of water pollution by chemical substances, quality classes are shown.

Key words: comprehensive quality assessment, p. Argun, site with, skuti-s. Olochi, composition of pollutants, dynamics of pollution degree.

При рассмотрении вопроса о качестве воды на трансграничном участке в равной степени важно не только выявлять загрязняющие вещества, но и учитывать их количество, состав, класс опасности, устойчивость и уровень загрязнения. Эти функции выполняют коэффициенты комплексности загрязненности воды (K , $K_{вз}$, $K_{эвз}$) [1], обобщенные оценочные баллы ($S_{обij}$), репрезентативные и критические показатели загрязненности воды ($KПЗ$), удельный комбинаторный индекс загрязненности воды

(УКИЗВ), классы качества воды в количественной и качественной формах выражения. Важно также ранжировать изучаемые компоненты химического состава воды в трансграничном створе за оцениваемый календарный год, чтобы охватить все фазы водного режима.

В соответствии с [1], проведены обработка, систематизация и обобщение гидрохимической информации р. Аргунь на трансграничном участке с. Кути – с. Олочи за каждый год по 15 ингредиентам и показателям химического состава с 2007 по 2020 гг. Результаты анализа натуральных и обобщенных, в соответствии с [1], с использованием комплекса «Гидрохим ПК-UKISV-сеть» расчетных данных за 14-летний период показали следующее.

Река Аргунь в трансграничном створе в черте с. Кути, расположенном на расстоянии 705 км от устья, относится к малым водным объектам. Наибольшую в многолетнем плане комплексность загрязненности воды наблюдали в первой половине рассматриваемого многолетнего периода. В 2009-2013 гг. среднегодовые значения K_1 составляли 40,1-45,3 %, максимальные достигали 60,0-73,3 % (рис. 1). В эти же годы фиксировали наиболее высокую для створа комплексность высокого и экстремально высокого загрязнения (ВЗ и ЭВЗ). В 2014-2015 гг. в районе с. Кути случаев ВЗ и ЭВЗ воды р. Аргунь не обнаруживали ни по одному веществу. В 2009, 2014-2015 гг., в отличие от других лет, отмечали отсутствие в воде концентраций на уровне ЭВЗ. В 2019 г. в мае фиксировали высокую загрязненность воды р. Аргунь нитритным азотом 30 ПДК, в 2020 г. также при высокой водности в мае n, n' - ДДТ 0,056 мкг/л.

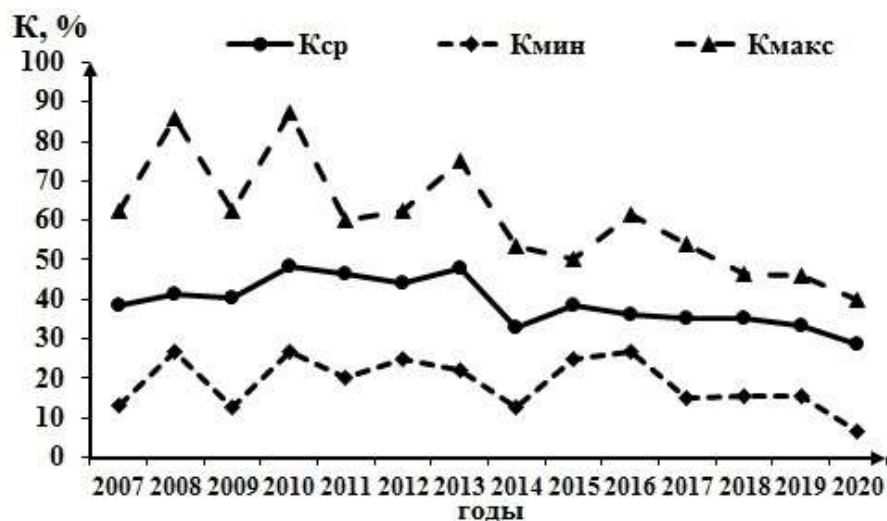


Рисунок 1 – Динамика комплексной загрязненности воды р. Аргунь в створе в черте с. Кути

Перечни и число репрезентативных загрязняющих веществ, выделенных с учетом одновременно устойчивости и уровня загрязненности ими воды водного объекта, включая и диапазон критического загрязнения, для р. Аргунь в черте с. Кути менялись от 3 (БПК₅, фенолы, кислород) в 2007 г. и 1 (марганец) в 2014 г., до 5 и более в остальные годы.

В качестве КПЗ в 2008-2014 гг. в р. Аргунь на этом участке выделялись соединения марганца, в 2010-2011 гг. растворенный в воде кислород, в 2012 г. - соединения цинка, в 2016г. - соединения железа (рис. 2).

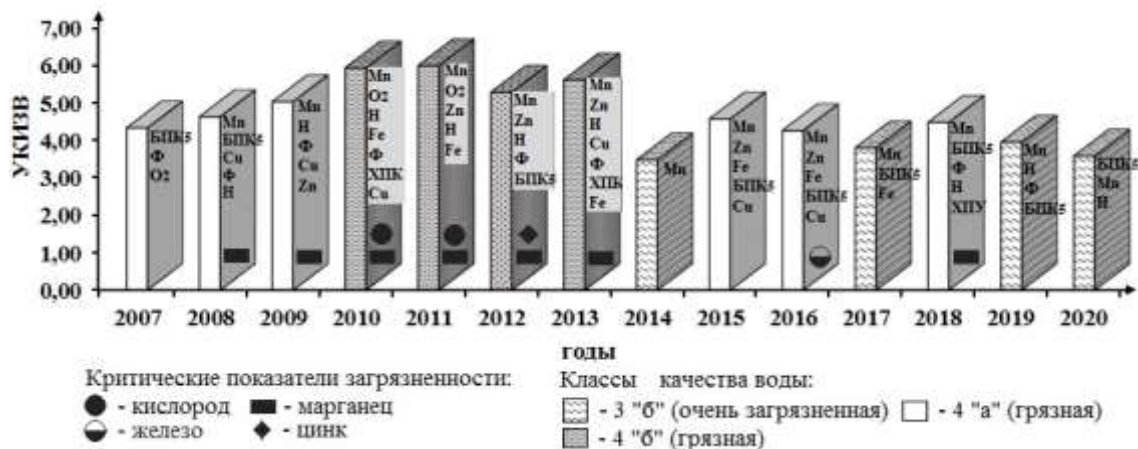


Рисунок 2 – Многолетние изменения степени загрязненности, качества воды р. Аргунь в пункте с. Кути

С 2007 по 2009 гг. наблюдали постепенное, не резкое нарастание степени загрязненности воды, характеризуемое увеличением значений УКИЗВ от 4,32 до 5,02. В 2010-2013 гг. фиксировали наибольшую за весь период загрязненность воды р. Аргунь в трансграничном створе в черте с. Кути. Вода по-прежнему характеризовалась, как «грязная», но значение УКИЗВ повысилось до 5,92-5,98, в 2010-2011 гг. осталось высоким, но незначительно уменьшилось до 5,27 и 5,60 в 2013-2014 гг. Качество воды ухудшилось, и вода перешла в пределах 4-го класса из разряда «а» в разряд «б». Ухудшился кислородный режим воды р. Аргунь на этом участке. В р. Аргунь в период ледостава (январе-апреле) в 2010 г. были выявлены 2 случая дефицита и 1 – глубокого дефицита растворенного в воде кислорода: 2,82 мг/л, 2,36 мг/л и 1,42 мг/л; в апреле фиксировали ВЗ воды р. Аргунь на этом участке фосфатами на уровне 12 ПДК. В марте и апреле 2010 г. в р. Аргунь, в трансграничном створе в черте с. Кути обнаруживали 2 случая ЭВЗ воды соединениями марганца 109 ПДК и 130 ПДК. В период ледостава в створе в черте с. Кути и в 2011 г. обнаруживали 2 случая дефицита растворенного в воде кислорода 2,45 мг/л (18 % насыщения) и 2,51 мг/л (19 % насыщения), 1 случай глубокого дефицита растворенного в воде кислорода 1,88 мг/л (14 % насыщения) и 3 случая ЭВЗ соединениями марганца выше 100 ПДК, отмеченных в январе, марте и апреле. В 2013 г., в р. Аргунь в районе с. Кути фиксировали глубокий дефицит растворенного в воде кислорода, концентрация в воде которого в феврале составляла 1,37 мг/л (10 % насыщения), случай ВЗ воды соединениями марганца в апреле 33 ПДК, в феврале и марте случаи ЭВЗ соединениями марганца 61 и 71 ПДК.

По сравнению с 2013 г., в 2014 г. существенно уменьшилась, практически до отсутствия, загрязненность воды р. Аргунь в районе с. Кути соединениями цинка, снизилась загрязненность фенолами, улучшился кислородный режим. Случаев дефицита растворенного в воде кислорода в 2013 г. не фиксировали. Уменьшился уровень наблюдаемых концентраций в воде и повторяемость случаев превышения ПДК по нефтепродуктам, нитритному азоту. Комплексность загрязненности воды р. Аргунь в черте с. Кути в 2014 г. снизилась, в среднем, до 28,8 %, максимальное значение коэффициента комплексности не превышало 46,7 %. С учетом произошедших изменений степень загрязненности воды комплексом присутствующих в воде веществ р. Аргунь в трансграничном створе в 2014 г., по сравнению с предыдущими 2007-2013 гг., снизилась. Значение УКИЗВ уменьшилось до 3,47. Вода по качеству в одном из 10 лет перешла из 4-го класса в 3-й класс качества разряда «б» и оценивалась как «очень загрязненная».

В последующие 2 года, 2015 и 2016 гг., степень загрязненности р. Аргунь в районе с. Кути вновь несколько повысилась. 10 из 15 оцениваемых веществ относились

в 2015 и 2016 гг. к загрязняющим. Повысились обобщенные оценочные баллы по нефтепродуктам, соединениям железа, меди, цинка, нитритному азоту (табл. 1). В 2015 и 2016 гг. в трансграничном створе дефицит растворенного в воде кислорода не наблюдали. Значения УКИЗВ относительно 2014 г. возросли до 4,56 и 4,25. Вода оценивалась как «грязная» и соответствовала разряду «а» 4-го класса качества.

Таблица 1 – Временные ряды долей загрязняющего эффекта, вносимого в общую загрязненность отдельными веществами (S_{об}) воды р. Аргунь в створе в черте с. Кути

Годы	Значение обобщенного оценочного балла S _{об}											Класс качества
	БПК ₅	Фенолы	O ₂	Fe	Cu	ХПК	НФПР	Mn	NH ₄	NO ₂	Zn	
2007	8,87	8,11	7,60	7,58	7,42	7,24	6,58	4,86	3,67	2,86	0	4А
2008	8,43	8,10	0	4,61	8,25	7,97	8,05	10,3	3,77	2,36	7,50	4А
2009	7,38	8,05	7,32	7,94	8,03	6,30	8,23	10,1	2,13	2,09	7,68	4А
2010	7,48	8,20	11,7	8,24	8,08	8,15	8,37	14,4	5,11	4,10	4,98	4Б
2011	6,57	7,22	10,1	8,19	7,11	7,32	8,35	16,0	4,58	5,34	8,97	4Б
2012	8,03	8,06	7,50	6,84	6,92	6,32	8,20	10,0	4,43	2,63	10,0	4Б
2013	6,19	8,14	7,26	8,05	8,32	8,09	8,36	12,1	3,65	4,90	8,95	4Б
2014	6,27	5,50	0	6,86	6,48	7,02	3,69	9,95	4,33	2,00	0	4А
2015	8,31	7,35	0	8,31	8,12	6,99	5,39	8,59	3,09	3,68	8,53	4А
2016	8,08	5,50	0	9,25	8,30	6,68	8,12	8,18	1,86	4,69	3,03	4А
2017	8,60	5,60	0	2,00	8,40	7,70	6,70	8,60	0	6,60	2,60	3Б
2018	8,10	8,20	0	4,70	8,10	6,30	7,30	9,10	5,60	5,80	3,80	4А
2019	8,03	8,14	0	2,36	6,38	6,21	8,15	8,61	2,00	6,37	2,85	3Б
2020	8,38	0	0	8,04	7,63	7,48	8,12	8,20	0	2,99	2,74	3Б

Примечание: жирным шрифтом отмечены критические показатели загрязненности воды.

С 2017 г. до конца анализируемого периода на участке р. Аргунь в районе с. Кути наблюдали преимущественно тенденцию снижения степени загрязненности воды с изменением класса качества. В 2017 и 2019-2020 гг. вода р. Аргунь характеризовалась как «очень загрязненная» и соответствовала разряду «б» 3 класса качества. Значения УКИЗВ варьировали в диапазоне 3,57-3,94. КПЗ не обнаруживали. Снизилась загрязненность воды соединениями железа, цинка, аммонийным азотом, удовлетворительным оставался кислородный режим, отсутствовали случаи ВЗ.

В 2019 г. значительно снизились максимальные концентрации в воде соединений марганца. Лишь в единичной пробе фиксировали высокую загрязненность воды р. Аргунь нитритным азотом – 30 ПДК. Несколько уменьшилась в эти годы загрязненность соединениями цинка. В 2018 г. фиксировали ухудшение качества воды р. Аргунь в черте с. Кути, УКИЗВ возрос до 4,47, что было обусловлено обнаружением случаев ВЗ соединениями марганца, ростом в отдельных пробах нитритного азота до 8 ПДК, БПК₅ – до 8,38 мг/л. Вода характеризовалась как «грязная» и соответствовала разряду «а» 4 класса качества.

Река Аргунь в трансграничном пункте 0,2 км выше с. Олочи, расположенном на расстоянии 425,7 км от устья, относится к категории «большая». Качество воды р. Аргунь здесь формируется трансграничным переносом с вышерасположенного участка реки, поверхностным стоком с водосборной площади, поступлением с правобережными боковыми притоками с территории КНР и др. В течение 2007-2020 гг. в р. Аргунь в створе 0,2 км выше с. Олочи резких изменений комплексности загрязненности воды практически не наблюдали (рис. 3). Ежегодно от 8 до 10 ингредиентов или показателей качества из 15 учитываемых, относились к загрязняющим. Минимальные значения К₁ колебались в диапазоне 13,3-26,7 % (в 2013 г. 40,0 %), максимальные в очень узком диапазоне разовых значений от 33,3 % в

2007 г., до 60,0 % в 2015 и 2018 гг. Единичные случаи ВЗ р. Аргунь на этом участке регистрировали: в 2008 г. органическими веществами (по БПК₅) 10,5 мг/л, в 2010 и 2011 гг. соединениями цинка 17 и 47 ПДК, в 2011 и 2014 гг. – соединениями марганца 47 и 32 ПДК. В 2013 г. на этом участке р. Аргунь регистрировали два случая ЭВЗ соединениями меди 65 ПДК и марганца 81 ПДК. Результаты комплексной оценки показали, что в пункте с. Олочи в многолетнем плане не происходило существенных изменений качества воды р. Аргунь (рис. 4).

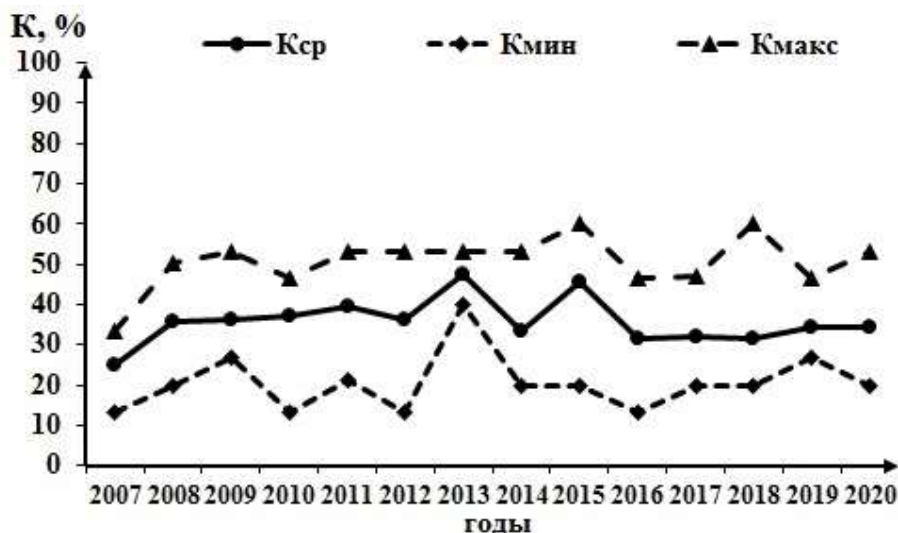


Рисунок 3 – Динамика комплексной загрязненности воды р. Аргунь в створе 0,2 км выше с. Олочи

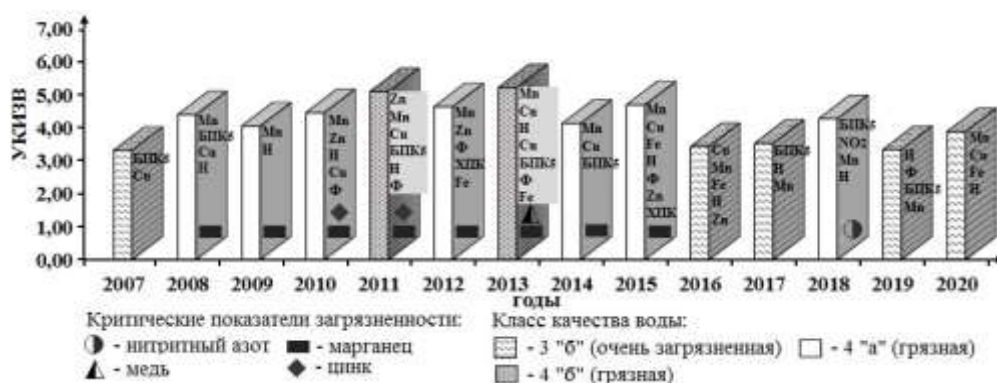


Рисунок 4 – Многолетние изменения степени загрязненности, качества воды р. Аргунь в пункте 0,2 км выше с. Олочи

В 2007 г. вода р. Аргунь на участке выше с. Олочи характеризовалась как «очень загрязненная» и соответствовала третьему классу качества, разряду «б». Значение УКИЗВ было невысоким и составляло 3,30. К загрязняющим относились 8 из 15 учтенных в комплексной оценке характерных загрязняющих веществ. Наибольший загрязняющий эффект в общую загрязненность в 2007 г. вносили органические вещества (по БПК₅) и соединения меди (табл. 2). Веществ, загрязняющий эффект которых достигал бы критического уровня, не обнаруживали. В 2008 г. значительно повышается загрязненность воды р. Аргунь в створе 0,2 км выше с. Олочи соединениями марганца, цинка, появились случаи загрязненности воды соединениями никеля, возросла повторяемость превышений ПДК нефтепродуктами. Соединения

марганца выделились как КПЗ воды. Значение УКИЗВ возросло до 4,38. Вода реки перешла в разряд «а» 4 класса «грязных» вод.

Таблица 2 – Временные ряды долей загрязняющего эффекта, вносимого в общую загрязненность отдельными веществами ($S_{об}$) воды р. Аргунь в створе 0,2 км выше с. Олочи

Годы	Значение обобщенного оценочного балла $S_{об}$											Класс качества
	ХПК	БПК ₅	NH ₄	NO ₂	Fe	Cu	Zn	Ni	Mn	Фенолы	НФПР	
2007	7,18	8,41	0	0	6,61	8,27	3,03	0	4,98	6,01	4,95	3Б
2008	7,74	8,91	0	0	5,14	8,14	7,45	3,32	9,56	7,33	8,12	4А
2009	6,57	6,22	0	0	8,11	7,00	7,51	0	9,63	7,33	8,18	4А
2010	6,28	5,94	3,73	0	5,42	8,07	9,30	0	11,2	8,06	8,56	4А
2011	8,06	8,21	3,6	0	7,43	8,38	13,4	0	11,0	8,00	8,12	4Б
2012	8,06	7,20	5,50	0	8,00	7,40	8,33	0	9,41	8,07	7,40	4А
2013	8,15	7,81	6,06	0	8,11	9,73	7,08	2,88	11,5	8,14	8,61	4Б
2014	7,39	8,24	2,82	2,33	5,87	8,39	3,32	0	9,87	7,29	6,21	4А
2015	8,01	6,06	0	5,95	8,31	8,51	8,03	0	9,26	8,06	8,07	4А
2016	7,21	5,14	0	5,29	7,38	8,18	4,09	0	8,13	0	5,94	3Б
2017	7,30	7,20	0	0	4,50	8,00	4,50	0	8,70	4,50	8,20	3Б
2018	6,80	8,80	3,10	9,20	4,40	8,00	3,70	0	8,10	4,40	7,50	4А
2019	6,63	8,11	0	0	0	6,46	4,19	0	8,01	0	8,33	3Б
2020	6,71	6,01	0	6,56	7,34	8,03	3,30	0	8,32	0	7,35	3Б

Пр и м е ч а н и е : жирным шрифтом отмечены критические показатели загрязненности воды.

В последующие 2 года, 2009-2010 гг., существенных изменений в составе загрязняющих веществ и степени загрязненности не наблюдали, за исключением резкого повышения в 2010 г. загрязненности соединениями цинка. В период ледостава, в феврале 2010 г. в р. Аргунь регистрировали случай ВЗ соединениями цинка при одновременном росте повторяемости случаев загрязнения до 75 %. В 2010-2011 гг. соединения цинка выделялись как КПЗ воды. Начиная с 2010 г., фиксировали появление загрязненности воды р. Аргунь аммонийным азотом. Значение УКИЗВ повысилось до 4,44 в 2010 г. и 5,08 – в 2011 г. Качество воды ухудшилось и в пределах 4 класса «грязных» вода перешла в 2011 г. из разряда «а» в разряд «б».

В 2013 г. наблюдали значительное повышение устойчивости загрязненности воды соединениями меди, повторяемость случаев превышения ПДК которыми составила 100 %. Были зарегистрированы случаи ЭВЗ соединениями меди (65 ПДК), марганца (54 ПДК). Соединения меди перешли в разряд критических показателей (табл. 2). Значение УКИЗВ повысилось до 5,20, вода соответствовала разряду «б» 4-го класса качества и характеризовалась как «грязная». Для 2014 и 2015 гг. характерно снижение (в 2015 г. до отсутствия) загрязненности воды аммонийным азотом, соединениями меди, в 2015 г. органическими веществами (по БПК₅). К КПЗ относились только соединения марганца. Вода по качеству вернулась из разряда «б» в разряд «а» в пределах 4-го класса и характеризовалась как «грязная».

Качественный скачок по снижению степени загрязненности воды р. Аргунь наблюдали в створе 0,2 км выше с. Олочи в 2016 г., когда снизилась загрязненность воды соединениями цинка, марганца, фенолами (до отсутствия), нефтепродуктами. Отсутствовали КПЗ воды. Значение УКИЗВ уменьшилось до 3,42. Вода по качеству перешла в разряд «б» 3-го класса и в последующие 2017, 2019-2020 гг. характеризовалась как «очень загрязненная». В 2018 г. наблюдали кратковременное ухудшение качества воды до категории «грязная», связанное с обнаружением случая ВЗ воды нитритным азотом с максимальной концентрацией 29 ПДК. Анализ результатов

комплексной оценки качества, загрязненности воды р. Аргунь в трансграничных створах наблюдений на участке с. Кути – с. Олочи показал, что в каждом трансграничном створе в течение 2007-2020 гг. отмечалась в большей или меньшей степени выраженная своеобразная динамика состава загрязняющих воду веществ, наблюдались различающиеся изменения уровней и устойчивости загрязненности воды отдельными веществами; соотношения долей загрязняющего эффекта, вносимого каждым ингредиентом в степень загрязненности комплексом присутствующих в воде веществ, их соотношение и тенденции изменения в многолетнем плане; варьировали количество и состав загрязняющих воду веществ.

Характерным для всех трансграничных пунктов являлась повышенная, реже высокая комплексность загрязненности воды. В течение 2007-2020 гг. однонаправленных, хорошо выраженных тенденций изменения качества воды в трансграничных створах не наблюдалось. Отмечались межгодовые колебания степени загрязненности воды трансграничных водных объектов за анализируемый период различной степени выраженности в пределах 3-го и 4-го классов качества от состояния «загрязненная» до «очень грязная». В течение некоторых, разных по продолжительности периодов периодически наблюдалась стабилизация загрязненности воды в пределах одной из качественных категорий.

Список литературы

1. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 49 с.
2. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. Гл. 12. С. 450-483.
3. Емельянова В.П., Данилова Г.Н. Опыт предварительной оценки степени загрязнения водных объектов по величине условного коэффициента комплексности / Тезисы сообщ. Всесоюз. конф., Харьков. 3-4 октября 1979 г. Харьков, 1979. С. 126-128.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ОЗЕР ТРАНСГРАНИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ БОЛЬШОГО АЛТАЯ (ПЛАТО УКОК)

*Ермолаева Н.И.¹, Зарубина Е.Ю.¹, Феттер Г.В.¹, Рыбакова И.В.²,
Безматерных Д.М.¹, Вдовина О.Н.¹, Романов Р.Е.^{1,3}*

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок

³Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

E-mail: hope413@mail.ru

Аннотация: Проведены комплексные гидробиологические исследования озер на территории плато Укок, входящего в трансграничную биосферную территорию «Большой Алтай». Показано, что за последние два десятилетия наблюдается рост трофности непроточных озерных водоемов высокогорий Алтая. Полученные результаты можно экстраполировать на всю трансграничную территорию и использовать как фоновые для дальнейшего мониторинга озерных экосистем при изменении климата и росте антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: Большой Алтай, озера, климат, эвтрофикация.

ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF LAKE ECOSYSTEMS IN THE TRANSBOUNDARY TERRITORY OF THE GREAT ALTAI (UKOK PLATEAU)

Yermolaeva N.I.¹, Zarubina E.Yu.¹, Fetter G.V.¹, Rybakova I.V.², Bezmaternykh D.M.¹,
Vdovina O.N.¹, Romanov R.E.^{1,3}

¹Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

²Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

³Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia

Abstract: Complex hydrobiological studies of lakes on the territory of the Ukok plateau, which is part of the transboundary biosphere territory of Great Altai, were carried out. It is shown that over the past two decades, there has been an increase in the trophy of stagnant lakes in the Altai highlands. The results obtained can be extrapolated to the entire transboundary territory and used as background for further monitoring of lake ecosystems under climate change and with an increase in anthropogenic load.

Keywords: Great Altai, lakes, climate, eutrophication.

В пределах российско-монгольско-казахско-китайского трансграничья имеются природные территории, создаваемые под эгидой международных экологических фондов и организаций (UNESCO, WWF, GEF и др.) и имеющие международный статус. К ним относятся участки Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Одним из участков является Алтай – главная горная система южной Сибири, которая представляет собой крупнейший биогеографический регион и один из центров биоразнообразия горной флоры и фауны Северной Азии, включающей большое число редких и эндемичных видов. Здесь находятся истоки великих рек – Оби и Иртыша. Участок Всемирного природного наследия учрежден в 1998 г. Он занимает площадь 1,6 млн га и состоит из трех изолированных территорий: Алтайский заповедник и буферная зона вокруг оз. Телецкое, Катунский заповедник и буферная зона вокруг горы Белуха, а также территория покоя «Укок» (плато Укок) [1, 2].

Плато Укок в настоящее время наиболее нетронутый хозяйственной и рекреационной нагрузкой регион Алтая. Озера плато Укок, расположенные на высоте 2800–3000 м над уровнем моря из-за своей труднодоступности практически не подвержены антропогенному воздействию (за исключением атмосферного переноса) и могут являться модельными объектами для изучения изменений окружающей среды, поскольку их экосистемы особенно чувствительны к внешним воздействиям. Комплексные исследования озер Русского Алтая представляют большой научный интерес в связи с их недостаточной изученностью и существенной значимостью как модельных объектов для изучения палеоклимата, атмосферного переноса загрязняющих веществ, как резерваты редких, возможно, эндемичных видов животных и растений, в практическом плане – как источники чистой пресной воды и потенциальные объекты рекреационного использования.

Среди основных угроз природе Алтае-Саянского экрегиона Всемирный фонд дикой природы (WWF) выделяет стихийный туризм, перевыпас скота и деградацию пастбищ, воздействие изменения климата на экосистемы и отдельные виды, экстенсивное использование водных ресурсов. Трансграничная территория Большого Алтая требует разработки особой стратегии использования природных ресурсов, в том числе и водных. Периодически возникают проекты о повышении эффективности систем использования воды в Китае и на приграничных территориях России и Казахстана, возникают новые глобальные проекты, связанные с масштабным строительством (к примеру, попытка строительства газопровода через плато Укок, разработка Кара-Алахинского месторождения редкоземельных металлов на границе с Казахстаном, возобновление интереса к строительству Белокатунской ГЭС и др.) [3], реализация которых может существенно затронуть и озерные экосистемы, как за счет

перераспределения стока, так и вследствие влияния строительства на ландшафт. В последнее десятилетие наблюдается рост антропогенной нагрузки: растет интенсивность стихийного туризма, озера передаются в долгосрочную аренду и искусственно зарыбляются, чаще всего без научных расчетов и обоснований, активное развитие животноводства приводит к перевыпасу на водосборных бассейнах озер и пр.

Понимание механизмов и путей трансформации озёрных экосистем, возможность оценки изменения экосистемы в результате внешнего воздействия (глобальных, региональных и локальных, абиотических и антропогенных факторов) – задача, имеющая не только фундаментальное, но и большое прикладное значение. На настоящий момент проведены обширные экологические исследования растительного покрова, почв и рек Русского Алтая, тогда как озерные экосистемы этой территории до сих пор изучены очень фрагментарно. Большинство экологических или чисто гидробиологических работ, проведенных на высокогорных озерах, касаются какого-либо отдельного компонента экосистем или отдельных гидрохимических, гидрофизических, гидробиологических показателей и их изменений.

В тундростепи плато Укок с 2000 г. отмечается оттаивание вечной мерзлоты [4], которое может значительно изменить гидрологический и гидрохимический режимы озер. Прогнозируется заболачивание озер и изменение в структуре и величине потоков органического вещества, особенно при участии гидробионтов. Повышение летних температур воды, даже на доли градуса, может способствовать активизации развития фитопланктона; увеличение летних осадков и уменьшение количества снега может привести к существенным сдвигам времени поступления биогенных веществ в водоемы и может либо спровоцировать, либо смягчить их эвтрофикацию; развитие укорененных макрофитов, развивающихся в литоральной зоне, приводит к «выкачиванию» питательных веществ из донных отложений, после чего эти вещества вымываются из их отмирающей биомассы и поступают в водоем, активизируя его эвтрофикацию и т.д. Для оценки направленности этих процессов необходимо иметь «точку отсчета» или фоновые показатели, которых к настоящему моменту изучены недостаточно.

За последние 20 лет температура вечномерзлого грунта выросла в среднем на $0,3^{\circ}\text{C}$, в том числе на высокогорных хребтах Центральной Азии (по данным сети глобального мониторинга криолитозоны GTN-P). Для поверхностных слоев вечной мерзлоты отмечен переход температуры через ноль, в результате чего происходит глубокое оттаивание грунта, приводящее к заболачиванию территории и поступлению депонированных органических веществ в поверхностные водоемы и водотоки [4]. В условиях изменения климата наблюдается также изменение температурного режима высокогорных озер, что может привести к значительным изменениям в структуре экосистем. Например, во многих горных озерах мира в настоящее время отмечается повышение продуктивности фитопланктона и увеличение трофности водоемов.

В конце июля 2018 г. были проведены комплексные гидробиологические исследования 6 озер плато Укок (рис. 1). Исследован бактерио-, фито- и зоопланктон, высшая водная растительность и макрозообентос. Материал для исследований собирали и обрабатывали по стандартным методикам [5].

Общее количество детритных частиц в объеме воды менялось в пределах $0,013\text{--}0,082\cdot 10^6/\text{мл}$. Средняя площадь частиц детрита была в пределах $31\text{--}157\text{ мкм}^2$ и была максимальной в оз. Малое Тархатинское. Общая численность бактериопланктона исследованных озер Алтая колебалась в пределах $3,06\text{--}9,09\cdot 10^6$ кл./мл и была максимальной в оз. Малое Тархатинское; общая биомасса менялась от 0,192 до 0,790 мкг/мл, соответственно. Большая часть бактериопланктона была в виде одиночных клеток, от 55,4 до 95,5% от общей численности (ОЧБ), а биомассы – от 27,6 до 90,5%. Значительная часть бактериопланктона была агрегированной на детритных частицах или в виде микроколоний. Доля бактерий ассоциированных с детритом колебалась от 1,0% до 44,6% от ОЧБ, в общей биомассе – от 2,1 до 72,4%, соответственно. Доля

микроколоний составила 2,0–17,3% в общей численности бактериопланктона, в общей биомассе колебалась в пределах 3,1–28,6%. Численность и биомасса бесцветных жгутиконосцев (флагеллят) достигала $389,6 \cdot 10^3$ экз./мл и 1345 мг/м^3 , соответственно.



Рисунок 1. – Карта-схема расположения исследованных озер плато Укок

Фитопланктон озер весьма разнообразен. В видовом составе отмечено 114 видов водорослей из 7 отделов. В 2001 г. практически во всех исследованных водоемах по биомассе преобладали диатомовые и перидиниевые водоросли, хотя в оз. Тархатинское уже было отмечено значительное количество синезеленых. В 2001 г. наибольшее обилие фитопланктона отмечено в оз. Аргамджи (численность 39375 тыс. кл./л, биомасса $1,159 \text{ г/м}^3$). Минимальные численные показатели в оз. Большое Тархатинское (численность 0,609 тыс. кл./л, биомасса $0,00035 \text{ г/м}^3$). В большинстве водоемов доминировали диатомовые и зеленые. Однако в некоторых случаях (озера Большое Тархатинское и Аргамджи) наблюдалось высокое относительное обилие цианобактерий. Продукция фитопланктона в горных озерах очень низкая ($0,12\text{--}0,04 \text{ мгO}_2/\text{л час}$), что, вероятно, связано с недостатком биогенных элементов в воде. Отмечена также низкая скорость деструкции, в среднем $0,06\text{--}0,11 \text{ мгO}_2/\text{час}$ [6].

Таким образом, в горных озерах бактериопланктон количественно преобладал над фитопланктоном, играя определяющую роль в потоках вещества и энергии на автотрофном уровне, т.е. в горных озерах относительная роль микробной петли в преобразовании органического вещества оказалась очень высокой, что объясняет высокие скорости минерализации органического вещества и минимальные темпы его накопления в донных отложениях, несмотря на низкие среднегодовые температуры. В исследованных озерах основными формирующими растительный покров гидрофитами являлись уруть (*Miriophyllum* sp.), роголистник полупогруженный (*Ceratophyllum submersum* L.), а также рдесты (*Potamogeton gramineus* L., *P. pusillus* L., *P. alpinus* Walb и *P. praelongus* Wulfen). Степень зарастания озер макрофитами колебалась от 5 до 80%. Годовая продукция макрофитов в 2018 г. составила в среднем $537,9\text{--}1129,7 \text{ г/м}^2$. Сравнить полученные данные с более ранними наблюдениями не представляется

возможным, поскольку продукционные исследования макрофитов и оценку площадей зарастания озер в 2018 г. проводили впервые.

В 1993 г. в озерах плато Укок было выявлено 20 видов зоопланктона, а в 2001 г. – 37 видов: 18 Rotifera, 9 Cladocera, 10 Copepoda. В большинстве озер по численности доминировали коловратки и ювенильные стадии веслоногих рачков, а по биомассе – ветвистоусые. Как правило, в доминантное ядро входили *Kellicottia longispina* Kellicott, *Polyarthra minor* Voigt, *Daphnia longispina* (O.F. Müller), *Bosmina longispina* Leydig, *Acanthodiptomus denticornis* (Wierzejski). Средняя численность составляла $5,8 \pm 6,3$ тыс. экз./м³, биомасса – $0,43 \pm 0,93$ г/м³ [7, 8]. В 2017 г. обнаружен уже 51 вид зоопланктона: 21 Rotifera, 13 Cladocera, 17 Copepoda. Из этого числа 19 видов – ранее не обнаруженных в озерах плато Укок. Впервые для территории Русского Алтая указаны *Daphnia tenebrosa* Sars и *Hemidiaptomus tarnogradskii* Rylov. Показатели численности составили в среднем $84,8 \pm 63,8$ тыс. экз./м³, биомассы – $0,78 \pm 0,53$ г/м³. Доминировали *Keratella cochlearis* (Gosse), *Keratella quadrata* (Müller), *Polyarthra dolichoptera* Idelson, *D. longispina*, *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller), *Bosmina longirostris* (O.F. Müller). Почти во всех озерах отмечен ранее не встречавшийся нектобентический *Paracyclops fimbriatus* (Fischer).

Отмечается рост численности и биомассы зоопланктона, появление и рост численности фитофильных и нектобентических видов, активное размножение тонких фильтраторов, что может свидетельствовать об улучшении кормовой базы, то есть о росте трофности. Отметим и тот факт, что уменьшилась разница в количественных показателях зоопланктона между различными озерами, что еще требует объяснения.

В макрозообентосе исследованных в 2018 г. озер выявлено 25 видов макробеспозвоночных из 7 классов: Nematoda (1 вид), Oligochaeta (3), Hirudinea (1), Phylactolemata (1), Bivalvia (2), Crustacea (1) и Insecta (16). Насекомые были представлены только двукрылыми сем. Chironomidae. Высокогорные озера характеризовались невысоким уровнем развития бентоса. Его видовой состав был беден (от 0 до 6 видов в пробе, в среднем 2,3 вида). Наибольшее видовое разнообразие отмечено в оз. Красное, где индекс Шеннона составил 1,85 бит/экз., в остальных озерах он колебался в пределах 0,0–1,1 бит/экз. [9]

Численность и биомасса зообентоса в озерах были также невысоки, в большинстве озер они соответствовали ультра- и олиготрофным водоемам ($0,00$ – $11,9$ тыс. экз./м² и $0,01$ – $7,07$ г/м² соответственно). Наиболее высокие значения этих показателей отмечены в озерах Красное и Малое Тархатинское за счет наличия на некоторых участках озер двустворчатых моллюсков. Выявленные характеристики зообентоса дополняют данные, полученные ранее другими исследователями [7].

По совокупности полученных показателей озера плато Укок в настоящее время имеют различный трофический статус: есть ультраолиготрофные озера, а есть водоемы, находящиеся в стадии активного эвтрофирования. Наиболее неблагоприятны озера либо небольшого размера, имеющие малую степень устойчивости к внешним воздействиям, либо находящиеся под значительным внешним прессингом, в частности, на водосборе которых наблюдается перевыпас скота (оз. Зерлюколь-нур). Судя по показателям зоопланктона, за последние два десятилетия наблюдается рост трофности непроточных озерных водоемов высокогорий Алтая, что приводит к неизбежному снижению качества вод и требует привлечения внимания к проблемам охраны этих уникальных экосистем.

Полученные результаты можно экстраполировать на всю трансграничную территорию и использовать как фоновые для дальнейшего мониторинга озерных экосистем Большого Алтая.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (рег. № 121031200178-8)

Список литературы:

1. Артамонова М.В., Ефремова Е.Г., Акимов О.С. Трансграничное сотрудничество в сфере экологического туризма // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов: Материалы XII Междунар. науч. конфер. Томск: ТГУ, 2015. С. 15–18
2. Калихман Т.П. Природоохранные трансграничные территории Сибири и Дальнего Востока // География и природные ресурсы. 2019. № 4 (158). С. 22–32.
3. Яшина Т.В. Основные направления развития природного парка «Зона покоя Укок» на 2009–2013 годы. Горно-Алтайск: Мин-во природ. ресурсов РА, 2008. 40 с.
4. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А.О. Кокорина. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 2011. 168 с.
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
6. Зарубина Е.Ю., Феттер Г.В. Процессы продукции и деструкции органического вещества в горных озерах Русского Алтая // XII Съезд Гидробиол. общ-ва при РАН: тезисы докл., г. Петрозаводск, 16–20 сентября 2019 г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. С. 165–166.
7. Попов П.А., Ермолаева Н.И., Киприянова Л.М., Митрофанова Е.Ю. Состояние гидробиоценозов высокогорий Алтая // Сибирский экологический журнал. 2003. Т. 10. № 2. С. 181–192.
8. Бурмистрова О.С., Ермолаева Н.И. Зоопланктон высокогорных озер Алтая // Биология внутренних вод. 2013. № 3. С. 27–36.
9. Вдовина О.Н., Безматерных Д.М. Сообщества донных макробеспозвоночных высокогорных и среднегорных озер Русского Алтая // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2020. № 2 (169). С. 4–13.

ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АЗОВСКОГО МОРЯ КАК ТРАНСГРАНИЧНОГО ВОДНОГО ОБЪЕКТА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

***Жукова С.В., Шишкин В.М., Карманов В.Г., Бурлачко Д.С., Подмарева Т.И.,
Лутынская Л.А., Тарадина Е.А.***

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону
e-mail: svezho51@gmail.com

Аннотация: Рассмотрены проблемы климатообусловленного снижения объемов материкового стока и повышения солености, последствия для экосистемы Азовского моря и пути решения проблемы дефицита пресного стока в бассейне.

Ключевые слова: материковый сток, соленость, последствия для экосистемы, дефицит пресного стока.

WATER AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE SEA OF AZOV AND WAYS TO SOLVE THEM

***Zhukova S. V., Shishkin V. M., Karmanov V. G., Burlachko D. S., Podmareva T. I.,
Lutynskaya L. A., Taradina E. A.***

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography «VNIRO» Azov-Black Sea
branch of VNIRO («AzNIIRKH»)

Abstract: The problems of climate-related decline in the volume of continental runoff and increase in salinity, the consequences for the ecosystem of the Sea of Azov, and ways to solve the problem of the fresh runoff shortage in the basin are considered.

Keywords: continental runoff, salinity, consequences for the ecosystem, fresh runoff shortage.

Азовское море, являясь самым мелким и самым континентальным морем планеты, относится к категории внутренних вод России и Украины. Международный юридический статус моря определяется целым рядом источников права, наиболее актуальные из которых Договор между Российской Федерацией и Украиной о сотрудничестве в использовании Азовского моря и Керченского пролива (ратифицированный в 2004 г.), а также Соглашение о мерах по обеспечению безопасности мореплавания в Азовском море и Керченском проливе (2012 г.). Рыбохозяйственная деятельность в Азовском море осуществляется в соответствии с решениями Российско-Украинской комиссии по вопросам рыболовства (РУРК), оформляемыми Протоколами ежегодных сессий.

Гидролого-экологический режим Азовского моря за последнее столетие подвергался существенным антропогенным преобразованиям, связанным, прежде всего, с трансформацией стока малых и больших рек его бассейна (создание многочисленных прудов и водохранилищ, строительство Волго-Донского судоходного канала, Краснодарского водохранилища, сети оросительных систем и др.), ростом интенсивности судоходства, загрязнением воды и донных отложений, изменением видового разнообразия и неуклонным снижением рыбохозяйственного потенциала моря [1]. В последние годы (со снижением антропогенного воздействия) в формировании гидрологического режима моря возросла роль климатических факторов, действием которых предопределены наступление продолжительного маловодья на реках бассейна (с 2007 г.), повышение в отдельные сезоны термических показателей Азовского моря, снижение количества осадков в холодный период года, изменение ветровой активности, испарения с водной поверхности и др. [2].

Пожалуй, наиболее очевидной современной экологической проблемой, отмечаемой в экосистеме Азовского моря с 2007 г., является беспрецедентный рост солености, показателями которой каждый год, начиная с 2019 г., устанавливаются новые рекорды.

База данных по солености Азовского моря сформирована в «АзНИИРХе» на основе материалов экспедиционных исследований, проводимых ежегодно с 1960 г. по сезонам: весна (апрель), лето (июль, август) и осень (октябрь) по стандартной схеме, включающей 34 станции. С 2003 г. летние экспедиционные исследования сокращены и проводятся один раз: в июле-августе. Следует отметить, что последствием развития нынешних тенденций в российско-украинских отношениях изменена стандартная схема экспедиционных исследований «АзНИИРХ» в сторону сокращения станций, расположенных вблизи украинского побережья Азовского моря. На данном этапе она включает 29-32 станции (рис. 1), однако, сокращение станций, особенно в северо-западном районе моря, несущественно снизило репрезентативность многолетних рядов данных.

Режим солености Азовского моря всецело определяется составляющими водного баланса моря, ведущей из которых является материковый сток (объем и внутригодовое распределение).

На основании материалов экспедиционных наблюдений производятся расчеты наиболее значимых для рыбного хозяйства показателей: средневзвешенной солености Азовского моря (по районам: Таганрогский залив, собственно море; все море) и площадей зон с соленостью, благоприятной для проходных, полупроходных и морских видов рыб на различных стадиях их жизнедеятельности [3]. Среднесезонные и среднегодовые значения солености по указанным районам рассчитывались средневзвешенным методом (с учетом весовых коэффициентов объемов). Под

среднегодовой соленостью в данном контексте понимается средневзвешенное значение солености, определенное по данным трех (четырёх) сезонных экспедиций.



Рисунок 1 – Схема станций экспедиционных исследований Азовского моря «АзНИИРХ» в современный период

Изменение среднегодовых значений солености Азовского моря за 61-летний период наблюдений (1960-2020 гг.) характеризуется достаточно высокой амплитудой (табл. 1, рис. 2А). Наибольшим размахом колебаний, превышающим 6 ‰, отличаются среднегодовые значения солености Таганрогского залива. В межгодовой динамике солености предыдущая фаза повышения солености отмечалась в период 1966-1976 гг. Уровень современной (2020 г.) солености Таганрогского залива примерно на 0,6 ‰ выше предыдущего рекорда 1975 г., а соленость собственно моря и всего моря – более чем на 1 ‰ превышает значения солености, наблюдаемой в 1976 г. (табл. 1). Современное осолонение Азовского моря на временном отрезке 2006-2020 гг. характеризуется более высокими темпами роста, составляющими 0,37 ‰ в год, в то время как в период 1966-1976 гг. скорость повышения солености составляла всего 0,27 ‰ в год.

Таблица 1 – Средние и экстремальные значения среднегодовой солености Азовского моря, ‰, 1960-2020 гг.

Статистическая характеристика	Районы моря		
	Таганрогский залив	Собственно море	Все море
Среднее значение	7,76	11,90	11,57
Максимальное (год)	11,78 (2020)	15,10 (2020)	14,83 (2020)
Минимальное (год)	5,26 (2006)	9,64 (2006)	9,29 (2006)
Амплитуда	6,52	5,46	5,54
Предыдущие значения рекордов солености (год)	11,20 (1975)	14,04 (1976)	13,76 (1976)

Столь высокая скорость современного беспрецедентного осолонения Азовского моря связана, главным образом, с климатообусловленным маловодьем р.р. Дон и Кубань, совпавшим по фазам и достигшим апогея в 2020 г. По данным СК УГМС, получаемым на договорных условиях, в 2020 г. годовой сток р. Дон у ст. Раздорская составил всего 9,73 км³, р. Кубань у г. Краснодар – 6,48 км³, а материковый сток в Азовское море – 16,21 км³, что во всех случаях является абсолютным минимумом за период зарегулированного режима 1952-2020 гг. и практически вдвое ниже

среднегодовыми величинами указанного периода. Сезонными значениями солености Азовского моря, оказавшейся наиболее высокой в осенний период (табл. 2), по всем районам моря установлены новые рекорды за период 1960-2020 гг.

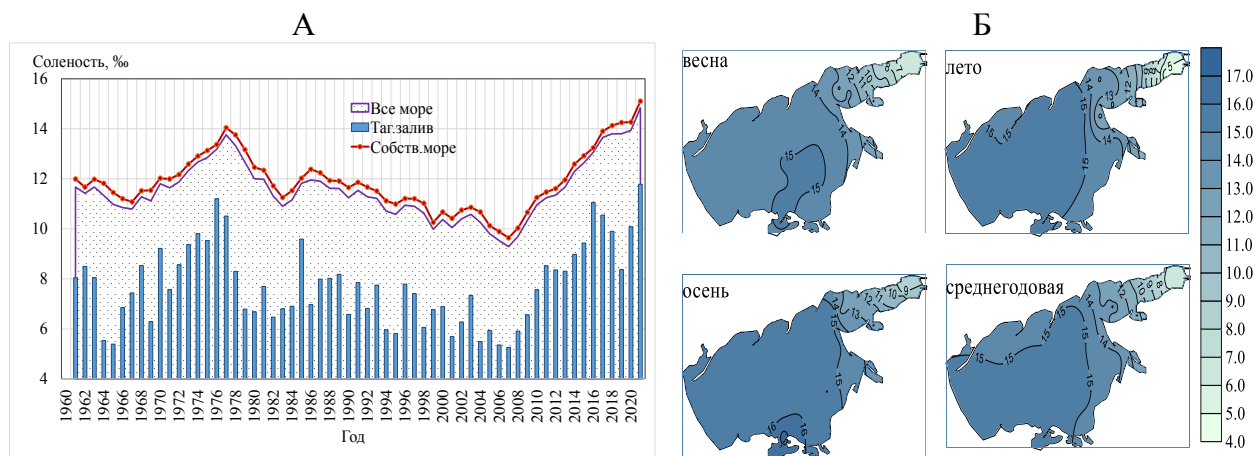


Рисунок 2 – А) Изменение среднегодовой солености Азовского моря, 1960-2020 гг.; Б) Пространственное распределение солености Азовского моря в 2020 г.

Таблица 2 – Средние значения солености Азовского моря по сезонам в 2020 г., ‰

Район	Весна	Лето	Осень
Таганрогский залив	11,22	11,63	12,47
Собственно море	14,63	15,14	15,52
Все море	14,36	14,86	15,28

В пространственном распределении солености Азовского моря в 2020 г. наибольшую часть собственно моря представляли водные массы с соленостью, равной или выше 15 ‰ (рис. 2Б). Рост солености предопределил кардинальное ухудшение условий среды обитания водно-биологических ресурсов (ВБР) в Таганрогском заливе и на устьевом взморье Кубани в связи с сокращением опресненных зон. Так, если в 2006 г. ареалы солености до 4, 7 и 11 ‰ в Таганрогском заливе соответственно составляли: 2,13; 4,77 и 37,8 тыс. км², то в 2020 г. их размеры оценивались значениями: 0; 0,86 и 4,64 тыс. км². В Азово-Кубанском рыбохозяйственном районе, традиционно считающимся адаптационной зоной для скатывающейся в море молоди ценных промысловых рыб из лиманов, кратковременное формирование опресненных зон с соленостью до 7 ‰, достигающих по площади 34,9 км², отмечалось только в июне 2020 г. (рис.3).

Площади опресненных зон (до 4-7 ‰) на устьевом взморье Кубани уменьшились в 7 раз, по сравнению с 2019 г. В Азовских лиманах Краснодарского края из-за снижения уровней и уменьшения поступления кубанского стока отмечался рост солености за счет возросшего притока морской воды через гирла.

Повышение солености Азовского моря сказывается на изменении минерализации на устьевом участке р. Дон. За последние 60 лет среднегодовая минерализация воды р. Дон в районе г. Ростов-на-Дону увеличилась вдвое, достигая в отдельные годы средних значений 1200-1300 мг/дм³, что неблагоприятно влияет как на жизнедеятельность водных биоресурсов, так и на качество питьевого водоснабжения. Отмечаемое на Нижнем Дону и в Азовском море химическое загрязнение по масштабам воздействия на количественные показатели состояния промысловой ихтиофауны сопоставимо с такими мощными факторами, как радикальные нарушения естественного воспроизводства и браконьерство. Нефтяное загрязнение вод в течение

5-ти последних лет наблюдений сохраняется на постоянно повышенном уровне, донных отложений – ежегодно возрастает. В отдельных пробах воды, донных отложений и мышц рыбы регулярно идентифицируют различные конгенеры ПХБ, среди которых встречаются наиболее опасные диоксиноподобные соединения [4].

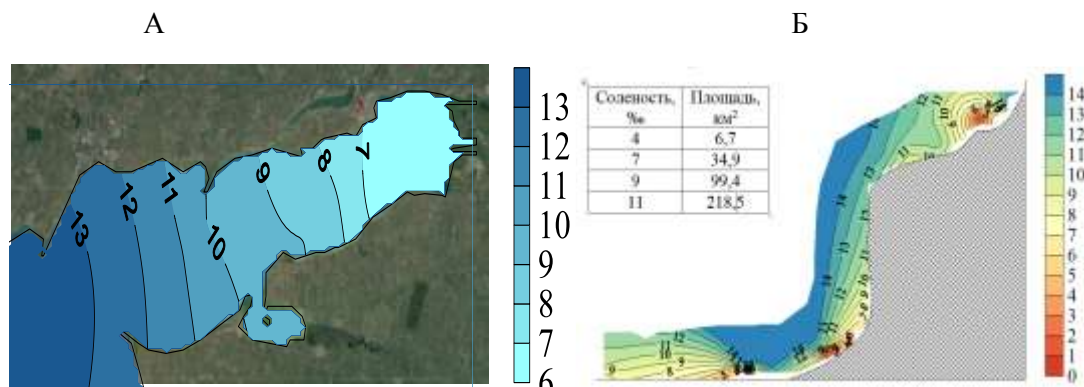


Рисунок 3 – А) Опресненные зоны в Таганрогском заливе (среднегодовое распределение, 2020 г.); Опресненные зоны на устьевом взморье р. Кубань, июнь 2020 г.

Выполненная экспертная оценка формирования материкового стока и солености Азовского моря с учетом развития климатических тенденций на перспективу 2030 г. [5] показала, что среднегодовая (средневзвешенная) величина солености Азовского моря может достигнуть значения $15,84 \pm 0,52$ (‰). Это более чем на 1 ‰ выше значений солености, наблюдаемых в 2020 г. Вполне предсказуемы и последствия дальнейшего осолонения Азовского моря. По данным лаборатории гидробиологии "АзНИИРХ", происходящее повышение солености вод Азовского моря уже привело к вытеснению более продуктивных солоноватоводных сообществ зоопланктона менее продуктивными морскими сообществами с менее высокой биомассой. С дальнейшим повышением солености Азовского моря будет происходить существенная перестройка кормовой базы азовской хамсы и тюльки – зоопланктонных сообществ. В частности, значительно расширится и будет занимать всю акваторию Азовского моря, включая все районы Таганрогского залива, ареал морских видов копепод, а ареалы солоноватоводных и пресноводных форм зоопланктона заметно сократятся. Особенно наглядно это будет проявляться в восточной части Таганрогского залива, где в случае ужесточения солевого режима эти комплексы планктона исчезнут совсем, а на их месте будут развиваться типично морские виды. В условиях осолонения моря при формировании общей биомассы зоопланктона как открытой части моря, так и в Таганрогском заливе значительно возрастет значение комплекса временных планктонов (личинок усоногих раков и червей). Дальнейшее повышение солености Азовского моря может привести к целому ряду неблагоприятных последствий для пелагических рыб: снижение продуктивности кормового зоопланктона, увеличение ареалов и численности гребневика и сцифоидных медуз и, как следствие, ужесточение конкуренции за кормовые ресурсы. По данным Центра водных биологических ресурсов "АзНИИРХ", дальнейшее развитие получит снижение промысловых запасов азовской хамсы и тюльки.

Дефицит речного стока еще больше снизит вероятности осуществления эколого-рыбохозяйственных попусков воды из Цимлянского водохранилища [1] и реализации процессов естественного воспроизводства, приведет к деградации естественных пойменных нерестилищ и дальнейшему сокращению численности ценных промысловых проходных и полупроходных рыб Азово-Донского рыбохозяйственного района.

Безусловно, масштабы дестабилизации экосистемы Азовского моря значительно шире обозначенных здесь в большей степени проблем рыбохозяйственной отрасли, решение которых связаны, в первую очередь, с расширением и выводом на качественно новый уровень искусственного воспроизводства и др. [6,7].

Главной проблемой для экосистемы Азовского моря был и остается дефицит водных ресурсов в бассейне. Вопрос о нехватке воды и снижении солености Азовского моря в историческом разрезе уже стоял на уровне 60-70-х годов прошлого века. Именно в этот период появились проекты переброски части стока северных рек в бассейны Волги и Дона, проект перекрытия Керченского пролива дамбой с регулирующим сооружением, проекты сужения Таганрогского залива или строительства дамбы в районе Белосарайской косы и т.д., в разработке которых в той или иной степени были задействованы и специалисты «АзНИИРХ». Актуальность или несостоятельность этих дорогостоящих проектов может быть обоснована и на современном уровне. Однако, на наш взгляд, наиболее рациональный путь поиска дополнительных источников пресного стока связан с упорядочиванием системы управления водными ресурсами в бассейне и, прежде всего, с экономией и рачительным использованием. Необходима инвентаризация и расстановка приоритетов в использовании водных ресурсов в бассейне, оценка рентабельности ведения хозяйственной деятельности в таких отраслях как гидроэнергетика, водный транспорт, сельское и рыбное хозяйства, коммунальное и бытовое водоснабжение, а также оценка влияния этих отраслей на природную компоненту региона. На наш взгляд, надо начинать с реабилитации состояния малых и средних рек-притоков р. Дон, нуждающихся в рекультивации и демонтаже плотин [8], перехода на ресурсосберегающие технологии водопользования с применением, в частности в сельском хозяйстве, технологий капельного орошения, замены сети открытых каналов-испарителей на трубопроводы, очистки вод и т.д.

В числе современных предложений по пополнению водных ресурсов бассейна Азовского моря имеются предложения ВолгоградНИРО по переброске 4 км³ волжского стока в период зимней межени в бассейн р. Дон путем строительства 57-километрового трубопровода, который соединит Волгоградское водохранилище у пос. Ерзовка с руслом р. Дон ниже впадения в него р. Иловля (взамен проекта канала «Волго-Дон-2»).

Для осуществления водоснабжения полуострова Крым заслуживает внимания проект разработки нескольких подземных источников пресной воды, обнаруженных в Азовском море в 50 км севернее Керченского пролива на месте древнего русла палео-Дона, возле Салгирской дельты (Арабатская стрелка) и мыса Казантип (Щёлкино), с ориентировочным запасом воды около 100 км³ [9]. Учитывая потребность Крыма в воде, составляющую (по данным 2020 г.) 1,5 км³ в год, часть этих запасов можно было бы направить на устранение дефицита речного стока и рассоление Азовского моря.

Список литературы

1. Жукова С. В. Обеспеченность водными ресурсами рыбного хозяйства Нижнего Дона // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3. № 1. С. 7-19.
2. Жукова С. В, и др. Гидролого-экологические проблемы в бассейнах р. Дон и Азовского моря в условиях климатических и антропогенных изменений // Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна: материалы Национ. научн. конф., Волгоград, 29-30 октября 2020 г. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2020, с. 513-517.
3. Куропаткин А.П. и др. Изменение солености Азовского моря // Вопросы рыболовства 2013, №4 (56), С.666-673
4. Жукова С.В., Косенко Ю.В., Кораблина И.В. Современная эколого-рыбохозяйственная ситуация на Нижнем Дону и в Азовском море// Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем - 2020: тезисы докл. Всерос. онлайн-

конф., 19–22 октября 2020 г., Севастополь, Российская Федерация. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2020, с. 45-46

5. Жукова С.В., Шишкин В. М. Изменение климата и возможные последствия для экосистем Азовского моря и Нижнего Дона на перспективу 2030 г.// Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна: материалы Нац. науч. конф., Волгоград, 29-30 октября 2020 г. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2020, с.517 -520.

6. Дубинина В.Г., Жукова С.В. Оценка возможных последствий строительства Багаевского гидроузла для экосистемы Нижнего Дона // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 20–30.

7. Белоусов В.Н. Последний рубеж естественного воспроизводства в Азово-Донском районе // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 14–19.

8. Жукова С.В. К вопросу об изменении политики управления водными ресурсами отдельных водохранилищ в бассейне р. Дон // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: Сб. науч. тр. Т. 2. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 94–98.

9. Интернет-ресурс: [URL:https://zen.yandex.ru/media/mir_v_ego_mnogoobrazii/presno-vodnyiokean-azovskogo-moria-6055](https://zen.yandex.ru/media/mir_v_ego_mnogoobrazii/presno-vodnyiokean-azovskogo-moria-6055) (Дата обращения 15 апреля 2021 г.)

ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОЗЕР БАССЕЙНА РЕКИ МУЛЬТА (АЛТАЕ–САЯНСКИЙ ЭКОРЕГИОН, ТБР «БОЛЬШОЙ АЛТАЙ») ЗА ПЕРИОД 1933-2020 гг.

Зарубина Е.Ю., Феттер Г.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

E-mail: zeur11@mail.ru

Аннотация. Гидролого-гидрохимическое обследование горных озер, расположенных в верховьях бассейна р. Мульты (Горный Алтай), проведенное в июле 2020 г., позволило оценить современное состояние исследованных озер. На основе анализа данных ранее проведенных исследований выявлена динамика произошедших изменений в химическом составе природных вод за период 1933-2020 гг.

Ключевые слова: прозрачность, температура, кислород, рН, минерализация.

DYNAMICS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF LAKES IN THE MULTA RIVER BASIN (ALTAI-SAYAN ECOREGION, TBR "BOLSHOI ALTAI") FOR THE PERIOD 1933-2020.

Zarubina E.Yu., Fetter G.V.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAN, Barnaul, Russia

E-mail: zeur11@mail.ru

Abstract: Hydrological and hydrochemical survey of mountain lakes located in the upper reaches of the Multa river basin. (Gorny Altai) were carried out in July 2020. This made it possible to assess the current state of the studied lakes. Based on the analysis of data from earlier studies, the dynamics of the changes that occurred in the chemical composition of natural waters for the period 1933-2020 were revealed.

Key words: water transparency and temperature, oxygen concentration, pH, salinity.

Алтае-Саянский экорегион (АСЭ) занимает трансграничное положение на стыке границ четырех стран – России, Казахстана, Монголии и Китая. Экорегион представляет собой одну из наименее нарушенных и трансформированных

местах Катунского хребта и могут выступать в роли фоновых при исследовании состояния природных вод Алтае-Саянского экорегиона.

В августе 2020 г. в составе комплексной экспедиции ИВЭП СО РАН были проведены исследования гидрологических и гидрохимических характеристик четырех высокогорных озер истоков р. Мульта: Верхнее, Среднее и Нижнее Мультиинские, Поперечное [6]. деятельностью человека крупных природных территорий мира. Планетарное значение экорегиона подтверждено внесением двух его участков в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО, среди них объект «Золотые горы Алтая», включающий в том числе и Катунский заповедник [1]. На базе Государственного природного заповедника «Катунский» (Российская Федерация) и Катон-Карагайского государственного национального природного парка (Республика Казахстан) в 2017 г. был создан Трансграничный биосферный резерват «Большой Алтай», который занимает мало затронутые хозяйственной деятельностью человека участки на площади более 1,5 млн. га. Оставаясь в значительной степени малонарушенной, эта территория испытывает воздействие негативных факторов, к числу которых относится изменение климата.

Гидрографическая сеть Алтае-Саянского экорегиона включает многочисленные ледники, реки, озёра и болота бассейнов Оби (Верхняя Обь) и Енисея (Верхний Енисей). На этой территории, составляющей около 5% от площади России, формируется 8% ежегодно возобновляемых ресурсов поверхностных вод страны (335 км³). Река Катунь – крупнейшая водная артерия АСЭ, в бассейне которой формируется половина возобновляемых природных ресурсов Республики Алтай (19,5 км³) и находится самое мощное современное оледенение Алтае-Саянской горной системы [2, 3].

Одним из притоков Катуня является р. Мульта, которая берет свое начало из ледников на высоте 2350-2400 м в гляциально-нивальном поясе Катунского хребта. Длина Мульти – 39 км, площадь бассейна – 320 км², его средняя высота – 1950 м. Особенностью бассейна Мульти является широкое распространение горного оледенения – в бассейне реки насчитывается 26 ледников общей площадью 14,3 км², которые оказывают существенное влияние на формирование стока реки и химического состава природных вод [3]. Протекая по долине, р. Мульта последовательно образует 3 озера: Верхнее; Среднее и Нижнее Мультиинское. К востоку от оз. Верхнее Мультиинское у подножия Катунского хребта находится также оз. Поперечное, исток р. Поперечная (рис. 1).

В отличие от ледников Алтая, которые изучаются уже более 100 лет, гидролого-гидрохимических исследований озер Катунского хребта очень мало. Первые описания озер и водотоков бассейна р. Мульта были выполнены В.В. Сапожниковым и А.Н. Седельниковым еще в начале XX в. Первое комплексное исследование озер Катунских Альп было проведено летом 1933 г. под руководством С.Г. Лепневой, по результатам которого О.А. Алекин опубликовал фундаментальный обзор «Озера Катунских Альп» [4]. Современный этап гидролого-гидрохимических исследований в долине р. Мульта связан с работами В.А. Семенова с соавт. [3] и Н.Л. Фроловой с соавт. [5].

Исследование пространственно-временной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик этих малоизученных озер является важной задачей как в научном, так и практическом отношении. Озера расположены в труднодоступных местах. Исследования проводили стандартными методами [7]. При определении гидрохимических показателей использовали портативный оксиметр Марк-302М и портативный ионоселективный АНИОН 4120. Все приборы перед началом измерений калибровали. Класс качества воды, уровень трофности и сапробности озер определяли по О.П. Оксийук с соавт. [8]. Статистическая обработка материала проведена в MS Excel-2016 и Statistica 6.0.

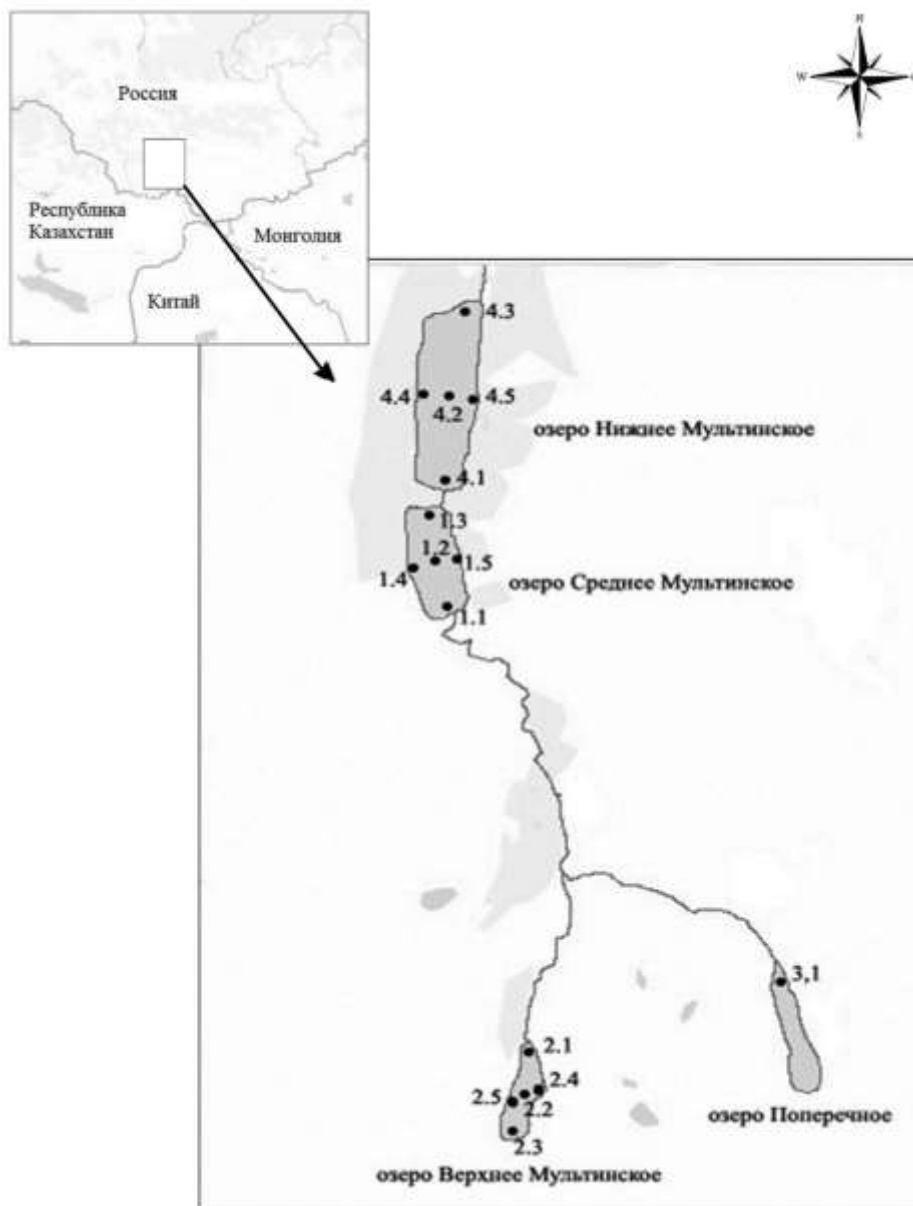


Рисунок 1 – Карта-схема расположения Мультиинских озер

Мультиинские озера небольшие по площади акватории, глубокие, дно каменистое, сложенное галькой, валунами и глыбами с примесью илов, мощность которых, по данным Н.Л. Фроловой с соавт. [5], наибольшая в Среднем Мультиинском. Среди исследованных озер наибольшую глубину имеют Верхнее Мультиинское и Поперечное озера, расположенные в цирке, образованном боковыми отрогами Катунского хребта вблизи ледников на высоте 1920 и 1885 м над уровнем моря, соответственно (табл. 1).

Озера Верхнее Мультиинское и Поперечное расположены в зоне альпийских лугов, которые с уменьшением высоты замещаются лесом, а долина р. Мульта между Верхним и Средним Мультиинскими озерами принимает местами заболоченный характер.

По гидрологическим и гидрохимическим характеристикам исследованные озера были схожи между собой (табл. 2).

Таблица 1 – Морфометрические характеристики озер бассейна р. Мульта

Характеристика	Верхнее Мультигинское*	Среднее Мультигинское*	Нижнее Мультигинское*	Поперечное
Площадь акватории, тыс. м ²	426	917	1822	422
Длина береговой линии, м	3370	4550	6410	–
Длина озера, м	1420	1700	2780	1823
Наибольшая ширина, м	430	650	815	315
Ср. ширина, м	300	540	656	203
Ср. глубина, м	21,4	10,5	14,3	–
Максимальная глубина, м	46,6	16,8	20,2	23

Примечание: * – по данным [5].

Таблица 2 – Гидрологические и гидрохимические характеристики Мультигинских озер, 8-11 августа 2020 г.

Точка	Температура, °С	Прозрачность, м	Кислород		БПК ₅ , мгО ₂ /л	рН	Минерализация, мг/л	УЭП, мкСм/см
			мг/л	%				
Озеро Верхнее Мультигинское								
2.1	15,6	0,2	9,49	94,7	1,33	7,8	11,67	25,2
2.2	12,4	0,5	9,13	86,3		8,4	12,1	25,5
2.3	13,5	0,35	9,32	89,9		8,0	11,65	25,2
2.4	15,7	0,42	9,38	94,4		7,3	11,75	25,2
2.5	16,6	0,35	8,87	90,4		7,6	11,64	24,7
Озеро Поперечное								
3.1	15,1	1,5	8,36	92,4	0,72	8,4	13,18	28,2
Озеро Среднее Мультигинское								
1.1	12,4	0,60	7,27	68,5	0,59	8,3	10,5	22,7
1.2	14,1	5,00	9,11	88,7		8,2	10,56	22,8
1.3	15,2	0,8	9,15	90,5	1,37	8,1	10,6	23
1.4	15,1	4,8	8,99	89,5		8,0	10,82	23,1
1.5	13,9	2,1	9,31	90,7		8,5	10,89	23,5
Озеро Нижнее Мультигинское								
4.1	15,3	1,0	8,76	87,3	1,16	7,5	11,27	24,1
4.2	15,4	5,7	8,74	87,3		7,5	11,26	24,1
4.3	15,9	1,5	8,6	87		7,7	11,17	24
4.4	15,5	2,8	8,7	87,2		7,7	11,7	24,2
4.5	15,6	1,0	8,91	89,2		7,9	11,2	24,1

В период исследований температура поверхностного слоя воды в озерах колебалась в пределах 12,4-16,6°С и отличалась пространственной неоднородностью, что, с одной стороны, было связано с высотной поясностью бассейна, с другой стороны, отражало влияние впадающих в озера притоков. Самым холодным было оз. Верхнее Мультигинское, принимающее сток непосредственно с ледников и снежников, кроме того температура воздуха на этой высоте ниже, чем в Среднем и Нижнем Мультигинском, что снижает возможность прогрева воды. Следует отметить, что температура воды в озерах в июле 2020 г. (период исследований) была значительно выше, чем в этот же период в 1933 и 2008 гг. [4, 5]. Так, в оз. Верхнее Мультигинское эта разница составила в среднем 5,2°С и 4,3°С, соответственно. В озерах Среднее и Нижнее Мультигинские температура воды была выше, но не настолько значительно (в среднем на 0,6°С).

Сток с ледников и снежников, которые непосредственно принимают озера Верхнее Мультиинское и Поперечное в значительной степени отражается на прозрачности их воды. Прошедший незадолго до проведения экспедиционных работ обильный дождевой паводок, явился, вероятно, основной причиной очень низкой прозрачности воды в оз. Верхнее Мультиинское (в среднем 0,4 м), что на 1,4 м меньше, чем в 1933 г. Подобное явление было отмечено и в исследованиях Н.Л. Фроловой с соавт. [5]. По мере удаления от ледников прозрачность воды в озерах повышалась, и в Среднем Мультиинском в период наблюдений она уже составляла в пелагиале 5,0 м и была на 1,3 м выше, чем в 1933 г. Наиболее прозрачным как по нашим данным, так и по данным других исследователей, является оз. Нижнее Мультиинское.

Содержание растворенного в воде кислорода в поверхностном слое воды в Мультиинских озерах колебалось в пределах от 7,27 до 9,49 мг/л, наибольшие значения были отмечены в оз. Верхнее Мультиинское. Более высокое содержание кислорода в поверхностном слое оз. Верхнее Мультиинское, по сравнению с другими мультиинскими озерами, отмечали и другие исследователи. В оз. Верхнее Мультиинское О.А. Алекин [4] наблюдал равномерное распределение растворенного кислорода по глубине (в среднем 8,6 мг/л), Н.Л. Фролова с соавт. [5] отмечали высокое абсолютное содержание кислорода (10,24 мг/л) в поверхностном слое воды.

Поверхностные воды бассейна р. Мульта относятся к пресным и ультрапресным гидрокарбонатно-кальциевым I типа [4]. Химический состав речных и озерных вод бассейна формируется вследствие выщелачивания химических элементов из горных пород и почв, а также их поступления с атмосферными осадками и талыми ледниковыми водами. В исследованный период минерализация воды в озерах составляла от 10,5 до 13,2 мг/л, наибольшие величины отмечены для озера Поперечное и Верхнее Мультиинское. Полученные результаты практически совпадали с данными О.А. Алекина [4] и Н.Л. Фроловой с соавт. [5] за 1933 и 2008 гг., соответственно, но были значительно ниже тех, которые указывали В.А. Семенова с соавт. в сентябре 2003 г. [3].

Реакция воды (рН) в озерах в период исследований изменялась от 7,3 до 8,5 и соответствовала нейтральным и слабо щелочным водам. По сравнению с данными других исследований произошел сдвиг рН в более щелочную сторону. Так, если в 1930-х гг., реакция воды была нейтральной и величина рН составляла 6,9-7,1; то в 2003 и 2008 гг. вода в озерах была слабо кислой, рН=5,2-6,3 и 5,69-7,19, соответственно. Более кислую реакцию воды Н.Л. Фролова с соавт. [5] связывают с возрастанием доли кислых ледниковых и талых снеговых вод в питании реки и ее притоков в те годы.

По величине БПК₅ вода оз. Поперечное относится к классу чистых олигосапробных олиготрофных вод, озер Среднее и Нижнее Мультиинское – к классу чистых олигосапробных мезотрофных вод с низким содержанием органических веществ. Вода оз. Верхнее Мультиинское в истоке р. Мульта – к классу вод удовлетворительной чистоты β-мезосапробных мезотрофных. По сравнению с данными 1930-х гг. снизилось качество воды в озерах Верхнее и Среднее Мультиинские, по данным О.А. Алекина, вода этих озер относилась к классу чистых олигосапробных олиготрофных вод. Причиной повышения величины сапробности и трофности воды этих озер, может быть обильное развитие в литорали этих озер фитоперифитона, связанное с повышением температуры воды и, возможно, концентрации органических веществ из-за повышения рекреационной нагрузки в последние годы.

Поверхностные воды исследованных озер имеют низкую удельную электропроводность воды (УЭВ) (22,7-28,2 мкСм/см), особенно оз. Среднее

Мультиинское. Значение электропроводности характеризует буферную емкость раствора, т.е. его способность сопротивляться внешним воздействиям. Мультиинские озера, имеющие низкую УЭВ, более уязвимы к внешним воздействиям. Повышение рекреационной нагрузки на озера в последние годы может привести к значительным изменениям в их водных экосистемах.

Заключение

Сравнение результатов исследования Мультиинских озер в 2020 г. с данными О.А. Алекина 30-х гг. XX века (почти 90-летней давности) свидетельствует о значительном повышении температуры воды в поверхностном слое озер и значительном уменьшении прозрачности воды в оз. Верхнее Мультиинское.

Произошёл сдвиг величины рН воды в более щелочную сторону. При этом, в 2003 и 2008 гг., были отмечены низкие значения рН воды, соответствующие слабокислым водам, что, вероятно, связано с интенсивным таянием ледников и высокой долей кислых ледниковых и талых снеговых вод в питании реки и ее притоков в эти годы.

За почти 90 летний период возросла трофность и сапробность воды в озерах Верхнее и Среднее Мультиинские, что также может быть следствием климатообусловленных изменений экологических условий в водоемах и увеличения рекреационной нагрузки на эти водоемы в последние годы.

Авторы выражают благодарность за помощь в организации сбора материала заместителю директора по научной работе Государственного природного биосферного заповедника «Катунский» Т.В. Яшиной и сотрудникам заповедника в последние годы.

Список литературы

1. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А.О. Кокорина. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 2011. 168 с.
2. Семенов В.А. Ресурсы поверхностных вод гор России и сопредельных территорий. Горно-Алтайск: РИО Горно-Алтайского госун-та, 2007. 147 с.
3. Семенов В.А., Большух Т.В., Семенова И.В. Гидролого-гидрохимическая характеристика водных объектов высокогорий бассейна р. Катунь (Горный Алтай) на пороге XXI в. // Материалы гляциологических исследований. 2006. Вып. 101. С. 128-134.
4. Алекин О.А. Озера Катунских Альп // Исследования озер СССР. Л., 1935. Вып. 8. С. 153-232.
5. Фролова Н.Л., Е.С. Повалишникова, Л.Е. Ефимова. Комплексные исследования водных объектов Горного Алтая (На примере бассейна р. Мульта) – 75 лет спустя // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 2. С. 113–126.
6. Зарубина Е.Ю., Феттер Г.В. К гидролого-гидрохимической характеристике высокогорных озер бассейна р. Мульта (Горный Алтай) // Изв. АО РГО. 2020. №4 (59). С. 74–82.
7. Руководство по методам химического анализа поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. 541 с.
8. Оксуюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский П.Н. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши// Гидробиол. журн. 1993. Т.29. №4. С. 62–76.

СТОК РЕКИ УРАЛ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ивкина Н.И., Галаева, А.В., Долгих С.А., Смирнова Е.Ю.

РГП "Казгидромет", г. Алматы, Казахстан

Email: nastlin@list.ru

Аннотация. В статье рассматривается сток р. Урал, поступающий на территорию Казахстана, и его оценка на перспективу до 2050 г. под влиянием изменения климата. Кроме того, проведен анализ современных климатических изменений и выбор сценариев изменения климата до 2050 г.

Ключевые слова: изменение климата, оценка изменения стока, трансграничная река, прогнозирование стока на перспективу

THE URAL RIVER FLOW IN KAZAKHSTAN UNDER THE INFLUENCE OF THE CLIMATE CHANGE

N. I. Ivkina, A.V. Galayeva, S. A. Dolgikh, E.Yu. Smirnova

RSE "Kazhydromet", Almaty, Kazakhstan

Email: nastlin@list.ru

Abstract. The article examines the Ural River flow entering the territory of Kazakhstan, and its assessment for the future until 2050 under the influence of the climate change. In addition, the analysis of current climate changes and the selection of the climate change scenarios up to 2050 were carried out.

Keywords: climate change, assessment of runoff changes, transboundary river, runoff forecasting for the future

Введение

Река Урал является основной водной артерией Прикаспийского региона в Республике Казахстан. В нижнем течении она носит название р. Жайык.

Для регионов Атырауской области Урал играет особо важную роль, поскольку 70 % потребляемой населением воды обеспечивается из реки. В связи с этим исследование изменения гидрологического режима, и, как следствие, притока воды в море в результате антропогенного влияния и климатических изменений является очень важным для Республики Казахстан.

Используемые данные и методы

Для стока р. Урал характерна значительная межгодовая и сезонная изменчивость. На речном гидростворе р. Урал – пос. Кушум средний многолетний годовой расход воды за период 1921-2019 гг., составил $295 \text{ м}^3/\text{с}$, изменяясь от $800 \text{ м}^3/\text{с}$ в многоводные годы, до $89,1 \text{ м}^3/\text{с}$ – в маловодные. [1-3].

За основу был взят ряд наблюдений на посту р. Урал – с. Кушум, из которого было выделено 3 периода: 1921-1957 гг. – условно-естественный, который характеризует гидрологический режим до введения в строй Ириклинского водохранилища; 1958...1990 гг. – период с нарушенным режимом стока в результате антропогенного воздействия, но в естественных климатических условиях; 1991-2019 гг. – период с нарушенным режимом стока в результате антропогенного воздействия и климатических изменений [2, 4, 5-7].

Для оценки современного климата и его изменений на территории исследуемого бассейна было выбрано 18 метеостанций (МС) с относительно полными и качественными рядами наблюдений. В качестве оценок изменений характеристик климата за определенный интервал времени использовались коэффициенты линейного тренда, определяемые по методу наименьших квадратов. Мерой существенности тренда является коэффициент детерминации (R^2), характеризующий вклад трендовой

составляющей в полную дисперсию климатической переменной за рассматриваемый период времени (в %). Кроме того, для оценки статистической значимости тренда (достоверности) использовались тест Фишера (F-test) и тест Стьюдента (t-test) при уровне значимости 5 % [8].

Оценка изменения современного климата и на перспективу до 2050 г. в бассейне р. Урал

В настоящее время неоспоримым фактом является повышение приземной температуры практически во всем мире [9, 10]. Наблюдаемые тенденции в глобальном климате диктуют необходимость получения научно-обоснованных оценок и выводов об изменении регионального климата, которые, в свою очередь, будут основой для углубленных оценок изменений в других природных ресурсах региона и выработки эффективных мер по обеспечению водной безопасности в регионе.

На территории исследуемого региона наблюдается устойчивый рост температуры приземного воздуха [11, 12]. Так, с конца прошлого столетия наблюдаются практически только положительные аномалии средней годовой температуры воздуха, причем часто очень значительные, превышающие 1 °С. Тенденции в средней годовой температуре воздуха статистически устойчивые – трендовая составляющая, характеризуемая коэффициентом детерминации R^2 , объясняет около 30 % общей изменчивости, при этом в Атырауской и Западно-Казахстанской областях температура повышается каждые 10 лет на 0,42 и 0,50 °С, соответственно.

Температура повышается во все сезоны года. Весной, летом и осенью тенденции статистически устойчивые и составляют 0,42-0,57 °С/10 лет. Зимой скорость повышения температуры в абсолютном выражении также существенная (0,32 и 0,40 °С/10 лет), но в силу высокой изменчивости температуры зимнего сезона, тренд зимней температуры статистически незначим, коэффициент детерминации R^2 составляет всего 3-4 %.

За период 1976-2018 гг. тренд годового количества осадков, осредненного по территории Атырауской области, положительный, но статистически незначим, по территории Западно-Казахстанской области – отрицателен и тоже незначим.

В Атырауской области зимой и весной количество осадков постепенно увеличивалось на 9 и 15 % каждые 10 лет, соответственно (тренды статистически значимые). Летом и осенью количество осадков несколько уменьшалось, но тенденции незначимы.

В Западно-Казахстанской области зимой, летом и осенью количество осадков уменьшалось, причем, зимой и летом эти отрицательные тенденции статистически значимые, осадки уменьшались на 4% и 7 % каждые 10 лет, соответственно. Весной, напротив, условия увлажнения улучшались, так как наблюдался положительный значимый тренд – более чем на 11 % каждые 10 лет.

В качестве основного инструмента для оценки изменения регионального климата исследуемого региона на перспективу определены МОЦАО (модели общей циркуляции атмосферы и океана). В рамках подготовки Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата [13] была организована 5-ая фаза Международного проекта сравнения новых версий сопряженных моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP5 (Coupled Models Intercomparison Project) [14-16].

В рамках CMIP5 все центры, участвовавшие в данном проекте, выполнили унифицированные модельные расчеты с использованием единых репрезентативных траекторий концентраций (РТК). В процессе работы над Пятым докладом МГЭИК научным сообществом был определен набор из четырех основных семейств сценариев, именуемых репрезентативными траекториями концентраций парниковых газов (РТК) в атмосфере в 21 веке [17]. Они определяются суммарной величиной радиационного

воздействия в 2100 г. по сравнению с 1750 г.: 2,6 Вт/м² для РТК2.6; 4,5 Вт/м² для РТК4.5; 6,0 Вт/м² для РТК6.0 и 8,5 Вт/м² для РТК8.5. Эти четыре РТК включают один сценарий сокращения выбросов, который предполагает весьма низкий уровень воздействия (РТК2.6); два сценария стабилизации (РТК4.5 и РТК6.0) и один сценарий с весьма высокими уровнями выбросов парниковых газов (РТК8.5). Большинство расчетов по моделям СМIP5 выполнялись с заданными уровнями концентраций парниковых газов, согласно РТК4.5 и РТК8.5, так как считается, что сценарий РТК2.6 практически не правдоподобный из-за предполагаемого малого количества выбросов, РТК6.0 – промежуточный между РТК4.5 и РТК8.5. Таким образом, в данной работе для оценки изменения регионального климата были выбраны 2 сценария – РТК4.5 и РТК8.5, что позволило получить диапазон характеристик изменения регионального климата.

В результате для получения проекций климата на будущее на территории бассейна р. Урал был сформирован ансамбль из 21 модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), участвовавших в СМIP5. Характеристики будущего климата и их изменения в будущем рассчитаны как средние по ансамблю МОЦАО для двух сценариев РТК: РТК4.5 и РТК8.5 и для двух периодов – 2020-2039 гг. (или изменения к 2030 г.) и 2040-2059 гг. (или к 2050 г.). Изменения климата оценивались относительно базового периода 1980-1999 гг. Изменения температуры рассчитаны как разность между средними многолетними ожидаемыми значениями и средними многолетними значениями за базовый период, для осадков – как отношение (в процентах) средних многолетних сумм осадков, смоделированных на будущее, к уровню количества осадков в базовый период.

Получено, что вероятное изменение средней годовой температуры воздуха по территории Урало-Каспийского бассейна будет находиться в диапазоне 1,6-2,3 °С к 2030 г., к середине века (2050 г.) – 1,8-2,9 °С.

Повышение зимних температур ожидается в пределах 1,6-2,2 °С к 2030 г. и 1,8-2,8 °С к 2050 г.; весенних – на 1,5-2,4 °С к 2030 г., и на 1,-2,9 °С к 2050 г.; летних – на 1,8-2,5 °С к 2030 г. и на 1,9-3,2 °С к 2050 г.; осенних – на 1,5-2,1 °С к 2030 г. и на 1,8-2,9 °С к 2050 г.

На территории Урало-Каспийского бассейна ожидается небольшое увеличение осадков в зимний период – на 7,4-10,1 % к 2030 г. и на 9,9-12,4 % к 2050 г., и в весенний период – на 3,8-7,4 % к 2030 г. и на 5,7-9,0 % к 2050 г. Прогноз осадков летнего и осеннего периодов имеет большую неопределенность даже в знаке изменения. В летний период вероятно слабая тенденция увеличения осадков по сценарию RCP4.5, а по сценарию RCP8.5 к середине этого века ожидается уменьшение осадков. В результате диапазон возможных изменений в количестве летних осадков следующий: 4,2-9,0 % к 2030 г., минус 2,2-6,0 % к 2050 г., а количества осенних осадков – минус 1,1-2,2 % к 2030 г. и минус 2,0-6,7 к 2050 г.

Оценка стока, поступающего на территорию Казахстана по р. Урал

Оценка изменения стока р. Урал основывается на оценке восстановленного естественного стока. В последние десятилетия, при определении естественного стока р. Урал и его притоков имеются значительные трудности, обусловленные влиянием на его величину хозяйственной деятельности человека. Поэтому восстановление естественного стока р. Урал на границе с Российской Федерацией представляет для Республики Казахстан важнейшее значение при решении вопросов совместного использования водных ресурсов рассматриваемой трансграничной реки.

В рамках данной работы было произведено восстановление естественного стока р. Урал в створе г. Оренбург, р. Сакмара у с. Каргала, р. Урал – с. Кушум.

На рис. 1 приведена совмещенная разностная интегральная кривая восстановленного естественного и наблюдаемого (бытового) стока р. Урал – с. Кушум за период 1927-2019 гг., основные характеристики стока (C_v , $Q_{ср.}$, Σ) приняты за естественный период.

В табл. 1 приведены основные статистические характеристики естественного стока и расходы воды различной обеспеченности р. Урал в створах с. Январцево (площадь водосбора 175000 км²) и с. Кушум (площадь водосбора 190000 км²). Использование характеристик, приведенных в табл. 1, позволяет производить оценку обеспеченности бытового стока, поступающего по р. Урал в Республику Казахстан из Российской Федерации.

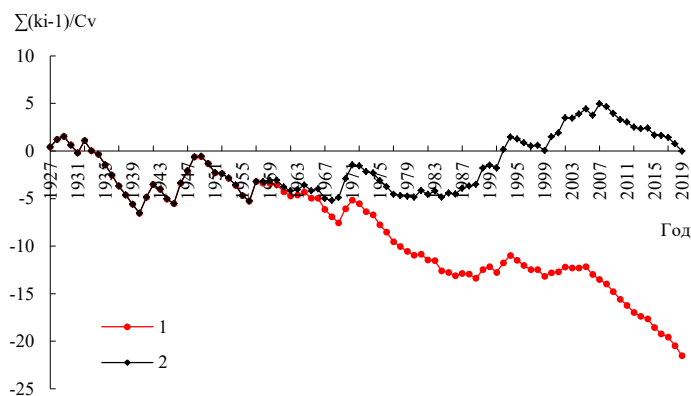


Рисунок 1 – Совмещенная разностная интегральная кривая восстановленного естественного и наблюдаемого (бытового) стока р. Урал – с. Кушум. 1 – р. Урал – с. Кушум (наблюдаемый сток); 2 – р. Урал – с. Кушум (восстановленный естественный сток)

Таблица 1 – Основные статистические характеристики естественного стока и расходы воды различной обеспеченности р. Урал, м³/с

Период	Обеспеченность стока, %						
	5	10	25	50	75	80	95
1921-1957	Q ₀ =327 м ³ /с Cv=0,68 Cs=0,80						
	732	621	454	298	169	96	16,0
1980-2009	Q ₀ =401 м ³ /с Cv=0,39 Cs=0,66						
	686	610	494	383	288	267	180
1991-2019	Q ₀ =352 м ³ /с Cv=0,47 Cs=1,5						
	770	653	491	357	263	240	187

Определение годового стока р. Урал на перспективу до 2050 г.

Для оценки стока на перспективу рассматривались сценарии RCP4.5 и RCP8.5, которые охватывают диапазон вероятного изменения регионального климата, полученного по результатам моделей глобального климата, в соответствии со сценариями антропогенных выбросов парниковых газов.

Возможное изменение стока р. Урал на перспективу до 2050 г. оценивалось с помощью гидрологического метода – процедуры нормирования стока.

Имея значение смоделированных осадков за период 2021-2050 гг., а также коэффициент стока, рассчитанный за период 1990-2019 гг. и равный 0,17, был восстановлен средний естественный сток р. Урал за период 2021-2050 гг. (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристики водного баланса р. Урал – с. Кушум (F= 190000 км²)

Период/сценарий	Среднегодовые осадки, мм	Средний сток р. Урал – с. Кушум	
		м ³ /с	мм
1990-2019	357	364	60,5
2021-2050	RCP4.5	366	62,0
	RCP8.5	352	59,6

Далее определяем ежегодный сток р. Урал, начиная с 2021 по 2050 гг. по формуле:

$$Q_i = Q_{cp} + \alpha \cdot \sigma, \quad (1)$$

где α – параметр нормирования, равен:

$$\alpha = (Q_i - Q_{cp}) / \sigma, \quad (2)$$

где Q_i – расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$) за каждый год; Q_{cp} – среднемноголетние расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$), σ – среднеквадратическое отклонение.

Сток р. Жайык за период 2021-2050 гг. был восстановлен по двум вариантам, для этого были использованы два различных сценария смоделированных осадков. Кроме того, сток был восстановлен для естественных условий, а также с учетом влияния антропогенной деятельности (табл. 3).

Бытовой сток на перспективу до 2050 г. восстанавливался как разность естественного восстановленного стока и средней величины водопотребления в бассейне, равной $84,6 \text{ м}^3/\text{с}$ или $2,67 \text{ км}^3$. Средняя величина водопотребления в бассейне рассчитывалась как разность восстановленного естественного стока и бытового наблюдаемого стока р. Урал в створе с. Кушум.

Таблица 3 – Характеристики естественного и бытового стока р. Урал на перспективу до 2050 г. с учетом климатических сценариев RCP4.5 и RCP8.5

Сценарий климата	Среднемноголетние осадки, год, мм	W, восст. естеств., км^3	W, восст. бытовой, км^3
RCP4.5	366	11,8	9,11
RCP8.5	352	11,3	8,65

Таким образом, получено, что, в соответствии с проекциями изменения регионального климата, полученными по результатам моделей глобального климата, естественный сток р. Урал в зоне его формирования уменьшится в среднем на 7,24-10,8 %, а бытовой сток – на 6,6-11,3 %. Это тревожные показатели, так как в казахстанской части бассейна р. Урал и ее притоки являются основными водными артериями для Атырауской, Актюбинской и Западно-Казахстанской областей. Неблагоприятные изменения гидрологического режима приведут к ухудшению условий обитания рыб, ирригации и судоходства. В связи с этим, остро стоит вопрос о минимизации антропогенного воздействия на состояние водных ресурсов бассейна р. Жайык (Урал), сохранение и восстановление водной экосистемы до состояния, обеспечивающего благоприятные условия жизни населения.

Список литературы

1. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Т. IX: Внутренние и окраинные водоемы Казахстана (Арал, Балкаш, Каспий): кн. 1: Оценка современной и прогнозной динамики гидрологического режима озера Балкаш, Каспийского и Аральского морей / Шиварёва С.П., Ли В.И., Ивкина Н.И. Алматы, 2012 г. 456 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан, Т. 12, Вып. II. Урало-Эмбинский район. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 512 с.
3. Чибилев А.А. Бассейн Урала: история, география, экология Екатеринбург: Изд-во «СВ-96». 2008. 310 с.
4. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1991-2000 гг. Вып 2. Части 1 и 2. Бассейны рек Урал (среднее и нижнее течение) и Эмба. Алматы: 2009. 209 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан, Т.12, Вып. II. Урало-Эмбинский район. Приложение. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 151 с.

6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963...1970 гг. и весь период наблюдений). Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Т.12, Вып. II. Урало-Эмбинский район. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 323 с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Т. 12, Вып. 2. Урало-Эмбинский район / Под ред. З.Г. Марковой Л.: Гидрометеиздат, 1966. 152 с.
8. Homogenization and Quality Control // WMO-TD. Женева. 2008. N1576. 127 p.
9. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер / МГЭИК+Женева, Швейцария, 2014. 163 с.
10. Заявления ВМО о состоянии глобального климата [Электр. ресурс] URL: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate#bootstrap-panel--2>, <https://public.wmo.int/en/media>.
11. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Казахстана. РГП «Казгидромет», г. Астана. Астана, 2014. 55 с.
12. Седьмое национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Астана, 2017. 303 с.
13. Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Vex V., Midgley P. M. (eds.). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
14. Taylor Karl E., Ronald J. Stouffer, Gerald A. Meehl. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. Bull // Amer. Meteor. Soc. 2012. № 93. Pp. 485-498.
15. Thrasher B., Maurer E. P., McKellar C., Duffy P. B. Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping // Hydrology and Earth System Sciences, 2012. № 16(9). Pp. 3309-3314.
16. Wood A.W., L.R. Leung, V. Sridhar, D.P. Lettenmaier. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs // Climatic Change, 15. 2004. Pp. 189-216.
17. Meinshausen M. et al. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300 // Climate Change. 2011. Vol.109. № 1-2. P. 213-241.

СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАСЕЙНА РЕКИ ДНЕПР

Извекова О.В., Патрушева М.П.

Филиал «Мособлводхоз» ФГБВУ «Центррегионводхоз», г. Москва

E-mail: barolvic@mail.ru

Аннотация. Основное внимание в статье уделяется международному сотрудничеству Российской Федерации с Республикой Беларусь и Украиной в области охраны водных ресурсов. В статье рассматривается гидрохимический, гидробиологический и токсикологический мониторинг качества трансграничных водных объектов бассейна р. Днепр, расположенных на территории Брянской и Смоленской областей. Целью наблюдений является проведение комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод и классификация качества воды с учетом удельного комбинаторного индекса загрязненности воды.

Ключевые слова: трансграничные водные объекты, удельный комбинаторный индекс загрязненности воды.

WATER RESOURCES STATE OF TRANSBOUNDARY WATER BODIES OF THE DNIEPER RIVER BASIN.

Izyekova O.V., Patrusheva M.P.

«Mosoblvodkhoz» branch of FSBVI «Centrregionvodkhoz», Moscow

Abstract. The article is focused on the international cooperation of the Russian Federation with the Republic of Belarus and Ukraine in the field of water resources protection. The article discusses the hydrochemical, hydrobiological and toxicological monitoring of transboundary water bodies quality in the Dnieper River basin located in the Bryansk and Smolensk regions. The purpose of the observation is carrying out integrated assessment of the degree of surface water pollution and classifying water quality with the use of the specific water pollution combinatorial index.

Keywords: transboundary water bodies, specific water pollution combinatorial index.

Тенденции современного мира приводят к ежегодной экстенсификации и увеличению количества производств, добычи полезных ископаемых, сброса сточных вод, что заставляет человечество ответственнее подходить к охране природных ресурсов, где международное сотрудничество играет важную роль в сохранении экосистемы водных ресурсов. Актуальность темы позволила собрать вместе представителей власти государств, обсудить вопросы совместного использования водных объектов и закрепить основные положения в Соглашениях. Совместное Соглашение о сотрудничестве в области охраны и рационального использования трансграничных водных объектов между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Беларусь подписано 24 мая 2002 г. Межправительственное Соглашение о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов между Правительством Российской Федерации и Правительством Украины заключено 19 октября 1992 г.

Международное сотрудничество по трансграничным водным объектам позволяет контролировать на государственном уровне качество поверхностных вод суши. Стороны осуществляют мониторинг по согласованным программам. Мониторинг проводится для выявления и прогнозирования развития негативных процессов, влияющих на состояние трансграничных водных объектов и качество их водных ресурсов, для разработки и реализации мер по их предотвращению, а также для информационного обмена данными экологического характера, необходимых для социально-экономического развития приграничных регионов государств. Лабораторный контроль качества поверхностной воды проводят аккредитованные в национальной системе аккредитации лаборатории. Со стороны Российской Федерации наблюдения за трансграничными водными объектами, расположенными в зоне деятельности Московско-Окского БВУ, по гидрохимическим, токсикологическим и биоиндикационным наблюдениям проводит Клинецовская гидрохимическая лаборатория филиала «Мосoblводхоз» ФГБВУ «Центррегионводхоз».

Гидрохимические наблюдения включают контроль воды по 21 показателю: водородный показатель (рН), взвешенные вещества, растворенный кислород, БПК₅, ХПК, сухой остаток, фенолы, нефтепродукты, нитритный азот, нитратный азот, азот аммонийный, фосфор фосфатов, фосфор общий, АСПАВ, хлорид-анион, сульфат-анион, железо общее, медь, цинк, никель, марганец двухвалентный.

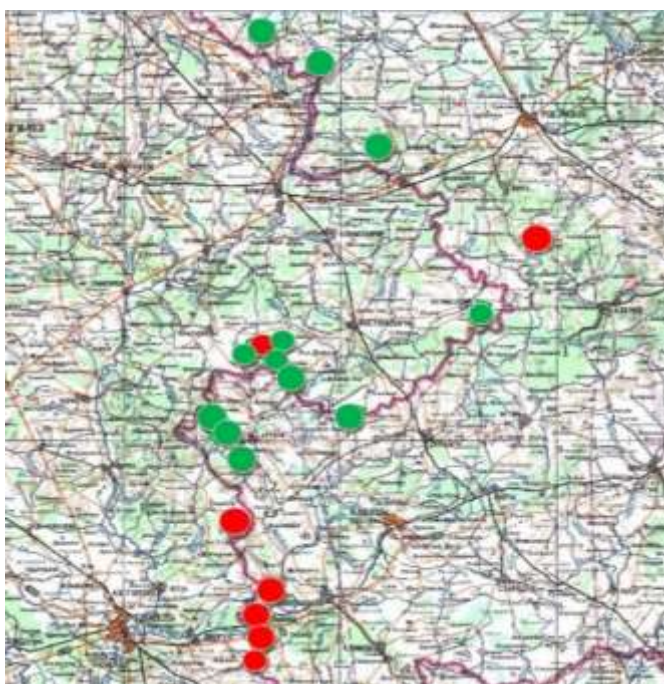
Данные биотестирования используются в комплексе с химическим анализом, что позволяет получить наиболее полную оценку эколого-токсикологического состояния водных объектов. Метод биотестирования токсичности – это интегральная оценка токсичности воды. Биотестирование является методом оценки качества и загрязненности воды водных объектов по ответным реакциям водных организмов (гидробионтов), являющихся тест-объектами. О наличии токсичности воды судят, главным образом, по проявлениям патологических изменений у тест-объектов под влиянием воды при биотестировании вплоть до их гибели.

Для выявления состава сообществ беспозвоночных (макрозообентоса) рек используется биологический анализ воды – метод биоиндикации. Индикаторные организмы отличаются высокой степенью адаптации к особенностям фауны макрозообентоса водотоков Днепровского бассейна. Качество воды оценивается за счет распознавания индикаторных организмов при помощи специального атласа-определителя и шкалы классности качества вод с описанием таксонов.

Периодичность проведения наблюдений осуществляется в основные фазы гидрологического режима: по гидрохимическим показателям – 6 раз в год, по токсикологическому анализу – 2 раза в год, по биоиндикации – 1 раз в год.

Для оценки качества поверхностных вод Брянской и Смоленской областей используются статистические методы обработки информации и методика комплексной оценки, при которой проводится классификация качества по степени загрязненности с учетом удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), числа критических показателей загрязненности воды, коэффициента запаса, количества учтенных в оценке ингредиентов по РД 52.24.643-2002 [1]. Статистическая обработка и обобщение первичных гидрохимических данных осуществляется на базе программного средства «Гидрохим ПК».

Наблюдательная сеть на территории Брянской и Смоленской областей включает 19 приграничных створов контроля качества воды между Российской Федерацией и Республикой Беларусь (рис. 1).



р. Днепр – н.п. Красное,
 р. Сож – н.п. Бахаревка,
 р. Вихра – н.п. Платково,
 р. Беседь – н.п. Кашковка,
 р. Беседь – н.п. Антоновка,
 р. Ипать – н.п. Вышков,
 р. Очеса – н.п. Святск,
 р. Витава – н.п. Николаевка,
 р. Хоропуть – н.п.

Спиридонова

Буда, р. Нетеша – н.п. Нетеша,
 р. Грязлинка – н.п. Лысые,
 р. Олешня – н.п. Медведи,
 р. Дороговша – н.п. Летяхи,
 р. Палуж – н.п. Кибирщина,
 р. Столбунка – н.п. Столбунка,
 р. Десенка – н.п. Медведи,
 р. Кавпита – н.п. Глинное,
 р. Ипать – н.п. Ильюхино,
 р. Остер – н.п. Полицкое.

Рисунок 1 – Карта-схема качества трансграничных поверхностных вод между Российской Федерацией и Республикой Беларусь

● 2-й класс качества – слабо загрязненная
 ● 3-й класс качества – загрязненная

Наблюдательная сеть на территории Брянской области в 2014 г. сокращена в связи со сложной обстановкой на российско-украинской границе и составляет 12 приграничных створов контроля качества воды между Российской Федерацией и Украиной (рис. 2).



Рисунок 2 – Карта-схема качества трансграничных поверхностных вод между Российской Федерацией и Украиной

- 2-й класс качества – слабо загрязненная
- 3-й класс качества – загрязненная

р. Снов – с. Брахлов,
 р. Снов – с. Хормное,
 р. Снов – н.п. Забрама,
 р. Ирпа – д. Ирпа,
 р. Бобрин – н.п. Зерново,
 руч. Знаменка – н.п. Белая Березка,
 р. Ревна – с. Азаровка,
 р. Цата – д. Круча,
 р. Судость – с. Сопычи,
 р. Трубеж – с. Кирилловка,
 р. Десна – п. Белая Березка,
 р. Судость – н.п. Баклань.

Комплексная оценка качества вод с учетом наиболее характерных ингредиентов и показателей качества воды свидетельствует, что большинство створов в 2020 г. характеризуются как «слабо загрязненные» (2 класс качества – значение УКИЗВ изменяется в пределах 1,66 – 1,98), их доля от общего количества створов составляет 68%. Остальные створы относятся к категории «загрязненная вода» (3 класс качества разряда «а» – значение УКИЗВ варьируется в пределах 1,94 – 2,37). В сравнении с предыдущим годом ухудшение качества воды наблюдается на 3-х трансграничных створах с Республикой Беларусь (р.р. Десенка, Ипуть, Нетеша) и 3-х трансграничных створах с Украиной (р.р. Ревна, Цата, Десна), что сопровождается сменой класса качества со 2 до 3 класса качества воды разряда «а» (со «слабо загрязненная» на «загрязненная») из-за увеличения концентраций марганца двухвалентного. В сравнении с предыдущим годом незначительное улучшение качества воды наблюдается на трансграничном створе с Украиной с изменением разряда «б» на «а» в пределах 3 класса качества воды (с «очень загрязненная» на «загрязненная») в р. Бобрин из-за уменьшения концентрации фосфатов, улучшение качества воды в 2-х трансграничных створах с Республикой Беларусь, что сопровождается сменой с 3 класса качества воды разряда «а» до 2 класса качества (с «загрязненная» на «слабо загрязненная») в р. Олешня из-за уменьшения содержания соединений марганца двухвалентного, легкоокисляемых органических веществ по БПК₅ и р. Дороговша – из-за уменьшения концентрации соединений марганца двухвалентного. За последние 5 лет значения УКИЗВ изменялись незначительно, отображены в графическом виде (рис. 3 и 4).

Основными загрязняющими ингредиентами для трансграничных водных объектов являются легкоокисляемые органические вещества по БПК₅, трудноокисляемые органические вещества по ХПК, железо общее, марганец двухвалентный, фосфор фосфатов. Максимальные концентрации на трансграничных водотоках Российской Федерации с Республикой Беларусь зафиксированы в р. Очеса для легкоокисляемых органических веществ по БПК₅ – 2,3 ПДК и трудноокисляемых органических веществ по ХПК – 5,3 ПДК, в р. Десенка для легкоокисляемых органических веществ по БПК₅ – 2,3 ПДК, в р. Нетеша для соединений марганца двухвалентного – 29 ПДК, в р. Грязлинка для соединений железа – 4,2 ПДК. Максимальные концентрации на трансграничных водотоках Российской Федерации с

Украиной зарегистрированы в р. Снов для легкоокисляемых органических веществ по БПК₅ – 1,6 ПДК и трудноокисляемых органических веществ по ХПК – 3,9 ПДК, в р. Цата для соединений железа – 3,9 ПДК и марганца двухвалентного 29 ПДК, в руч. Знаменка для фосфатов – 5 ПДК. По итогам гидрохимических наблюдений в 2020 г., выполненных на трансграничных реках в Смоленской и Брянской областях, высоких и экстремально высоких уровней загрязнения не выявлено.

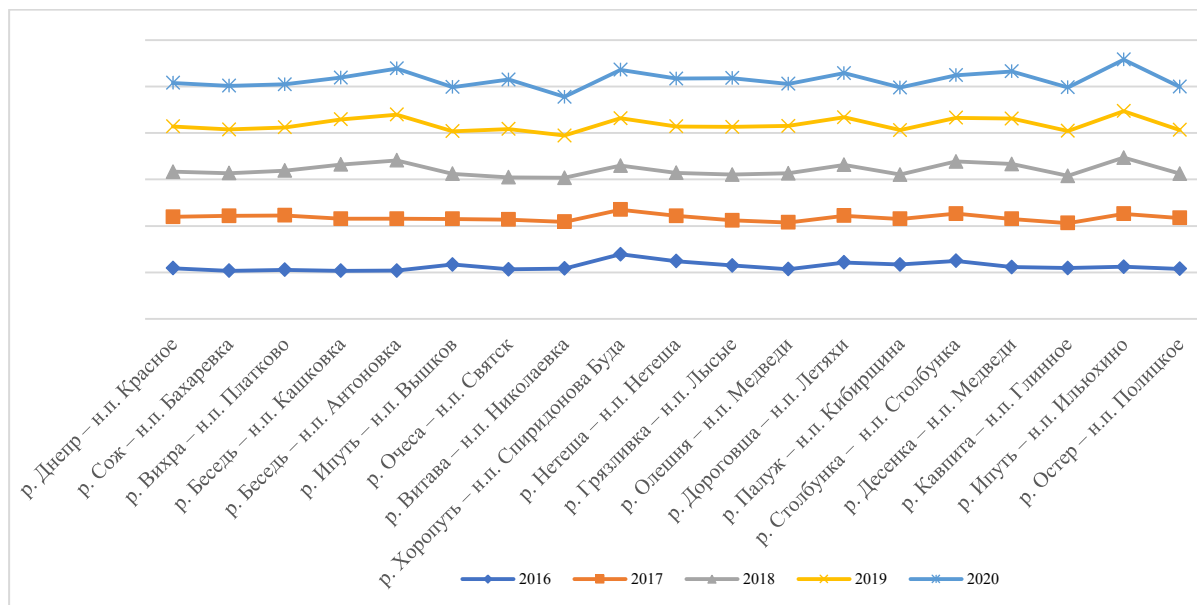


Рисунок 3 – УКИЗВ на трансграничных створах между Российской Федерацией и Республикой Беларусь в 2016–2020 гг.

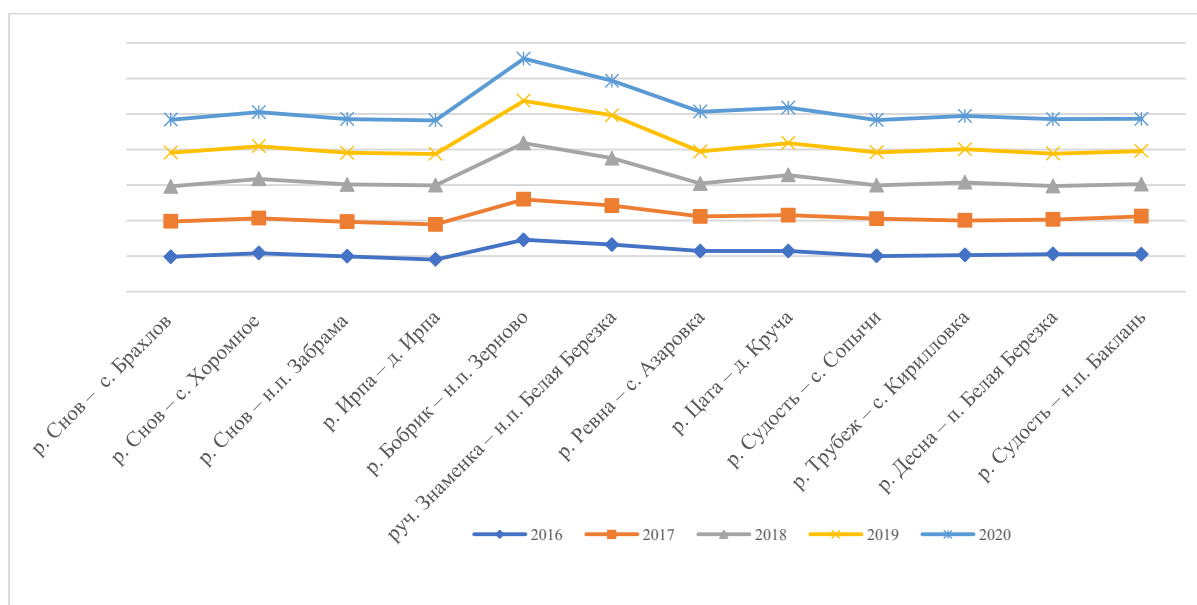


Рисунок 4 – УКИЗВ на трансграничных створах между Российской Федерацией и Украиной в 2016–2020 гг.

Биологическая оценка качества воды показывает, что большинство рек (84%) в 2020 г. соответствует 3 классу – вода «удовлетворительной чистоты». Этим створам характерна экосистема с хорошо развитым сообществом высшей водной растительности и макрозообентоса, они проявляют высший уровень самоочищающейся

способности. В контролируемых створах, составляющих 6 % от общего числа, вода относится к 4 классу «загрязненная» и 3-4 классу «удовлетворительной чистоты загрязненная». Улучшение качества воды с переходом класса отмечено на 10 % трансграничных объектов. Ухудшения качества воды не выявлено. Наиболее загрязненные воды – это р. Бобрик и руч. Знаменка: 4 и 4-5 класса, соответственно, воды которых способствуют распространению инфекционных заболеваний, так как в грязных водах усиливаются приспособительные возможности патогенных микроорганизмов.

С целью получения достоверности результатов Клинцовской гидрохимической лабораторией и Гомельской областной лабораторией аналитического контроля области охраны окружающей среды проводятся двусторонние сравнительные анализы проб по гидрохимическим и гидробиологическим показателям, которые показывают высокий уровень приемлемости результатов наблюдений, полученных в условиях повторяемости (сходимости) и воспроизводимости (рис. 5).

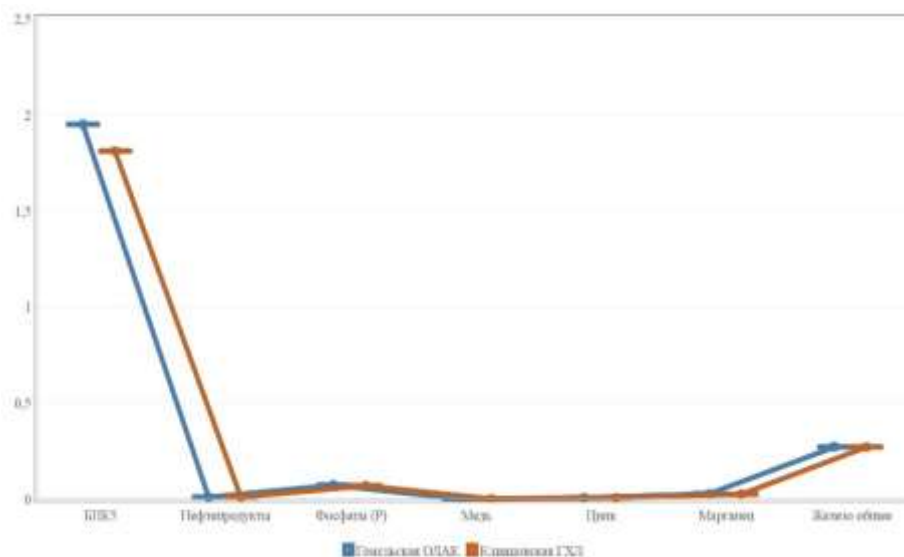


Рисунок 5 – Результаты двусторонних российско-белорусских сравнительных анализов проб поверхностных вод в 2020 г.

Примечание. Норма погрешности измерений для сопоставимости результатов гидрохимических анализов принята по ГОСТ 27384-2002 [2].

Ежегодная статистическая проверка измерений имеет большое значение для взаимного доверия к данным систематических наблюдений. По результатам межлабораторных испытаний проб по макрозообентосу Сторонами определяется класс качества воды по наличию индикаторных таксонов из видового состава гидробионтов и расчету биотического индекса на наличие гидробионтов. Несмотря на применение разных методик, результаты подтверждают установленный класс качества воды.

Токсикологическая оценка качества воды в 2020 г. показала, что доля проб, оказывающих токсическое действие на тест-культуру хлорелла (*Chlorella*), составляет 6 % от общего числа (руч. Знаменка, р.р. Бобрик, Снов, Нетеша). Доля проб, оказывающих хроническое токсическое действие на тест-культуру цериодафнии (*Ceriodaphniaaffinis*), составляет 3 % от общего числа проб (руч. Знаменка, р. Бобрик).

Необходимо отметить важнейший и определяющий подход государств к экологической обстановке трансграничных водных объектов. Для выявления долговременных тенденций изменения характеристик трансграничных водных

объектов необходимо сохранение непрерывности совместных наблюдений и использование баз данных, накопленных за многие годы.

Список литературы

1. РД 52.24.643-2002 Руководящий документ. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям./ Росгидромет. – СПб.: Гидрометеоздат, 2003.

2. ГОСТ 27384-2002 Межгосударственный стандарт. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств / Water. Rates of measurement error of characteristics of composition and properties. М.: Стандартинформ, 2010.

НОВЫЙ МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГИДРОПОЛИТИЧЕСКИХ КОНФЛИКТОВ В ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ

Илич В.П., Киреева М.Б., Фролова Н.Л.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

E-mail: vladilich4@mail.ru

Аннотация. В настоящий момент существует множество работ, посвященных оценке трансграничных речных бассейнов с точки зрения возможности возникновения гидрополитических конфликтов. Эти работы можно разделить на 2 типа: оценка всех речных бассейнов мира по каким-то общим показателям или анализ конкретного бассейна по специально подобранным показателям. Мы предлагаем новый метод, заключающийся в создании классификации причин возникновения гидрополитических конфликтов. Само выделение потенциальных конфликтов должно проводиться путем поиска на исследуемой территории паттернов, уже наблюдавшихся в истории.

Ключевые слова: гидрополитика, конфликты, трансграничные речные бассейны.

A NEW METHOD FOR IDENTIFYING POTENTIAL HYDROPOLITICAL CONFLICTS IN TRANSBOUNDARY RIVER BASINS

Ilich V.P., Kireeva M.B., Frolova N.L.

Lomonosov MSU, Moscow

Abstract. At the moment, there are many works devoted to the assessment of transboundary river basins from the point of view of the possibility of hydropolitical conflicts. These works can be divided into 2 types: assessment of all river basins of the world by some general indicators or analysis of a particular basin by specially selected indicators. We propose a new method, which consists in creating a classification of the causes of hydropolitical conflicts. The very identification of potential conflicts should be carried out by searching the study area for patterns that have already been observed in history.

Keywords: hydropolitics, conflicts, transboundary river basins.

Гидрополитические конфликты – конфликты, возникающие между государствами из-за водных ресурсов и управления ими. Чаще всего, разногласия возникают в трансграничных речных бассейнах. В современном мире, характеризующимся во многих частях света активным ростом населения и экономики, проблемы с водой возникают все чаще, поэтому желание ученых выявить речные бассейны, которые в ближайшее время могут стать зонами конфликта, вполне понятно.

Все существующие работы можно разделить на две принципиально отличающиеся по методике группы. В первую входят работы, которые имеют своей

целью выделить наиболее потенциально конфликтные бассейны из всех [1,2,3,4,5]. Ко второй группе относятся статьи, где рассматривается один или несколько схожих по каким-то параметрам бассейнов [6,7,8]. В первой группе работ зачастую используется парная или множественная корреляция для определения зависимости «конфликтности» бассейна от некоторых параметров [4,5]. Так, в работе [2] авторы считают, что к реальным конфликтам приводят такие изменения в бассейне, которые не успевают институционально нивелироваться. Под это определение в большинстве своем не подходят климатические изменения (кроме резких засух и наводнений, что показано и в некоторых других работах, на примере конкретного бассейна [6]). Основным же событием, которое может привести к резким изменениям гидрологической сети является постройка гидротехнических сооружений: плотин, водозаборов и каналов. Также на возможность институционального регулирования влияет наличие или отсутствие самих договоров для бассейнов и отдельных подбассейнов. Нельзя не отметить, что в некоторой степени авторы совершают (вынуждены совершать) те же ошибки, которые критиковали в других работах. Они верно отмечали, что расчет параметров по странам не учитывает пространственной изменчивости показателей в рамках одной страны. Однако и расчет параметров по бассейновым единицам не учитывает этой изменчивости, которая весьма возможна для больших подбассейнов, включающих в себя водосборы различных притоков главной реки.

Авторы исследования [4] считают, что серьезные различия между трансграничными бассейнами даже в рамках одного континента, не говоря уже о различиях для бассейнов разных материков, не позволяют ученым довольно точно идентифицировать конфликтные случаи, и что самое главное, такой подход не позволяет найти методы решения конфликтов. Ведь выявление конфликтных бассейнов можно провести и без сложных уравнений регрессии и других математических методов. Достаточно изучить риторику политических деятелей и взаимодействие стран в прошлом, чтобы выявить наиболее конфликтные бассейны.

Второй используемый в научных работах подход – это анализ ситуации в конкретном бассейне. Такие работы часто опираются на исторический анализ ситуации для понимания причин, которые привели к сложившейся ситуации. Авторами рассматривается история заключения договоров, предшествующие и последующие события в бассейнах, степень выполнения государствами своих обязательств, учет договорами интересов всех социальных и этнических групп внутри стран-участниц и многое другое, что фактически невозможно учесть и математически описать при более общем масштабе исследования. Невозможность экстраполировать полученные результаты на другие бассейны видится основной проблемой данного метода.

Объединяет все эти статьи то, что изначальной структурной единицей, на которой основываются исследования, является трансграничный речной бассейн или его часть. С одной стороны, это логично, ведь мы говорим о трансграничных водных объектах, которые принято отделять по их бассейнам. Но с другой стороны, так ли важно, к какому именно бассейну относится тот или иной конфликт? Или значительно важнее разобраться в причинах, которые к нему привели?

В связи с вышесказанным, был предложен новый «исторический» метод оценки вероятности возникновения гидрополитических конфликтов. Он заключается в том, что изначально по базам данных проводится анализ и классификация причин наблюдаемых конфликтов, а затем на исследуемой территории ищутся политические, социальные, экономические и гидрометеорологические паттерны, которые схожи с уже наблюдавшимися в истории. И лишь после обнаружения таких паттернов определяется бассейн, к которому относится данная территория. Дальнейший анализ предлагается проводить путем совместного изучения всех перечисленных выше показателей.

Для создания классификации использовались обе международные базы данных: Transboundary Freshwater Dispute Database (TFDD) [9] и International Rivers Cooperation

and Conflict event data (IRCC) [10]. В ходе ее разработки отдельно анализировался каждый описанный случай. При этом из TFDD были отобраны лишь события с индексами от -7 до -3, а для IRCC – от -5 до -3. Анализировать более «положительные» события не имеет смысла, так как ничего нового в полученную классификацию они не привнесут, да и многие из них можно назвать отрицательными лишь с натяжкой.

Может показаться, что столь глобальный анализ, проведенный лишь на основании двух баз данных, нельзя считать полноценным и абсолютно объективным. Ведь некоторые события могли ускользнуть от внимания авторов, а некоторые просто не вписываются во временной промежуток, который был выбран для баз данных. В ответ на это стоит отметить, что целью этого этапа работы является создание классификации причин гидрополитических напряженностей. Для этого, разумеется, желательно изучить как можно большее количество прецедентов, однако необязательно все.

В результате было получено 11 групп факторов, которые могут привести к гидрополитической напряженности или конфликтам.

Военные конфликты, вызванные негидрополитическими событиями. К этой категории предлагается отнести события, произошедшие в рамках определенного военного конфликта. Важно, что причины конфликта лежат не в области водопользования или водопотребления. Надо отметить, что в данном случае говорится о конфронтации между двумя и более государствами. Именно к этой категории относится большинство событий с наиболее отрицательными индексами. Это легко объяснимо тем, что в случае уже имеющейся вооруженной конфронтации, политикам и военным с обеих сторон нет смысла ограничивать себя при принятии гидрополитических решений.

Постоянная напряженность между государствами, вызванная негидрополитическими факторами. Эта группа весьма похожа на предыдущую, но отличается тем, что в данном случае между государствами не идет военный конфликт. Характерно для Израиля и арабских стран (в те моменты, когда нет войны) и Индии с Пакистаном.

Сепаратизм. К этой группе относятся скорее внутренние водные конфликты, нежели международные. С другой стороны, в результате внутренних конфликтов часто возникают новые государства. В первую очередь, это касается сепаратизма. Для Африки с ее постколониальными границами, которые зачастую не учитывают этнических и культурных особенностей населения, такой фактор возможной гидрополитической напряженности видится весьма актуальным. Еще одной важной характеристикой этой группы является возможность большой заблаговременности прогноза конфликта, так как порой напряжение усиливается десятилетиями.

Строительство и использование крупных плотин. Особое внимание, уделяемое плотинам, вызвано их способностью очень резко и на продолжительный период (фактически навсегда) менять гидрологический режим рек. Никакие климатические катаклизмы и долгосрочные тенденции не способны привести к аналогичной ситуации. Строительство плотин влияет не только на гидрологический режим, но и ведет к уменьшению стока. Краткосрочный эффект вызван необходимостью заполнить новое водохранилище.

Водопользование и эксплуатация связанных с ним гидротехнических сооружений, переброска стока. В некоторых случаях к конфликтам может привести использование или планы по использованию воды государством, компанией или группой лиц. В первом случае речь идет о крупных государственных проектах, целью которых является сельскохозяйственное, промышленное или коммунально-бытовое водоснабжения. Во втором случае проблемы часто возникают из-за приватизации (водный бунт в Боливии).

Защита своей гидротехнической инфраструктуры, расположенной на территории другого государства. Нередки ситуации, когда страна обладает природными богатствами, но не имеет достаточных финансовых или технических ресурсов для реализации крупных гидротехнических проектов. При этом бывает и так, что в соседнем государстве ситуация диаметрально противоположна. Очевидным примером является совместный с ЮАР гидротехнический проект нескольких крупных плотин в Лесото. В верховьях р. Оранжевая с 80-х гг. прошлого века ведется строительство нескольких плотин, цель которых обеспечить электроэнергией эти две страны. Строительством занимаются компании из ЮАР. При государственном перевороте в 1996 г. в Лесото, ЮАР ввела свои войска в соседнее государство для защиты своих строящихся объектов, что вызвало сильное недовольство в Лесото.

Нарушение государственных границ, представленных водными объектами. Наиболее значимым случаем в истории, когда споры из-за границы, пролегающей по водному объекту, переросли в серьезный военный конфликт можно считать столкновения между СССР и КНР у о-ва Доманский в 1969 г. Причиной конфликта стало наличие нескольких отличающихся соглашений, касающихся проведения границы между странами по водному объекту.

Водный транспорт. В истории случались международные конфликты, где именно водный транспорт становился причиной. Наиболее значимым был дунайский конфликт между Украиной и Румынией из-за судоходства в дельте Дуная. Причиной разногласия послужило желание каждой из стран контролировать торговые пути из Дуная в Черное море. С целью увеличения водности своей части дельты и Румыния, и Украина проводили в своей части различные гидротехнические работы.

Гидрометеорологические катаклизмы. Очевидно, что такие гидрометеорологические явления, как засухи и наводнения, могут приводить к значительным ущербам. Длительные, многолетние снижения количества осадков, а как следствие и речного стока, не столь заметно сказываются на количестве вооруженных столкновений, как краткосрочные.

Как правило, конфликты, вызванные гидрометеорологическими катаклизмами, тесно связаны с использованием гидротехнических сооружений, в первую очередь плотин. Основные споры ведутся о количестве сбрасываемой воды.

Загрязнение водных объектов. Помимо количества воды, важным показателем является и ее качество. Именно этот показатель является лимитирующим фактором водопотребления во многих Азиатских и Африканских странах, так как сточные воды почти не проходят очистку. Утечки загрязняющих веществ часто приводят к конфликтам с нижележащими государствами.

Исключительно политический аспект. История знает случаи, когда политики искусственно раздували гидрополитический конфликт, так как это было выгодно им или их государствам.

Авторами разработан принципиально новый подход к оценке вероятности возникновения гидрополитических конфликтов. Он позволит отойти от привычного бассейнового подхода (или не менее часто используемого подхода выделения бассейново-государственных единиц) и избавиться от присущих классическим методам недостатков. В то же время, появление таких новых процессов и тенденций, как глобализация, неоколониализм и другие, побуждает нас быть осторожными в оценках нового метода и проверять его преимущества и недочеты на практике.

Список литературы

1. Farinosi F. и др. An innovative approach to the assessment of hydro-political risk: A spatially explicit, data driven indicator of hydro-political issues // Global Environmental Change. 2018. Т. 52. № June. С. 286–313.

2. Wolf A. T., Yoffe S. B., Giordano M. International waters: Identifying basins at risk // *Water Policy*. 2003. Т. 5. № 1. С. 29–60.
3. Yoffe S. и др. Geography of international water conflict and cooperation: Data sets and applications // *Water Resources Research*. 2004. Т. 40. № 5. С. 1–12.
4. Bernauer T., Böhmelt T. Basins at Risk: Predicting International River Basin Conflict and Cooperation // *Global Environmental Politics*. 2014. Т. 14. С. 116–138.
5. Brochmann M., Gleditsch N. P. Shared rivers and conflict - A reconsideration // *Political Geography*. 2012. Т. 31. № 8. С. 519–527.
6. Landis S. T. и др. Fording differences? Conditions mitigating water insecurity in the Niger River Basin // *Political Geography*. 2017. Т. 56. С. 77–90.
7. Mahmood R., Jia S. Assessment of hydro-climatic trends and causes of dramatically declining stream flow to Lake Chad, Africa, using a hydrological approach // *Science of the Total Environment*. 2019. Т. 675. С. 122–140.
8. Melesse A. M., Abtew W., Setegn S. G. Nile River Basin: Ecohydrological challenges, climate change and hydropolitics // *Nile River Basin: Ecohydrological Challenges, Climate Change and Hydropolitics*. 2013. С. 1–718.
9. Сайт Орегонского Гос. ун-та, база Международных Водных Событий. Код доступа URL: <https://transboundarywaters.science.oregonstate.edu/content/international-water-event-databa--se>.
10. Сайт AquaKnow, база International Rivers Cooperation and Conflict event data. URL: https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/international-relations-dam/Publications/Data/2011_2012/IRCCreplication.csv.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Исаева С.Д.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и
мелиорации им. А.Н. Костякова, г.Москва
e-mail: isaevasofia@gmail.com

Аннотация. В условиях дефицита водных ресурсов повышение эффективности водопользования является важным условием адаптации к климатическим изменениям в сельском хозяйстве. Сформулированы основные направления развития сельскохозяйственного водопользования в современных условиях, принципы управления и повышения эффективности использования водных ресурсов при орошении. Определение эффективных методов повышения водообеспеченности в регионах, выявление дополнительных водных источников проводится за счет совершенствования информационно-аналитического обоснования принятия решений, включающего проведение комплексного экологического мониторинга и районирование территории по обеспеченности водными ресурсами.

Ключевые слова: водные ресурсы, орошение, экологический мониторинг, районирование по водообеспеченности

INCREASING THE EFFICIENCY OF WATER USE IN AGRICULTURE

Isaeva S.D

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after A.N. Kostyakova, Moscow
e-mail: isaevasofia@gmail.com

Annotation. In the context of a shortage of water resources, increasing the efficiency of water use is an important condition for adapting to climate change in agriculture. The main directions of the development of agricultural water use in modern conditions, the principles of management and increasing the efficiency of the use of water resources during irrigation are formulated. Determination

of effective methods of water supply in the regions, identification of additional water sources is carried out by improving the information and analytical substantiation of decision-making, including the conduct of comprehensive environmental monitoring and zoning of the territory according to the availability of water resources

Key words: water resources, irrigation, environmental monitoring, zoning by water supply

Повышение эффективности использования водных ресурсов является существенной проблемой мировой экономики, предполагающей постоянный поиск новых методических, технических и технологических решений [1]. В результате принятых мер с 2000 г. до 2017 г. эффективность водопользования в денежном эквиваленте выросла с 12,58 до 18,17 долл. США/м³ и варьирует от 0,2 долл. США/м³ в странах, экономика которых в значительной степени зависит от сельского хозяйства, до 1197 долл. США/м³ в промышленно развитых странах. В большинстве стран эта величина составляет от 5 до 100 долл. США/м³ [1]. Наиболее низкие показатели эффективности водопользования относятся к сфере сельского хозяйства, на которое приходится 70% общемирового потребления воды. Важное значение придается повышению эффективности водопользования в Российской Федерации.

Повышение эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве - многоплановая задача, так как орошение в условиях текущих климатических изменений и аридизации климата на юге европейской части РФ и Западной Сибири становится необходимым условием обеспечения продовольственной безопасности, но при этом оказывает интенсивное антропогенное воздействие на природную среду. Многолетний опыт орошения земель, проводимого зачастую с нарушением разработанных технологий мелиорации и земледелия, к сожалению, показал реализованные риски развития неблагоприятных экологических процессов (засоление, осолонцевание, подтопление и другие), приводящие к экологическому ущербу окружающей среде и экономическим потерям при производстве сельскохозяйственной продукции.

Внимание к вопросам охраны окружающей среды во всем мире постоянно растет в связи с обострением экологических проблем [2]. Обеспечение эффективности водопользования с учетом требований охраны окружающей среды отвечает сути экосистемного водопользования, при котором эффективность использования водных ресурсов должна сочетаться с соблюдением экологических ограничений на их изъятие, доставку потребителю, распределение и сбросы в целях снижения и предотвращения возможных экологических рисков и обеспечения экологической устойчивости речных бассейнов к водохозяйственному и мелиоративному воздействию.

Повышение эффективности водопользования необходимо начинать с совершенствования управления использованием и охраной водных ресурсов. Это касается как внутренних, так и трансграничных речных бассейнов. Как известно, в России трансграничными являются 70 бассейнов средних и крупных рек [3]. Управление использованием и охраной водных ресурсов трансграничных водных объектов регулируется законодательными актами разного уровня, в том числе, международными конвенциями. В Водной стратегии РФ [4] определены меры по решению глобальных проблем в сфере использования, в том числе, трансграничных водных ресурсов. Рекомендации по мерам адаптации к климатическим изменениям в бассейнах трансграничных рек, пилотные проекты по регулированию деятельности бассейновых организаций, диалоги по вопросам национальной политики в области комплексного управления водными ресурсами и другие вопросы рассмотрены в 2019 г. в рамках реализации Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер ЕЭК ООН и др.[5].

Решение трансграничных вопросов распределения, использования и охраны водных ресурсов зависит не только от достижения международных соглашений, но и от

необходимости преодоления внутренних проблем водопользования, которые существуют в водном хозяйстве договаривающихся сторон. Эти проблемы – природные, технические, экономические - в разных странах очень схожие. К проблемам природным можно отнести возникающие все чаще климатические и погодные аномалии, а также неравномерность территориального распределения ресурсов поверхностных и подземных вод, недостаточную водообеспеченность отдельных регионов, ухудшение качества поверхностных и подземных вод, изъятие объемов речного стока, превышающих допустимые значения и др.). К техническим - износ и старение основных производственных фондов, потеря надежности и эффективности функционирования гидротехнических сооружений и ряд других. Экономические проблемы - недостаточное финансовое обеспечение развития водохозяйственного комплекса, несовершенство стимулирования водосбережения и охраны вод и пр. Повышение эффективности водопользования на основе решения комплекса задач, связанных с существующими проблемами, отвечает сути экосистемного водопользования, при котором эффективность использования водных ресурсов должна сочетаться с соблюдением экологических ограничений на их изъятие, доставку потребителю, распределение и сбросы в целях снижения и предотвращения возможных экологических рисков и обеспечения экологической устойчивости речных бассейнов к водохозяйственному и мелиоративному воздействию [6,7].

Первостепенная задача – преодоление дефицита водных ресурсов в ряде регионов, усиливающегося в связи с климатическими изменениями. Для нужд агропромышленного комплекса в России, по данным на 01.01.2019 г. [3] используется 18% от общего водозабора, но на орошение идет чуть более трети от этой величины. Анализ состояния водных ресурсов показывает снижение объемов многоцелевого использования с 2000 года. С 2000 г. по 2018 г. сокращение объемов сельскохозяйственного водопользования составило порядка 45%. При этом суммарный объем использования водных ресурсов на орошение и обводнение земель от общего объема водопотребления в стране сократился с 23% в начале 1980-х гг. до 13% в 2010-2016 гг. В 2019 г. на орошение земель использовано 7.1 км³ или 9% от забора воды из природных источников [5]. Снижение объемов водопользования связано не только с экономической и социальной ситуацией, но и с природно-климатическими условиями. Дефицит водных ресурсов в ряде регионов ограничивает развитие орошаемого земледелия, снижает его продуктивность.

Обеспечение регионов водой предполагает комплексное научное обоснование потребностей в водных ресурсах с учетом социально-экономического развития, глобальных изменений климата на перспективу и выявления источников дополнительных водных ресурсов. В этом направлении во ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова проводятся исследования по теоретическому обоснованию и районированию территории зоны недостаточного увлажнения европейской части РФ по обеспеченности орошения и сельхозводоснабжения водными ресурсами с использованием геоинформационных технологий. Основную часть выбранной территории занимают бассейны Волги и Дона.

Для региона выполнено районирование территории по обеспеченности водными ресурсами. Разработаны цифровая и геоинформационная базы данных с выдачей аналитических отчетов, содержащие группы сведений по техническим характеристикам мелиоративных систем, включая данные о заборе воды на орошение, ее использовании и сбросах, потребности в реконструкции, в ремонте, по технике поливов; по состоянию мелиорированных земель; по ресурсному потенциалу поверхностных и подземных вод, использованию месторождений подземных вод и т.д. [8,9]. Районирование позволяет установить общие закономерности формирования водных ресурсов и оценить в региональном плане возможность (при необходимости) получения дополнительных объемов вод для использования в сельском хозяйстве за

счет мер по рациональному использованию и охране подземных и поверхностных вод [10,11]. Выполненные работы могут служить основой при определении направлений и принципов совершенствования методов управления водными ресурсами регионов с использованием математического моделирования, цифровых и геоинформационных технологий.

Аналитические исследования, выполненные, в том числе, и в процессе проведенного районирования, позволили сформулировать актуальные направления развития сельскохозяйственного водопользования, а именно:

- повышение его эффективности одновременно с сокращением объема изъятия вод;

- сокращение непроизводительных потерь воды на мелиоративных системах, совершенствование технологий и техники орошения, повторное использования коллекторно-дренажного стока;

- увеличение использования очищенных сточных коммунальных, коллекторно-дренажных, подземных минерализованных вод для сельскохозяйственного водоснабжения и орошения с учетом степени и качества очистки;

- в условиях дефицита переход на комплексное использование водоисточников, определив объемы и технологии водопользования на основе решения задач управления с привлечением современных инновационных методов моделирования;

- совершенствование управления поверхностными водными ресурсами за счет регулирования работы каскадов водохранилищ.

Для реализации указанных направлений существенным условием представляется сохранение за государством определяющей роли в управлении использованием и охраны водных ресурсов и стратегическое планирование развития орошения и мелиоративно-водохозяйственного комплекса, ориентированное на модернизацию водохозяйственного комплекса, переход к системной реконструкции гидротехнических сооружений мелиоративных систем, внедрение средств цифровизации, современных веб-технологий.

Рассматривая управление водными ресурсами в сельском хозяйстве как систему, необходимую для комплексного решения проблем водоснабжения на основе планирования и организации водопользования, создания условий рационального их использования, обеспечения эффективности, экологической безопасности и стабильности водопользования при функционировании мелиоративных водохозяйственных систем, в качестве основных принципов управления и повышения эффективности использования водных ресурсов можно принять следующие:

- междисциплинарное научное обоснование планирования использования водных ресурсов на орошение и хозяйственно-питьевое водоснабжение с приоритетом питьевого водоснабжения и учета водо-охранных требований в правовом статусе равнозначном статусу требований отрасли;

- выделение объемов водных ресурсов для орошения на основе оценки эколого-экономической и социальной эффективности планируемой структуры сельскохозяйственного производства

- оптимизация структуры возделываемых культур на орошаемых землях в зависимости от лимита водных ресурсов;

- комплексное использование всех возможных водоисточников с учетом напряженности водного баланса, располагаемых объемов и обоснованной потребности в водных ресурсах с акцентом на экономное использование воды питьевого качества при орошении;

- оптимизация распределения воды в водохозяйственных системах АПК с учетом поставленных целей и возможных ограничений (экономических, земельных, водных ресурсов);

- нормирование и контроль водопользования с учетом состояния источников водных ресурсов;
- учет объемов водных ресурсов, необходимых для сохранения или улучшения состояния водных объектов;
- поэтапное восстановление экологических условий водных источников, связанных с мелиоративными объектами, за счет сокращения диффузного загрязнения, регулирования отбора подземных вод и т.д. с последующим поддержанием их состояния.

Важное значение для анализа и планирования водохозяйственной деятельности в сельском хозяйстве имеет достоверная исходная информация, которая на сельскохозяйственных землях может быть получена на основе комплексного экологического мониторинга, (который практически не ведется), включающего мониторинг поверхностных водных объектов, подземных вод, мелиоративного состояния земель, технического состояния гидротехнических сооружений мелиоративных систем и водоисточников. С этой целью необходимо воссоздать службу гидрогеолого-мелиоративного контроля, для ведения мониторинга мелиорированных земель, в структуре службы эксплуатации мелиоративных систем. В современных условиях ведение мониторинга может успешно опираться на разработанные дистанционные методы, автоматизацию наблюдений, разработку и создание специализированных цифровых и картографических баз данных. Использование данных мониторинга, выполнение в его структуре сценарных исследований и прогнозов, а также оценки экологической опасности и рисков развития неблагоприятных экологических процессов при орошении, возможных социальных ущербов и ущербов результатам сельскохозяйственной деятельности при разной водобеспеченности создает надежную информационно-аналитическую основу принятия решений по управлению и повышению эффективности использования водных и земельных ресурсов, развитию орошаемого земледелия. Концептуальная модель информационно-аналитического обоснования управления водохозяйственным комплексом АПК на основе комплексного экологического мониторинга разработана во ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова [7].

Несмотря на наличие, в том числе и во ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, достаточно большого объема конкретных инновационных технических и технологических решений по совершенствованию техники, технологии поливов, режимов орошения, водоочистке, водоподготовке, а также научно-методических разработок для обоснования принимаемых стратегических и тактических решений, направленных на повышение эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве, необходима заинтересованность, которой пока нет, в их внедрении со стороны органов управления водным хозяйством. Только на основе преодоления разрозненности в сфере управления водным хозяйством при ее делении между разными ведомствами, а также тесного сотрудничества с научными и научно-производственными организациями, материального стимулирования интереса к развитию инвестиций в водохозяйственный комплекс страны и заинтересованности сельхозпроизводителей во внедрении инновационных технологий, связанных с развитием орошаемого земледелия, охраной и воспроизводством водных ресурсов, возможно повышение эффективности их использования в сельском хозяйстве.

Список литературы:

1. Мониторинг достижений связанных с продовольствием и сельским хозяйством показателей ЦУР//Информационный ресурс: <http://www.fao.org/sdg-progress-report/ru/>
2. Поворот к природе: новая экологическая политика России в условиях “зеленой” трансформации мировой экономики и политики: доклад по итогам серии ситуационных анализов / Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, Факультет мировой экономики и мировой политики. — М.: Международные отношения, 2021. — 97 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». – М.: НИА-Природа, 2019. – 290 с.
4. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. Правительством РФ 27 августа 2009 г. N 1235-р. Информационный ресурс: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=128717>
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2020. — 1000 с.
6. Кизяев, Б.М., Исаева, С.Д. Водообеспеченность Российской Федерации в условиях глобального потепления климата. [Текст] / Б.М. Кизяев, С.Д. Исаева / Вестник Российской академии наук. 2016.-Т.86.-№ 10-С.909-914
7. Isaeva S, Dedova E, Buber A. Use of Water Resources for Irrigation in the Southern Regions of Russia // (IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 666 (2021) 042020 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/666/4/042020
8. Бубер А.А., Раткович Е.Л., Хомутов Ю.А. Геоинформационная база данных по оценке мелиоративного состояния орошаемых и осушаемых земель юга европейской части России.// Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса. Сборник научных трудов — М.: Изд. ВНИИГиМ, 2020. - 440 с. - С 274-281
9. Енакаева В.Р., Гетьман Е.Н., Попова Н.М. Разработка цифровой базы данных объектов мелиорации с выдачей аналитических отчетов //Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса. Сборник научных трудов — М.: Изд. ВНИИГиМ, 2020. - С.303-308.
10. Бубер А.Л., Добрачев Ю.П. Теоретические подходы к оптимизации водопользования на рисосеющих агро-мелиоративных комплексах Нижней Кубани.// Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса. Сборник научных трудов — М.: Изд. ВНИИГиМ, 2020. - С. 289-296
11. Исаева С.Д., Дедова Э.Б. Районирование территории юга европейской части РФ по обеспеченности сельхозводоснабжения водными ресурсами// Научно-методическое обеспечение развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса. Сборник научных трудов — М.: Изд. ВНИИГиМ, 2020. - С.343-349.

ВЛИЯНИЕ ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА В ВЕРХНЕМ БАССЕЙНЕ РЕКИ ИЛИ (КАЗАХСТАН, КИТАЙ) НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ ЕЕ ДЕЛЬТЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Исупова М.В.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

E-mail: misupova@ya.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние зарегулирования стока в верхней части бассейна р. Или на водный режим ее устьевой области с учетом многочисленных природных и антропогенных факторов, с использованием современных, и исторических гидрометеорологических данных. Анализируется воздействие Капчагайского водохранилища на водный сток Или и дельты, его внутригодовую и межгодовую изменчивость, а также дальнейшее влияние на изменчивость речного стока, изменения климата и усиливающейся антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: река, дельта, водный режим, антропогенное воздействие.

INFLUENCE OF THE WATER RUNOFF REGULATION IN THE UPPER ILI RIVER BASIN (KAZAKHSTAN, CHINA) ON THE WATER REGIME OF ITS DELTA UNDER CHANGING CLIMATE CONDITIONS

Isupova M.V.

Water Problems Institute RAS, Moscow

Abstract. The influence of the water runoff regulation in the upper part of the Ili river basin on the water regime of its mouth area is considered, taking into account numerous natural and anthropogenic factors, using modern and historical hydrometeorological data. The impact of the Kapchagai Reservoir on the water flow of the Ili and delta, its annual and inter-annual variability, as well as the further impact on the variability of the river flow, climate change and increasing anthropogenic pressure is analyzed.

Keywords: river, delta, water regime, anthropogenic pressure.

В настоящее время в Центральной Азии все более серьезной проблемой становится дефицит пресной воды, одна из основных причин которого – изменения водного режима рек под действием естественных и антропогенных факторов. Среди естественных факторов главную роль играет изменение климата в регионе – повышение температуры воздуха и изменение увлажненности речных водосборов. К антропогенным факторам, существенно влияющим на водный режим рек, относится увеличение потребления воды для нужд сельского хозяйства (в первую очередь, орошения), а также питьевого и хозяйственного водоснабжения растущего населения региона. При этом острый характер носит трансграничное распределение водных ресурсов, нерациональное использование которых в таких условиях может, в свою очередь, вызывать напряжённость в отношениях между странами региона.

Река Или (Иле) – одна из крупнейших рек Казахстана – берет свое начало в Восточном Тянь-Шане (Китай) на высоте 3540 м. Река образуется при слиянии рек Текес и Кюнес (Кунгес). Длина р. Или от истока Текеса – 1439 км (1001 км от места слияния Текеса и Кюнеса). Верхняя часть бассейна Или занята ледниками (около 555 км²). Река протекает по территории Китая (Синьцзян-Уйгурский автономный район (СУАР)) и Казахстана (Алматинская обл.). Длина китайского участка реки – 186 км (624 км от истока р. Текес), казахстанского – 815 км. Площадь бассейна ~140 тыс. км² (77,4 тыс. км² в Казахстане). При этом основной водный сток Или (~65–70%) формируется в китайской части водосбора. Река впадает в западную (пресноводную) часть оз. Балхаш, образуя дельту площадью 8200–9750 км² [1,2]. Дельта р. Или имеет форму треугольника с вершиной (ВД), расположенной в 120 км от оз. Балхаш, в месте отделения от реки влево рукава Топар-I, и основанием вдоль берега озера. Длина изрезанного озерного края дельты ~200 км. Дельта Или имеет несколько постоянных рукавов – Или (Иле), Топар, Жидели, Иир, Нарын. Северо-восточнее действующей дельты р. Или пролегают многочисленные высохшие древние русла-баканасы.

Воды р. Или имеют большое ирригационное значение, используются в энергетике, промышленности, рыбном и коммунальном хозяйствах, судоходстве (на участке от г. Кульджа (Инин, Китай) до пристани Баканас (Казахстан) для судов с малой осадкой). В структуре сельского хозяйства Казахстана, приуроченного к бассейну р. Или, развиты производство сахарной свеклы, овощей, садоводство и животноводство [3]. Искусственная гидрографическая сеть, используемая для орошения полей, представлена системой ирригационных водозаборных и сбросных каналов, часть из которых в настоящее время не эксплуатируется в виду плохого технического состояния. В китайской части бассейна р. Или большое развитие получило также сельское хозяйство. Здесь выращивается пшеница, кукуруза, сахарная свекла, хлопок, табак, распространены садоводство и животноводство. В настоящее время СУАР осуществляет значительное производство в Китае товарного хлопка, хмеля,

свекловичного сахара и томатной пасты. В этом районе ведется также масштабное строительство ирригационных систем – каналов и гидротехнических сооружений для предотвращения утечки воды, главные из которых – Кызылское водохранилище и гидроузел Улувати в Хотане. К началу XXI в. построено 485 водохранилищ общей емкостью свыше $6,72 \text{ км}^3$, общая площадь орошаемых земель достигла $33,9 \text{ тыс. км}^2$, возведено 5129 км противопаводковых дамб.

На территории Казахстана, в среднем течении реки, где она вступает в ущелье Капчагай (Капшагай), в ~ 100 км от г. Алматы, в 1965–1970 гг. построена Капчагайская ГЭС и образовано Капчагайское водохранилище длиной 187 км, площадью водного зеркала 1850 км^2 и полным объемом $28,1 \text{ км}^3$. Водоохранилище осуществляет многолетнее регулирование стока воды р. Или – накопление воды в многоводные годы с возможностью их использования в маловодные. При этом потери на испарение с поверхности водохранилища оцениваются в $\sim 1,0\text{--}2,0 \text{ км}^3/\text{год}$ [4]. В настоящее время водный режим р. Или ниже водохранилища определяется режимом сброса воды в нижний бьеф гидроузла и попусков (искусственных паводков).

Орошаемое земледелие, интенсивно практикуемое в бассейне р. Или, – наиболее водоемкая отрасль сельского хозяйства, способствующая засолению почв и их загрязнению ядохимикатами, негативно влияющая на экологическую ситуацию в регионе.

Водный режим р. Или в условиях зарегулирования стока. Р. Или относится к рекам ледниково-снегового питания, при этом основная часть ее бассейна находится в области засушливого климата. Питание реки происходит за счет сезонных снегозапасов и горных ледников (в сумме 60%), грунтовых (до 30%) и дождевых вод (10%). Для водного режима Или характерно наличие весенне-летнего половодья и летнего ледникового паводка. В настоящее время на долю весенне-летнего половодья приходится до 67,3% годового стока р. Или, на осенний период (октябрь–ноябрь) – $\sim 12,7\%$, зимний (декабрь–март) – до 20% [2].

В период заполнения водохранилища (1970–1986 гг.) среднемноголетний ($Q_{\text{ср}}$) расход воды р. Или в нижнем бьефе (г/п «Урочище Капчагай») снизился с $441 \text{ м}^3/\text{с}$ (объем стока $13,9 \text{ км}^3/\text{год}$) до $426 \text{ м}^3/\text{с}$ ($13,4 \text{ км}^3/\text{год}$) [5]. Максимальные расходы воды Или в 1976–1980 гг. снизились до $783\text{--}924 \text{ м}^3/\text{с}$ (с $1200\text{--}2000 \text{ м}^3/\text{с}$ до зарегулирования), а минимальные возросли до $102\text{--}155 \text{ м}^3/\text{с}$. В последнее время исследователи отмечают наличие тренда в увеличении стока Или, начиная с 1987 г. [1,5,6]. По данным [5], $Q_{\text{ср}}$ Или за 1987–2011 гг. составил $523 \text{ м}^3/\text{с}$ ($16,5 \text{ км}^3/\text{год}$) (за 1970–2011 гг. – $484 \text{ м}^3/\text{с}$ ($15,3 \text{ км}^3/\text{год}$)). Увеличился сток воды и в нижнем бьефе Капчагайской ГЭС – с $366 \text{ м}^3/\text{с}$ ($11,6 \text{ км}^3/\text{год}$) в 1970–1986 гг. до $488 \text{ м}^3/\text{с}$ ($15,4 \text{ км}^3/\text{год}$) в 1987–2011 гг. ($Q_{\text{ср}}$ за 1970–2011 гг. – $439 \text{ м}^3/\text{с}$ ($13,8 \text{ км}^3/\text{год}$)). Казахские исследователи отмечают, что несмотря на климатически обусловленное увеличение естественного стока воды Или (рост температуры воздуха и увлажненности в горных частях водосбора реки, а также таяние ледников), фактический расход воды реки на $50\text{--}139 \text{ м}^3/\text{с}$ ниже, что связывают с интенсивным изъятием вод реки в Китае. Суммарное сокращение стока воды Или, поступающего из Китая, составило за 1970–2004 гг. $\sim 80 \text{ км}^3$ [1].

Изменения в водном режиме дельты р. Или. Сток воды в дельте Или осуществляется по трем основным системам рукавов – это центральная система рук. Или, правая система рук. Жидели и левая система рук. Топар. В центральной системе сток воды сосредоточен в извилистом русле рук. Или (до 3% стока в ВД), имеющем единственный выход в приемный водоем. В южную систему рук. Топар (включающую также озера, самые крупные из которых Акколь и Абишколь) вода поступает по коротким пр.пр. Топар-I и Топар-II, далее распределяясь между рук. Топар и пр. Бала-Топар. Постоянного стока воды из системы рук. Топар в оз. Балхаш нет. Правая (северо-восточная) система рук. Жидели включает постоянные пр.пр. Жидели, Кокозек (Кугалы), Иир (Ир), Арыстан, Нарын, а также многочисленные

озера. Эта система рукавов и протоков имеет 12 непосредственных выходов в оз. Балхаш, в ней сосредоточен основной сток р. Или (96–98% стока в ВД) и гидроморфные ландшафты. В 1960-х гг. в дельте р. Или насчитывалось свыше 9000 озер, однако с середины 1980-х гг. по настоящее время их площадь уменьшилась с 1200 до 200 км² [1].

Величина $Q_{\text{ср}}$ р. Или в ~30 км выше ВД у с. Ушжарма (бывш. Учжарма) (в 150 км от устья) за 1975–2015 гг. – 434 м³/с (13,7 км³/год) [7], что несколько меньше, чем за 1937–1987 гг. – 479 м³/с (13,5 км³/год). С учетом водосброса из Акдалинского массива орошения (0,274 км³/год), современный сток воды в ВД Или составляет 14,0 км³/год. В результате зарегулирования реки сток воды Или в ВД сокращался в период с октября по май на 2–3% ежемесячно. В многоводный период снижение стока проходило более существенно. Так, водный сток за июль снизился с 16,4 до 10,0%, а августа – с 15,9 до 9,6% годового стока. Расходы воды в дельте в летние месяцы уменьшились с 1000 до 400–500 м³/с (при экстренных попусках до 600 м³/с), а уровни воды в дельте на пике паводка (половодья) снизились на 1,0–1,5 м. [1]. Средние же минимальные расходы воды, напротив, возросли с 133–148 до 250–280 м³/с.

Значительная часть стока р. Или теряется на инфильтрацию, испарение и транспирацию в дельте, расположенной в зоне недостаточного увлажнения (годовые осадки 150 мм; испаряемость 1100 мм). До 1970-х гг. общие потери стока в дельте составляли 3,51–3,74 км³/год. В 1970–1987 гг. в условиях зарегулирования стока р. Или сократились потери на испарение с открытой водной поверхности (в связи с уменьшением площади озёр) и возросли потери с заболоченных земель и суходолов (общие потери 3,1–3,2 км³/год). В целом, в результате зарегулирования реки и многолетнего изъятия вод на орошение из Капчагайского водохранилища, а также из реки в Акдалинский массив поступление вод в дельту Или уменьшилось на 2–4 км³/год [1], а приток в оз. Балхаш сократился на 3,1 км³/год. В последние годы наблюдается уменьшение обводнения дельты, несмотря на усиление дополнительного притока, вследствие таяния ледников. Зарегулирование реки сказалось и на стоке наносов реки в ВД, который к концу XX в. сократился с 14 до 3,3 млн. т/год.

Наличие постоянного стока воды в водотоках дельты, его распределение и перераспределение по элементам ее гидрографической сети, обводнение междуречных участков, большое число небольших озер и затонов делает дельту Или аazonальным географическим объектом – оазисом посреди пустыни. Пространства между дельтовыми рукавами покрыты зарослями тростника, камыша и тугайной растительности. Однако, начиная с 1980-х гг., площадь болотных почв в дельте уменьшилась с 740 до 280 км², а лугово-болотных – с 1230 до 70 км², при этом увеличилась площадь такыровидных (в том числе засоленных) почв [1]. В настоящее время в дельте происходит опустынивание земель, особенно в ее южной части между рукавами Или и Топар.

Дальнейшие возможные гидролого-морфологические изменения дельты р. Или. В современных гидрологических условиях, характеризующихся зарегулированием и сокращением стока воды и наносов, а также антропогенным изъятием стока, русловая сеть дельты Или, скорее всего, не будет стремительно развиваться, а существенное уменьшение максимальных расходов воды реки не будет способствовать прорывам русел и формированию новых водотоков. Направленность и интенсивность развития дельты р. Или будут в дальнейшем зависеть от характера регулирования стока Капчагайского водохранилища и водохранилищ на территории Китая, а также от гидротехнических мероприятий в самой дельте. По данным [8], для сохранения природного потенциала дельты необходимо поддержание притока воды в дельту на уровне 12–12,5 км³/год (в настоящее время ~13,6–14,0 км³/год), сезонных попусков на уровне 14,5 км³/год и уровня оз. Балхаш на отметках 341–341,5 м БС (в настоящее время 342,2–342,8 м БС), а также оптимизация попусков в нижний бьеф

Капчагайской ГЭС и распределения водных ресурсов между отраслями-потребителями. Увеличивающийся водозабор из р. Или на территории КНР (до 5 км³/год) может привести к дефициту водного стока в казахской части бассейна реки порядка 3 км³/год, что негативно скажется на поддержании уровня оз. Балхаш.

По данным [3,9,10], рост производства и населения (до 60–100 млн. чел.), и, соответственно, водопотребления в СУАР могут в ближайшее время вырасти в несколько раз (программа «Большое освоение Запада Китая»). По материалам Комитета по водным ресурсам, в СУАР за последние годы площадь орошаемых земель выросла с 1560 км² до 5700 км². Объем используемой воды за это время возрос с 1,6 до 4,0 км³, при этом запасы грунтовых вод сократились с 0,9 до 0,4 км³. К тому же в китайской части бассейна Или планируется строительство каналов для переброски стока реки в оз. Эби-Нур и р. Тарим (до 1,5–4,0 км³/год).

Гидрологические характеристики дельты Или будут зависеть и от долгосрочных климатических изменений. Так, по данным [11], в целом по Казахстану, температура воздуха повысится к 2030 г. на 1–2°C, а к 2050 г. – на 2–3°C. Соответственно, увеличатся осадки, в среднем, на ~10% к 2050 г., причем чуть выше 10% в северной, центральной частях и юго-восточных горах, а в горных массивах центральной части – на 20%. Среди основных гидролого-экологических проблем актуальными будут уменьшение объема пресных вод оз. Балхаш, вследствие увеличения водозабора из р. Или (как в Казахстане, так и в Китайской частях бассейна); опустынивание, загрязнение атмосферного воздуха и поверхностных вод, истощение подземных вод, деградация почвенно-растительного покрова в результате интенсивной антропогенной нагрузки.

Список литературы

1. Стародубцев В.М., Трускавецкий С.Р. Процессы опустынивания в дельте реки Или под воздействием антропогенной нагрузки // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 2. С. 248–251.
2. Isupova M.V. The Effects of the Ili River Runoff and Water Regulation Function of the Delta on the Changing Water Level of Balkhash Lake Depending on the Delta Forest Coverage // Water Resources. 2019. Vol. 46. Suppl. 1. Pp. S29–S42.
3. Трансграничный диалог и сотрудничество в бассейне реки Иле-Балхаш. Промежуточный отчет // Проект ЕС-ПРООН (2009-2012) «Содействие интегрированному управлению водными ресурсами и трансграничному диалогу в Центральной Азии». Алматы, 2010.
4. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана (2019) // <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana> (дата обращения 10.03.2021)
5. Галаева А.В. Изменение стока реки Или на участке от гидрометрического створа 164 км выше Капчагайской ГЭС до урочища Капчагай // Вестник КРСУ. 2014. Т. 14. № 7. С. 93–95.
6. Шиварева С.П., Галаева А.В. Анализ изменения стока в бассейне р. Или в пределах Казахстана и Китая в связи с климатическими изменениями // Гидрометеорология и экология. 2014. № 1. С. 68–80.
7. Абдрахимов Р.Г., Амиргалиева А.С. Оценка характеристик годового стока рек Иле-Балкашского водохозяйственного бассейна // Гидрометеорология и экология. 2018. № 1. С. 41–51.
8. Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или-Балхашской проблемы. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 320 с.
9. Зонн И.С., Жильцов С.С., Семенов А.В., Костяной А.Г. Трансграничные реки Казахстана и Китая // Вестн. Моск. ун-та им. С.Ю. Витте. Сер. 1. Экон. и управл. 2018. № 4 (27). С. 82–90.

10. Терехов А.Г. Потенциал влияния водохранилищ китайского сектора бассейна реки Или на режим её водности на границе КНР – Казахстан // Гидрометеорология и экология. 2016. № 4. С. 63–70.

11. Seventh National Communication and third Biennial report of the Republic of Kazakhstan to the UN Framework Convention on Climate Change (2017) // https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/29/march_4_file/5f8fd22701e3f7th-national-communication-of-the-rk-to-the-unfccc_2017.pdf (дата обращения 04.03.2021)

РОССИЯ - ФИНЛЯНДИЯ, ПОГРАНИЧНЫЕ ВОДНЫЕ СИСТЕМЫ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И СОТРУДНИЧЕСТВО

Казмина М.В.

Невско-Ладожское бассейновое водное управление
Федерального агентства водных ресурсов, г. Санкт-Петербург
mvkazmina@nlbv.spb.ru

Аннотация: Статья посвящена Российско-Финляндскому сотрудничеству в области использования пограничных водных систем и взаимодействию Сторон при управлении водными ресурсами трансграничных водных объектов. Статья основана на материалах Совместной Российско-Финляндской комиссии по использованию пограничных водных систем

Ключевые слова: Соглашение, комиссия, пограничные водные системы.

RUSSIA-FINLAND BORDER WATER SYSTEMS: INTERACTION AND COOPERATION

Kazmina M.V.

Neva-Ladoga basin water authority of Federal Agency of water Resources, St.
Peterburg

Abstract. The article is devoted to the Russia-Finland cooperation in the field of using border water systems and interaction of the Parties when managing water resources of transboundary water bodies. The article is based on the materials of the Joint Russia-Finland Committee in use of border water systems.

Key words: agreement, committee, border water systems.

В конце 50-х, начале 60-х гг. как в России, так и в Финляндии большое внимание уделялось состоянию водных ресурсов. В Постановлении Совета Министров СССР от 22 апреля 1960 г. № 425 «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР» [1] была дана оценка состояния водных ресурсов на территории Советского Союза и определены меры по улучшению качества вод, их рационального использования. Создавались государственные органы, которые должны были координировать все работы по водохозяйственным объектам, затрагивающим интересы смежных республик и пограничных государств. В Финляндии в 1961 г. был принят новый Водный Кодекс.

23 июня 1960 г. был подписан Договор между Правительством (СССР) и Правительством Финляндской Республики о режиме советско-финляндской государственной границы и о порядке урегулирования пограничных инцидентов, в котором были определены, в том числе, пограничные воды и требования по их содержанию в чистоте, обмене информацией о количестве вод и состоянии льдов во время половодья и ледоходов, о порядке охраны и разведения рыбы и т.п.

Надо отметить, что общая протяженность границы между Российской Федерацией и Финляндской Республикой составляет 1300 км и проходит от Финского

собой в наблюдении за состоянием качества воды пограничных водных систем и в принятии мер по улучшению самоочищающей способности этих водных систем.

В целях рассмотрения всех вопросов, указанных в Соглашении, принятия по ним соответствующих решений была создана Комиссия.

Решение Комиссии, принятое при обоюдном согласии, обязательно для обеих Сторон, и имеет такую же правомочность и исполнительную силу, как и решение органов власти или судебных учреждений соответствующего государства.

В целях обеспечения всестороннего рассмотрения вопросов, по которым Комиссия принимает решение, в настоящее время созданы две рабочих группы: по комплексному использованию водных ресурсов и по охране вод.

В состав Комиссии и привлекаемых ею экспертов входят представители следующих органов власти и организаций:

- с Российской стороны: Федеральное агентство водных ресурсов, Невско-Ладожское бассейновое водное управление, Двинско-Печорское бассейновое водное управление, филиал «Балтводхоз» ФГБВУ «Центррегионводхоз», Министерство иностранных дел России, Пограничное управление ФСБ России, Северо-Западное территориальное управление Росрыболовства, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», ФГБУ «Северо-Западное УГМС» Росгидромета, Северо-Западное управление Ростехнадзора, Комитет по природным ресурсам Ленинградской области, ПАО «ТГК-1»;

- с Финляндской стороны: Министерство сельского и лесного хозяйства, Министерство иностранных дел, Министерство окружающей среды, Центр экономического развития, транспорта и окружающей среды Юго-Восточной Финляндии, Центр экономического развития, транспорта и окружающей среды Северной Финляндии, Институт окружающей среды, Институт природных ресурсов, Пограничная охрана Финляндии, Компания Fortum Power and Heat OY.

Изначально Комиссия большое внимание уделяла вопросам, связанным с охраной вод, определением качества воды в водных объектах и нагрузки на них. В результате были определены водные объекты, на которые оказывается наибольшее антропогенное воздействие, определены места отбора проб, согласованы методы отбора проб, перечень и методики анализа загрязняющих веществ. Стороны договорились в отношении следующих водных объектов: рек Хиитола, Вуокса, Селезнёвка, Серьга, оз. Нуйямаанярви, Сайменского канала, на которых необходимо вести мониторинг нагрузки от точечных источников, мониторинг качества вод, оценивая состояние водных объектов в соответствии с требованиями законодательства Сторон.

Большое внимание уделяется работе по сопоставимости результатов, которая оценивается каждый второй год путем проведения контрольного теста, когда пробы отбираются совместно в одной точке, и, кроме того, анализируются подготовленные каждой стороной синтетические пробы по выбранным показателям.

Стороны регулярно обмениваются информацией и готовят совместные отчеты о качестве воды в водных объектах и нагрузке на водные объекты от точечных источников, в которой анализируют и отражают изменение качества водных объектов и влияющие на это факторы.

За годы сотрудничества нагрузка на водные объекты была значительно снижена как на финляндской, так и на российской сторонах за счет более рационального использования вод, внедрения более эффективных и экологически чистых технологий производства продукции, улучшения качества очистки сточных вод.

В последние 10 лет финляндской стороной проводится работа по улучшению качества воды р. Селезнёвка, которая испытывает высокую нагрузку от сбросов хозяйственно-бытовых сточных вод г. Лаппеенранта и производственных сточных вод целлюлозно-бумажного комбината. Комиссией были приняты решения о необходимости

строительства новых очистных сооружений и проведении работы по определению альтернативного приемника сточных вод. В связи с этим Финляндской стороной была разработана методика Оценки воздействия на окружающую среду - ОВОС, в соответствии с которой было предложено 5 альтернативных точек сброса сточных вод и несколько вариантов состава очистных сооружений и технологий очистки сточных вод. ОВОС была представлена российской стороне для ознакомления и выражения мнения по данному вопросу. Комиссией были учтены мнения различных ведомств и принято решение рекомендовать финляндской стороне в качестве приемника сточных вод оставить р. Селезневка, выбрав наиболее эффективный метод очистки сточных вод, и строительство новых очистных сооружений. В настоящее время в Финляндии проводится процедура получения разрешения на природопользование, связанное с новыми очистными сооружениями г. Лаппеенранта. При этом реализуются и иные мероприятия по улучшению качества воды в р. Селезневка: проведены восстановительные работы на оз. Хаапаярви, расположенного в русле реки, осуществляется строительство блока доочистки на действующих очистных сооружениях, принимаются меры по снижению диффузной нагрузки с сельскохозяйственных территорий.

В 2020 г. на российской территории качество воды в реке Селезневка улучшилось и было отнесено к классу 3 «а» загрязненные, на финляндской стороне качество относится к IV-V классам (посредственное-плохое).

Комиссия продолжает вести мониторинг реализации водоохранных мероприятий по повышению качества вод р. Селезневка, что особенно важно, так как река является ценным водным объектом как место нереста лососевых рыб.

Стороны активно взаимодействуют по вопросам, связанным с обеспечением свободного прохода рыбы на нерест. По поручению Комиссии экспертами по рыбному хозяйству составлен Список плотин и других препятствий на путях миграции рыб в пограничных водоемах на территории Финляндии и России (далее – Список). Определена необходимость ликвидации ряда плотин и их остатков. На финляндской стороне разработан проект развития р. Хиитола, в рамках которого планируется ликвидация 3-х ГЭС, в результате чего рыба получит доступ к порожистым участкам в верховьях реки. На российской стороне проводится работа по возможности организации ликвидации 2-х плотин на р. Селезневка. Сторонами проводится работа по актуализации Списка на основе полевых осмотров русел рек, который будет проводиться каждой стороной на своей территории, в соответствии с согласованной программой. Сторонами готовится совместная анкета результатов полевых осмотров, данные которых должны стать основой для совместной программы мониторинга дна и берегов пограничных водных объектов. Целью программы будет наблюдение не только за проблемными для прохода на нерест мигрирующих видов рыб участками водных объектов, но и для планирования мероприятий по увеличению пропускной способности и уменьшения негативного воздействия вод.

В целях наиболее эффективной работы по сохранению запасов рыбы и обеспечению рыболовства в богатых лососями и сигадами пограничных водных системах на 53-й сессии Комиссии было поддержано предложение, подготовленное финляндской стороной, о создании Российско-Финляндской комиссии по вопросам рыбного хозяйства. Финляндской стороной был подготовлен текст «Меморандума о взаимопонимании в области рыбного хозяйства на пограничных водных системах» и направлен российской стороне по дипломатическим каналам.

Результатом 4-летней работы стал подписанный 24 апреля 2018 г. между Российской Федерацией и Финляндской Республикой «Меморандум о взаимопонимании между Федеральным агентством по рыболовству (Российская Федерация) и Министерством сельского и лесного хозяйства Финляндской Республики в области развития, мониторинга и научных исследований в сфере рыбного хозяйства в

пограничных водных системах России и Финляндии» (далее – Меморандум), что было отмечено на 56-й сессии Комиссии как очередной шаг к укреплению сотрудничества между странами.

Особо значимо сотрудничество Сторон, связанное с регулированием оз. Сайма и р. Вуокса, зарегулированная 4-мя ГЭС, 2 из которых находятся на территории России, а 2 – на территории Финляндии. Основные задачи, которые требуется при этом решить – это обеспечить наибольшую эффективность использования водных ресурсов при выработке электроэнергии, предотвратить или минимизировать ущербы от затопления территорий на финляндской и российской сторонах при высокой водности.

Для поддержания уровня воды в оз. Сайма на отметках, препятствующих затоплению прибрежных территорий, требуется осуществлять повышенные попуски из озера на плотине Тайнионкоски и холостые сбросы, приводят к уменьшению выработки электроэнергии на российских ГЭС. С другой стороны, повышение гребня плотины на Светогорской ГЭС в России привело к снижению выработки электроэнергии на Иматра ГЭС в Финляндии.

Последний вопрос был урегулирован посредством заключения Межправительственного Соглашения от 12 июля 1972 г. «Об энергетическом использовании участка р. Вуокса, ограниченного Светогорской ГЭС и Иматра ГЭС», в соответствии с которым устанавливались уровни верхнего бьефа Светогорской ГЭС, которые не должны превышать отметки нормального подпорного уровня + 43,2 м, при этом был определен размер потери мощности на Иматра ГЭС, который составил в пересчете на электроэнергию 19,9 млн. кВтч в год. С 1 июля 1972 г. российская сторона (собственник Светогорской ГЭС – ПАО «ТГК-1») компенсирует финляндской стороне (собственнику Иматра ГЭС - Компания Fortum Power and Heat OY) ежегодно задним числом поставки электроэнергии.

На урегулирование вопроса, связанного с предотвращением ущербов от паводков или маловодья на оз. Сайма и р. Вуокса понадобилось больше времени. Соглашение между Правительствами СССР и Финляндской Республики относительно правил регулирования оз. Сайма и р. Вуокса было подписано в Хельсинки в 1989 г. 26 октября и вступило в силу 9 октября 1991 г. Правила регулирования оз. Сайма и р. Вуокса (далее – Правила) установили, что «Попуски воды из оз. Сайма должны осуществляться таким образом, чтобы уровень воды в оз. Сайма и расход в р. Вуокса, по мере возможности, поддерживались нормальными. Если выявляется, что следует ожидать паводок выше нормального или низкий уровень воды, то, при первой возможности, можно приступать к такому изменению попусков, при котором ожидаемый ущерб можно заранее эффективно предотвратить.» Кроме того, в Правилах были установлены максимальная отметка оз. Сайма НН + 76,60 м, которую не следует превышать, и минимальная в период судоходства и иное время – НН + 75,10 м. При этом надо стараться поддерживать расход не менее 300 м³/с, если это не приведет к понижению уровня воды ниже естественного на данный период.

Финляндская сторона, в соответствии с Правилами, ежедневно следит за развитием водной обстановки в бассейне Вуоксы и выполняет расчеты по восстановлению естественной отметки оз. Сайма и его стоков в недельные периоды, давая предварительную оценку водной обстановки с ее ежемесячной проверкой, сообщая еженедельно по понедельникам. Российской стороне данные о режиме попусков на следующую неделю. Программа попусков обсуждается и согласовывается совместно Российской и Финляндской сторонами, с целью достижения лучшего для обеих Сторон результата, в целом.

В связи с изменением климата в последние годы участились случаи, когда, в соответствии с Правилами, было необходимо принимать решение об увеличении попусков из оз. Сайма выше 800 м³/с, что приводило не только к уменьшению выработки электроэнергии от холостых сбросов на российских ГЭС, но и к затоплению

российской территории в бассейне р. Вуокса. При этом продолжительность таких неблагоприятных периодов увеличилась. Для решения данной проблемы было предложено определить более четкие условия, при которых требуется начинать обсуждение необходимости увеличения или уменьшения попусков по отношению к естественным, чтобы, не превышая расхода в 800 м³/с или не снижая его до менее 300 м³/с, обеспечить установленные Правилами уровни оз. Сайма. Для решения этой проблемы был разработан Порядок взаимодействия Сторон по применению Правил. Благодаря такому заблаговременному увеличению попусков, начиная с ноября 2019 года, в 2020 году удалось предотвратить затопление территории как в Финляндии, так и в России, при этом потери электроэнергии от холостых сбросов на российских ГЭС были снижены.

Это только часть вопросов, которые были решены при взаимодействии Сторон в рамках сотрудничества России и Финляндии по использованию пограничных водных систем. Информацию о целях и задачах Комиссии, о достигнутых договоренностях и принятых решениях можно найти на сайте Комиссии <https://rajavesistokomissio.fi/ru/>

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ УЛЬДЗА (РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ И МОНГОЛЬСКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА)

Кашницкая М. А.¹, Болгов М. В.²

¹ Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии
«Планета», г. Москва

² Институт водных проблем РАН, г. Москва
E-mail: Marina-Sosnina1993@yandex.ru

Аннотация. На основе комплексирования данных наземных наблюдений и спутниковой информации изучен режим колебаний уровня Торейских озер и предложена модель водного баланса за период 1965-2018 гг. Дана оценка вероятных изменений гидрологического режима Торейских озер при строительстве гидротехнического сооружения на трансграничной р. Ульдза в монгольской части водосбора. Оценены возможные изменения гидрологического режима озер при сокращении притока воды на 10 и 20%. Рассмотрены возможные экологические последствия для региона Торейских озер при строительстве гидротехнического сооружения на реке.

Ключевые слова: Торейские озера, модель водного баланса Торейских озер, трансграничная река Ульдза.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE CONSTRUCTION OF A HYDRAULIC STRUCTURE ON THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE TRANSBOUNDARY ULDZA RIVER (RUSSIAN FEDERATION AND THE MONGOLIAN PEOPLE'S REPUBLIC)

Kashnitskaya M. A.¹, Bolgov M. V.²

Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", Moscow
Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. Based on the integration of ground-based observations and satellite information, the regime of fluctuations in the level of the Torey lakes was studied and a model of the water balance for the period 1965-2018 was proposed. An assessment of the probable changes in the hydrological

regime of the Torey Lakes during the construction of a hydraulic structure on the transboundary Uldza River in the Mongolian part of the catchment area is made. Possible changes in the hydrological regime of the lakes with a decrease in water inflow by 10 and 20% are estimated. Possible environmental consequences for the Torey Lakes region during the construction of the hydraulic structure on the river are considered.

Key words: Torey Lakes, water balance model for Torey Lakes, transboundary Ul'dza River.

Система Торейских озер, включающая бессточные озера Барун-Торей и Зун-Торей, расположена в юго-восточной части Забайкалья, на границе с Монгольской Народной Республикой (МНР). Озера составляют основу государственного природного биосферного заповедника «Даурский», через который проходит один из важнейших путей миграции большого числа видов перелётных птиц, а также входят в состав российско-монгольского объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО – «Ландшафты Даурии» [1]. Торейские озера являются водно-болотным угодьем, имеющим международное значение, в соответствии с Рамсарской конвенцией [2].

Озеро Барун-Торей имеет неправильную форму, вытянутую с севера на юг. Глубина оз. Барун-Торей относительно небольшая – около 4 м, длина 50,5 км, средняя ширина 11,1 км, площадь водной поверхности достигает 600 км². В оз. Барун-Торей впадают р.р. Ималка и Ульдза со среднегодовыми расходами 0,43 и 5,46 м³/с, соответственно. На восточном берегу оз. Барун-Торей соединяется протокой с оз. Зун-Торей, не имеющим притоков. Максимальная глубина оз. Зун-Торей составляет около 7 м, длина озера 22,6 км, средняя ширина 13 км при площади водной поверхности 300 км². Поступление воды из оз. Барун-Торей в оз. Зун-Торей по соединяющей протоке начинается при уровне воды в Барун-Торее 596,1 м БС. Таким образом, основным источником питания Торейских озер является трансграничная р. Ульдза (Улдз). Она берет начало в восточных отрогах хребта Хэнтэй и протекает преимущественно по степным равнинам северо-восточной части МНР, впадает в оз. Барун-Торей, образуя обширную дельту на территории Российской Федерации, в Забайкальском крае. Длина реки составляет 425 км, из них 409 км расположены в МНР. В Российской Федерации находится лишь устьевая часть реки длиной 16 км. Площадь водосбора — 26 900 км², 95 % из которых приходится на МНР. Водные ресурсы бассейна р. Ульдза имеют определяющее значение в сохранении Торейских озер и природы всего Даурского степного экологического региона, в целом (рис.1).



Рисунок 1 – Схема расположения озер и трансграничного водосбора:

- 1 – населенные пункты, 2 гидрологические посты, 3 – метеорологическая станция,**
- 4 – государственная граница, 5 – гидрологическая сеть, 6 – Торейские озера,**
- 7 – участок расположения гидротехнического сооружения**

Гидрологический режим Торейских озер характеризуется большой изменчивостью колебаний уровня, что обусловлено циклическими изменениями климата в исследуемом регионе. За последние 200-220 лет озера неоднократно высыхали и наполнялись с периодичностью около 30 лет [3]. Озера и нижнее течение р. Ульдза расположены в зоне «рассеивания» стока [4], в которой потери воды на фильтрацию из русел и испарение существенно превышают местный сток. Поэтому, по сравнению с соседними водосборами, маловодные периоды в притоке к озеру носят более выраженный, затяжной характер, что также отражается на водном балансе самого озера, увеличивая потери на фильтрацию при росте уровня воды.

В июле 2020 г., в результате анализа спутниковых изображений Земли, на территории МНР обнаружено гидротехническое сооружение на р. Ульдза, в 15 км от н.п. Наранбулаг в начальной стадии строительства. Строительство началось без согласования с российской стороной. По предварительным оценкам, строительство данного сооружения может вызвать существенное изменение составляющих гидрологического цикла реки, а в дальнейшем Торейских озер, что может привести к потере статуса Торейских озер как объекта Всемирного наследия.

По информации, находящейся в открытом доступе, известно, что строительство гидротехнического сооружения на р. Ульдза ведется в рамках реализации проекта «План управления бассейном р. Ульдза-Гол», в результате которого планируется создание водохранилищ в бассейне реки, регулирующих ее сток. Данный проект является составной частью монгольской программы «Синий конь» («Хух морь»), которая предусматривает перераспределение стока наиболее полноводных северомонгольских рек, трансграничных с Россией, на засушливый юг и юго-восток МНР (регион Гоби). Кроме того, предусмотрена их стыковка с водными ресурсами Автономной Внутренней Монголии – сопредельного с МНР обширного региона Китая. В ходе реализации программы планируется создание водоотводящих каналов длиной в 400-650 км от монгольских рек Южнобайкальского и Амурского бассейнов в южное и юго-восточное монгольско-китайское приграничье [5]. На официальном сайте о государственных закупках, в техническом задании, в проектной документации, размещенной к тендеру, заявлены следующие характеристики возводимого водохранилища на р. Ульдза: высота – 12 м, длина около – 700 м, объем – 27 млн. м³, площадь – до 10 км², функция – экологическое восстановление реки путем стабилизации стока [6].

Создание водохранилища будет сопровождаться изъятием воды из стока р. Ульдза, необходимым для его заполнения. Испарение с водной поверхности водохранилища приведет к увеличению продолжительности маловодных периодов и сокращению многоводных, а также, в целом, к более низким отметкам уровня воды в Торейских озерах. Нарушение естественных гидрологических циклов водности реки и озер приведет к неблагоприятным экологическим последствиям. В материалах [7] упоминаются следующие последствия создания плотины: затруднение миграции водных организмов и реколонизация пересыхающих водоемов; сокращение стока наносов, изменение режимов накопления и выветривания солей (изменение продуктивности водоемов); вторичные локальные, региональные и континентальные экологические и водохозяйственные последствия (например, изменение миграционных потоков и мест гнездования птиц с волнообразным сокращением их численности).

Для оценки возможных последствий гидротехнического строительства необходимо оценить влияние сокращения притока на гидрологический режим Торейских озер на основе восстановления и моделирования водного баланса озер, что,

при существующей системе наблюдений, возможно сделать с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

Материалы и методы исследования

Гидрологические наблюдения за оз. Барун-Торей проводилось в период 1965-1978 гг. В период 1979-1980 гг. отмечалось уменьшение акватории озера, в течение 1981-1982 гг. продолжилось интенсивное пересыхание озера. Поэтому наблюдения за уровнем и температурой воды были прекращены вследствие пересыхания обширной прибрежной зоны озера (до 8-15 км). Основным источником информации на сегодняшний день являются спутниковые данные.

Данные наблюдений на оз. Барун-Торей позволили Обязову В.А. рассчитать водный баланс за период 1965-1980 гг., а в дальнейшем, с коллективом авторов, используя данные эпизодических измерений, выполнить расчет изменения уровня воды в озере до 2009 г. [8].

Для восстановления характеристик уровня озера за период 1979-2018 гг. использованы материалы наблюдательной сети Росгидромета (оз. Барун-Торей – с. Кулусутай (1965-1978 гг.), р. Ульдза – с. Соловьевск (1965-2018 гг.), р. Ималка – н.п. Красная Ималка (1965-2018 гг.), с. Соловьевск (1965-2019 гг.)) и многоспектральные изображения Земли космических аппаратов серий Landsat и Sentinel-2, с пространственным разрешением 30 и 10 м, соответственно (1989-2020 гг.). Спутниковые данные, используемые в работе, находятся в открытом доступе (earthexplorer.usgs.gov) и имеют географическую привязку, геометрическую и радиометрическую коррекцию. Учитывая линейные размеры Торейских озер, исходные спутниковые данные являются приемлемыми для исследования (обеспечивают необходимую точность восстановления уровней воды).

В основе расчетов восстановленных уровней Торейских озер по данным наземных наблюдений за период 1965-2018 гг. лежит уравнение водного баланса:

$$P+Y-E-Z=\Delta H,$$

где P – осадки на водную поверхность (по метеорологической станции Соловьевск);

Y – суммарный приток р.р. Ималка и Ульдза в оз. Барун-Торей;

E – испарение, рассчитанное по методике [9], Z – дополнительные потери, учитывающие рассеивание стока.

Для калибровки балансовой модели озер использовались результаты работ Обязова В.А., а также представления о возможных потерях воды в разные циклы водности.

Для восстановления уровня озер по спутниковым данным за период 1989-2020 гг. использовалась цифровая модель рельефа местности, с помощью которой, с шагом по высоте 50 см, построены графики зависимости уровня воды озера от его площади водной поверхности и объема $H=f(S)$, $H=f(W)$. По спутниковым изображениям Земли определялась площадь водного зеркала Торейских озер на основе наиболее точно определяющего границу «суша-вода» спектрального водного индекса MNDWI, рассчитываемого по формуле [10, 11]:

$$MNDWI = \frac{green-swir}{green+swir},$$

где *green* – отражение в зеленом участке спектра; *swir* – отражение в коротковолновом инфракрасном участке спектра.

Оценка точности восстановления уровней озер данным методом проведена с учетом погрешности измерений на каждом этапе вычислений, и составила в среднем 4,2 см.

Основные результаты и выводы

В результате проведенных расчетов получены два многолетних ряда значений уровня воды в Торейских озерах. За период с 1965 по 2018 гг. ряд среднегодовых уровней рассчитан по модели водного баланса озера Барун-Торей (рис. 2) и Зун-Торей. За период отсутствия инструментальных наблюдений за уровнем воды (1989-2020 гг.) уровни озера восстановлены по спутниковым данным. Полученные ряды данных согласованы, коэффициент корреляции «г» для оз. Барун-Торей составляет 0,98, для оз. Зун-Торей – 0,99.

В многолетнем изменении уровня Торейских озер прослеживается цикличность. В 1965 г. отмечался максимальный уровень озера, в последующие годы происходило уменьшение уровня воды с достижением минимальных значений в 1982-1983 гг. После наблюдалось наполнение озера. Максимальное значение уровня в Барун-Торее было в 1999 г., а в Зун-Торее – в 1998 г. Затем на озерах отмечалось уменьшение уровня воды, которое происходит до настоящего времени. Отметим, что по спутниковым данным в период 2009-2020 гг. регулярно отмечалось практически полное высыхание котловины озера Барун-Торей, а с 2017 – оз. Зун-Торей. Информация, получаемая с космических аппаратов, позволяет отслеживать наполнение котловины озера, обусловленное выпадением атмосферных осадков, что показано на рис. 2. Относительно стабильное наполнение оз. Барун-Торей началось в сентябре 2020 г.

Достоверность полученной модели водного баланса подтверждается совместным анализом графиков изменения уровня оз. Барун-Торей, построенных по данным наземных гидрологических измерений и по данным спутникового мониторинга. На основе полученных данных появилась возможность оценить изменения гидрологического режима Торейских озер с учетом строительства гидротехнического сооружения на р. Ульдза.

Для предварительной оценки влияния водохранилища на р. Ульдза на гидрологический режим Торейских озер были проведены расчеты с использованием сокращенных значений притока на 10 и 20% (рис 2).

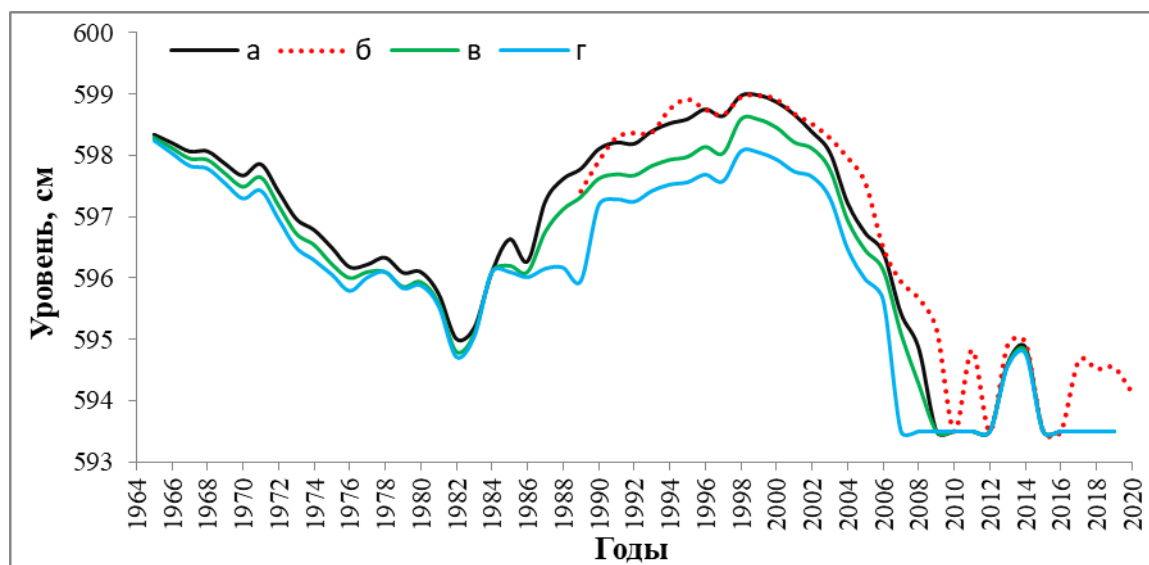


Рисунок 2 – Многолетнее изменение уровня режима озера Барун-Торей, полученного методами: а – водного баланса; б – восстановленные по спутниковым данным, в – водного баланса, сокращенные на 10%, г – водного баланса, сокращенные на 20%.

Результаты расчетов с использованием сокращенных значений притока на 10 и 20% показывают снижение уровня воды в озерах в среднем на 0,3 и 0,5 м.,

максимальное снижение уровня отмечается в период повышенной водности и составляет 0,6 и 1,1 м., соответственно. При этом, при сокращении притока на 10%, сохраняются годы начала периодов максимального и минимального наполнений озер и его высыхания. При сокращении притока на 20% наблюдается более длительный период с низким уровнем воды в годы наполнения озер, а высыхание озер начинается на 2 года ранее [12].

Изменение и смещение во времени гидрологических циклов Торейских озер, а также уменьшение их водности, способно привести к неблагоприятным последствиям для всего экологического региона Торейских озер. В период маловодной фазы (высыхание озер) сотрудниками Даурского заповедника отмечалась гибель водных организмов. Другим следствием уменьшения водности озер является изменение видового состава водоплавающих и околоводных птиц, а впоследствии – их существенное снижение [13].

Увеличение продолжительности маловодной фазы гидрологического цикла Торейских озер способно привести к изменению миграционных путей водоплавающих птиц. Например, в период 1999-2009 гг. численность уток в степной зоне Забайкальского края, в том числе в регионе Торейских озер, сократилась в 59 раз, когда миграционный путь сместился на восток, к Предгорью Большого Хингана и на запад – в район Хэнтэя [14].

Список литературы

1. Буторин А. А. Ландшафты Даурии – новый российский объект Всемирного наследия. Вестник Комиссии РФ по делам ЮНЕСКО, 2017, № 32, с. 116–143.
2. Torey Lakes [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rsis.ramsar.org/ris/683> (дата обращения: 16.04.2021).
3. Оязов В. А. Закономерности увлажнения степной зоны Забайкалья и их проявления в режиме озер (на примере Торейских озер): автореф. дис. ...канд. геогр. наук. Чита, 1996, 21 с.
4. Болгов М. В. Дождевые паводки водотоков Монгольской народной республики. Метеорология и гидрология, 1985, № 8, с. 83–88.
5. На российско-монгольской границе может возникнуть зона экологического бедствия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.igras.ru/news/2864> (дата обращения 15.05.2021)
6. Улз голын урсцыг нэмэгдүүлэх "Онон-Улз" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tender.gov.mn/en/invitation/detail/1570643029346> (дата обращения 15.05.2021)
7. Симонов Е.А., Кирилюк В.Е. Ход «Синим конем»: трансграничные риски стратегий климатической адаптации и «климатических обязательств» на примере Монголии. // Материалы междунар. конф. СВО ВЕКЦА «Трансграничное водное сотрудничество в странах ВЕКЦА: извлеченные уроки и направления будущего развития». 2-3 марта 2021 г., видеоконф.
8. Kirilyuk V. E., Obyazov V. A., Tkachuk T. E., Kirilyuk O. K. Influence of climate change on vegetation and wildlife in the Daurian Eco-region. Eurasian steppes. Ecological problems and livelihoods in a changing world. Springer, Dordrecht, 2012, с. 397-424.
9. Браславский А. П., Викулина З. А. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Л.: Гидрометеиздат. 1969.
10. Вахнина И. Л., Носкова Е. В., Голятина М. А. Особенности изменения площадей водного зеркала и количества озер степной зоны Восточного Забайкалья. Вестник ВГУ. Сер.: Геогр. Геоэкол., 2020, № 3. С. 13–23.
11. Xu H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. – International Journal of remote Sensing, 2006, №27, p. 3025-3033.

12. Кашницкая М.А., Болгов М.В. Бессточные Торейские озера: можно ли дать прогноз изменений гидрологического режима? Метеорология и гидрология, 2021, №5, с.95–98.

13. Кирилюк О.К., Симонов Е.А. Проблемы адаптации к изменению климата в бассейнах рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты. 2012. Сб. науч. тр. Гос. природ. биосфер. заповедника «Даурский». Вып.5. / под ред. Кирилюк О.К., Симонова Е.А. Чита: Экспресс-изд-во. 180 с.

14. Горошко О.А. Влияние многолетних климатических циклов на орнитокомплексы Даурии. // Материалы науч. конф. «Эволюция биогеохимических систем (факторы, процессы, закономерности) и проблемы природопользования» и симпозиума «Геоэкологические, экономические и социальные проблемы природопользования» посв. 30-летию ИПРЭК СО РАН. 27-30 сентября 2011 г., Чита, Россия. Чита: Изд-во ЗабГПУ. С.141-143.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ ТОРЕЙСКИХ ОЗЕР ПЛОТИНЫ, СТРОЯЩЕЙСЯ НА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКЕ УЛЬДЗА В МОНГОЛИИ

*Кирилюк В.Е.¹, Обязов В.А.², Шаликовский А.В.³, Курганович К.А.³, Босов М.А.³,
Никитина О.И.⁴, Горошко О.А.¹*

¹ФГБУ «Государственный заповедник «Даурский», Забайкальский край

²Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», г. Санкт-Петербург

³Восточный филиал ФГБУ РосНИИВХ, Чита

⁴Всемирный фонд дикой природы (WWF России), Москва

E-mail: vkiriliuk@bk.ru, onikitina@wwf.ru

Аннотация. В 2020 году на р. Ульдза на территории Монголии началось строительство плотины, представляющей угрозу для экосистемы Торейских озер, расположенных на юге Забайкальского края России и в составе российско-монгольского объекта «Ландшафты Даурии», включенных в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. Для предварительной оценки воздействия строящейся плотины использованы данные многолетнего гидрометеорологического мониторинга на российской территории бассейна Ульдзы. В оценке применяются заявленные в тендерной документации параметры проектных характеристик плотины. Проанализированы временные и пространственные изменения основных климатических характеристик в Онон-Аргунском междуречье, их связь со стоком р. Ульдза и гидрометрическими характеристиками Торейских озер. Используются результаты многолетнего мониторинга экосистемы Торейских озер, прежде всего динамики населения птиц и их миграций. Проведена оценка влияния плотины на сток реки при разных сценариях. Сделаны выводы, что строительство плотины не только не будет иметь ожидаемого экономического эффекта, но и окажет опасное воздействие на экосистему Торейских озер и может привести к существенной утрате биоразнообразия, в первую очередь водоплавающих и околоводных птиц Восточной Азии.

Ключевые слова: водохранилище, гидрологический режим, многолетние циклы водности, Даурский экологический регион, пролетный путь.

PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE DAM CONSTRUCTION ACROSS THE TRANSBOUNDARY ULZ RIVER IN MONGOLIA ON THE TOREY LAKES ECOSYSTEM

*Kiriliuk V.E.¹, Obyazov V.A.², Shalikovskiy A.V.³, Kurganovich K.A.³, Bosov M.A.³,
Nikitina O.I.⁴, Goroshko O.A.¹*

¹State Nature Reserve "Daurisky", Zabaikalsky Krai

²Scientific and Industrial Research Association Gidrotehproekt Ltd, St. Petersburg

³Eastern Branch of Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh), Chita

⁴World Wide Fund for Nature (WWF-Russia), Moscow

Abstract. In 2020, the construction of a dam on the Ulz River in Mongolia began. The dam-building poses a threat to the ecosystem of the Torey Lakes located in the south of the Zabaikalsky Krai, Russia. These lakes are a part of the Russian-Mongolian Landscapes of Dauria site, included in the UNESCO World Heritage list. For a preliminary assessment of the dam's impact under construction, we used long-term hydrometeorological monitoring data obtained in the Russian part of the Ulz basin. For the evaluation, we used the parameters of the design characteristics of the dam declared in the tender documents. Also, we analyzed the temporal and spatial changes in the main climatic features in the Onon-Argun interfluvial area. We inspected their relationship with the Ulz River flow and the hydrometric characteristics of the Torey lakes. We used the results of the long-term monitoring of the Torey Lakes ecosystem, primarily the dynamics of the bird population and their migrations. We assessed the impact of the dam on the river flow under different scenarios. We concluded that the dam construction will not have the expected economic effect but will cause a dangerous impact on the Torey Lakes ecosystem and may lead to a significant loss of biodiversity, primarily waterbirds and waterfowl of East Asia.

Key words: reservoir, hydrological regime, long-term water cycles, Daurian ecoregion, flyway.

Введение

В июле 2020 г. на р. Ульдза (монгол. Улз-Гол) на территории Монголии началось строительство плотины для создания водохранилища. В технико-экономическом обосновании проекта, выставленного на торги в 2019 г., победителем которых стала компания Вэлмот ХХК, указаны следующие параметры строящегося гидроузла: высота плотины 9–12 м, длина – 672 м, объем водохранилища – 26,9 млн м³, площадь зеркала водохранилища – 10,2 км² при отметке уровня 821 м [1]. В заявленных в тендерной документации задачах строительства водохранилища значатся водохозяйственные нужды и «экологическое восстановление реки путем стабилизации стока», что предполагается осуществлять в виде дополнительного ежедневного сброса 150 тыс. м³ воды из водохранилища в течение маловодного периода. Представленное в тендерной документации обоснование строительства водохранилища не учитывает многолетнюю вариабельность стока реки и дополнительные потери от испарения.

Акцент на негативные последствия аридизации последних двух десятилетий, приведшим к снижению водности р. Ульдза и других водных объектов, сделан в стратегических государственных документах, например, в Плане комплексного управления водными ресурсами р. Ульдза, разработанного Центром экологического образования и развития Монголии в 2013 г. [2], и в Плане интегрированного управления водными ресурсами Монголии, разработанного Министерством окружающей среды и «зеленого» развития Монголии в 2013 г. [3]. В указанных планах нет внятного анализа многолетней динамики водности р. Ульдза, что может быть как следствием отсутствия длительных рядов инструментальных наблюдений, так и попыткой обострения проблемы для повышения инвестиционной значимости проектов, подобных строящемуся гидроузлу. В настоящей работе проведена предварительная

оценка влияния создаваемого на р. Ульдза водохранилища на экосистему Торейских озер с учетом выявленных многолетних циклических изменений водности.

Характеристика р. Ульдза и Торейских озер

Впадающая в бессточные Торейские озера р. Ульдза – крупнейшая по длине и площади бассейна река их водосбора, одна из основных рек Даурского экологического региона. Ее длина составляет 425 км (из них 16 км в пределах России), площадь бассейна 26,9 тыс. км² (1450 км² в России). Среднемноголетний расход воды 5,34 м³/с (объем стока 0,169 км³/год). Питание реки преимущественно дождевое. Бассейн реки мало заселен, вдоль реки находятся четыре населенных пункта в Монголии и один – в России [4]. Сток реки в Монголии используется для водоснабжения населения, отрасли животноводства, а также минимум двух объектов горнорудной промышленности [2, 3]. Многолетние колебания стока р. Ульдза задаются режимом атмосферных осадков, имеющим в этом регионе хорошо выраженный циклический характер [5]. Продолжительность наиболее значимого внутривекового цикла как в осадках, так и в стоке данной реки, составляет 25–30 лет. Межгодовые изменения стока р. Ульдза имеют высокую степень согласованности с его изменениями в других реках Онон-Аргунского междуречья: коэффициенты парной корреляции между рядами их средних годовых расходов воды находятся преимущественно в пределах от 0,7 до 0,8.

Однако отличительной особенностью р. Ульдза от других рек региона является чрезвычайно высокая вариация годового стока. По нашим расчетам, коэффициент вариации годового стока $Cv = 1,42$, что является аномальным даже для засушливых районов. Суточный сток на пике высоких паводков превышает годовой сток наиболее засушливых лет (2007, 2018, 2019 гг.) в 20–50 раз, а суммарный сток за многоводную фазу (1984–1999 гг.) превысил сток за маловодную фазу (2000–2019 гг.) в 500 раз.

Поскольку сток Ульдзы наряду с атмосферными осадками являются главными элементами приходной части водного баланса Торейских озер, их многолетняя динамика хорошо согласуется с колебаниями уровня озер. Особенно сильным влияние стока Ульдзы было в период с 1965 по 2009 гг., когда коэффициент корреляции этой связи составлял 0,79. За последние 11 лет, в условиях существенного снижения ее стока при возрастании испарения, связь уровня воды озер и стока реки несколько ослабла. Проведенные ранее исследования показали, что за прошедшие сто с небольшим лет озера прошли маловодную фазу три раза и колебания их водности, в целом, совпадали с колебаниями стока Шилки – наиболее крупной реки региона [6, 7]. В 1999 г. Торейские озера достигли пика последней многоводной фазы. В последующую маловодную фазу в 2009 г. полностью высох Барун-Торей, а в 2018 г. – Зун-Торей, имеющий большую глубину и объем воды.

Прогнозное влияние плотины на сток реки и режим Торейских озер

Объем дополнительных потерь, связанных с функционированием водохранилища и одного из построенных в 2017–18 гг. источников нового водопотребления – оросительной системы, рассчитанных от нормы стока и среднемноголетнего значения стока, составляет 2–3%. В условиях выраженной циклической вариабельности стока такие незначительные потери дают искаженное представление о реальном влиянии. Наполнение водохранилища в многоводную фазу также будет малозаметным, но его малый объем приведет к сценариям, описанным ниже.

Для оценки целесообразности строительства водохранилища рассмотрено несколько вариантов регулирования стока на основе фактических характеристик водности реки за 2001–2020 гг., т.е. за маловодную фазу. Согласно варианту 1, водохранилище уже существует и наполнено, холостые сбросы производятся при наполнении водохранилища до нормального подпорного уровня (НПУ). Дополнительный водозабор на работу оросительной системы и других значимых

источников отсутствует. Потери включают лишь испарение с поверхности водохранилища. Согласно проведенным вычислениям, сбросы воды из водохранилища отсутствовали бы на протяжении 12 из 20 лет при сопутствующих потерях суммарного стока около 80 млн м³ (32% стока за 20 лет). В вариант 2 заложены те же условия, что и при варианте 1, но учтена также реализация экологического попуска величиной 18 млн м³/год для года с 90% обеспеченностью стока. В этом случае потери стока составили бы около 25%; экологические попуски не обеспечивались бы в 11 из 20 лет из-за высыхания водохранилища, что, в свою очередь, уменьшило бы и потери на испарение. В вариант 3 также заложены условия варианта 1, но учтен также дополнительный забор воды на орошение построенной ниже по течению реки ирригационной системы площадью около 2100 га (поливные нормы рассчитаны от уровня осадков в 2001–2020 гг.). В этом случае сбросы воды из водохранилища отсутствовали бы в 14 из 20 лет, а потери стока составили бы около 121 млн м³ (49%); в отдельные годы наблюдался бы дефицит воды для орошения. Еще более катастрофичными выглядят сценарии, учитывающие необходимость стартового наполнения водохранилища в маловодную фазу. Например, в этих условиях попытка обеспечить потребности указанной системы орошения приведет к потере 71% стока.

Таким образом, строительство водохранилища не имеет смысла для многоводной фазы гидрологического цикла: воды в бассейне в этот период в избытке для всех текущих нужд. Регулирование стока с помощью строящегося водохранилища в маловодную фазу цикла может привести к серьезному или катастрофическому иссушению низовой реки и негативно сказаться на экосистеме Торейских озер.

Проведенная нами оценка показала, что на фоне продолжающегося быстрого потепления в Онон-Аргунском междуречье продолжается аридизация территории (на 2°C после 1952 г.) с ярко выраженными циклическими изменениями увлажненности. В расположенной в степной зоне Торейской котловине потепление климата выражено особенно сильно. Отмеченные тренды могут усилить обусловленные строительством плотины негативные тенденции на Торейских озерах как для сухого, так и для влажного периодов. Предпринятая нами попытка прогнозного моделирования влияния строящегося гидроузла показывает, что при оптимистичном сценарии (повторение климатического цикла, при котором стартовые условия в 2021 г. приняты как в 1957 г.) влияние практически не проявляется. При негативных сценариях (из выборки случайных сценариев, смоделированных по методу Монте-Карло [8]), продолжительность периодов пересыхания озер возрастает в 2–4 раза. Поспешные темпы строительства плотины без совместного российско-монгольского изучения проекта могут привести к негативным и трудно обратимым последствиям для экосистем региона. Примером может служить реализуемая с 2009 г. переброска стока в бассейне другой трансграничной р. Даурия – р. Аргунь. Сток по построенному каналу отводится из р. Хайлар в оз. Далайнор. В исследовании А.В. Шаликовского и соавторов [9] перечислены наблюдаемые экологические последствия: снижение меженных расходов р. Аргунь в 3–5 раз, сокращение повторяемости и продолжительности затопления поймы, угнетение пойменной растительности. В условиях переброски стока подъем уровня воды в озере наблюдается только в многоводные годы, в остальные периоды объем переброски стока расходуется на испарение. Авторы отмечают, что при обосновании необходимости переброски стока не учитывалось, что озера данной территории являются «пульсирующими» и в маловодные периоды уменьшаются вплоть до пересыхания.

Глобальное экологическое значение Торейских озер

В 2017 г. Российско-монгольская территория «Ландшафты Даурии», в пределах которой расположены Торейские озера, получила высокий статус объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО. Естественные колебания водности р. Ульдза, определяющей водность Торейских озер, являются необходимым условием соответствия критериям,

по которым объект «Ландшафты Даурии» внесен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. Уникальность озер обусловлена малой глубиной, высокой амплитудой солености и периодическим высыханием, приводящим к циклическим всплескам биопродуктивности, имеющим экорегиональное значение.

Торейские озера имеют статус водно-болотных угодий международного значения, охраняемых положениями Рамсарской конвенции – Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом, в качестве местообитаний водоплавающих птиц. Торейские озера имеют глобальное значение для сохранения десятков видов птиц, мигрирующих по Восточно-Азиатско-Австралийскому пролетному пути, среди которых 21 глобально угрожаемый вид Международного союза охраны природы, МСОП (категории: CR, EN, VU). Численность следующих видов составляет значимую долю мировой популяции: сухонос – 17%, реликтовая чайка – 20%, стерх – 1%, даурский журавль – 4%, чёрный журавль – 12%, дрофа (восточный подвид) – 1%. На Торейских озёрах находится одно из пяти достоверно известных в мире мест регулярного гнездования реликтовой чайки. Здесь расположены одни из крупнейших в Азии и в мире места предмиграционных скоплений журавлей, уникальные по видовому разнообразию (до 44000 журавлей 5 видов). Еще большее значение Торейские озера имеют в совокупности с расположенным ниже строящейся плотины участком поймы р. Ульдза. Торейские озера относятся к полутора-двум десяткам ключевых водно-болотных угодий Восточной Азии, от которых зависит существование не только исчезающих видов, таких как реликтовая чайка и даурский журавль, сухонос, но и многих «обычных» водоплавающих и околоводных птиц. На Торейских озерах в фазе наполнения и первую половину фазы высыхания размножаются 49 видов водоплавающих и околоводных птиц. Общее количество водоплавающих и околоводных птиц, мигрирующих через Торейские озера, достигает 3 млн. особей в весенний период и более 6 млн. – в осенний. Для многих видов озера особенно важны как места восстановления сил для весеннего перелета через лесную зону к участкам гнездования в тундре. А тростниковые плавни дельты Ульдзы – важное место отдыха и кормежки десятков миллионов воробьиных птиц, гнездящихся в таежной зоне.

Ключевых водно-болотных угодий, подобных Торейским озерам, способных поддерживать «взрывоподобное» циклическое воспроизводство популяций птиц, а также обеспечивать достаточные условия для эффективных отдыха и питания во время миграции, в степной зоне Восточной Азии остались единицы. Из-за множества выполненных и планируемых гидротехнических трансформаций в бассейнах рек Аргунь/Хайлар, Хуанхэ и Янцзы, а также на реках и озерах Монголии [10] наиболее важные водно-болотные угодья быстро утрачивают свое значение, что повышает глобальную ценность каждого из немногих остающихся ключевых водоемов и участков водотоков. Угроза преобразования Торейских озер, как одного из них, приведет к заметному сокращению численности или исчезновению популяций около 100 видов птиц и ускорит деградацию экосистем нескольких природных зон – от тундры до степи.

Общие выводы и предложения

1. Строительство плотины и последующее регулирование стока р. Ульдза угрожает утратой ключевой роли водно-болотного комплекса Торейских озер, что на фоне деградации других ценных водно-болотных угодий (в бассейне Аргуни, Хуанхэ, Янцзы) приведет к существенному снижению численности десятков видов водоплавающих и околоводных птиц Восточной Азии.

2. Строительство плотины на р. Ульдза не учитывает естественную циклическую динамику стока реки. Во влажную фазу цикла регулирующее значение плотины будет иметь мизерный эффект на сток. Функционирование водохранилища (в особенности при функционировании ирригационной системы) наиболее сильно отразится в

следующую сухую фазу цикла и может обусловить катастрофические экологические последствия.

3. В случае строительства данной плотины предметом переговоров по трансграничной р. Ульдза величина экологического стока (попуска) не может быть, так как образуемое водохранилище только за счет потерь воды на испарение с поверхности уже недопустимо сильно повлияет на сток в маловодный период.

4. Целесообразно добиваться лишь одного решения – прекращения строительства плотины и недопущения иных проектов на р. Ульдза, нарушающих естественный гидрологический режим.

5. Актуально проведение комплексных исследований по оценке влияния строящейся плотины на русловые процессы, обеспечение водными ресурсами низовий р. Ульдза и Торейских озер, включая подземные воды, на микроклимат в регионе и ресурсы водоплавающих и околоводных птиц в Восточной Азии (в совокупности с влиянием деградации поймы Аргуни из-за строительства в Китае канала Хайлар-Далайнор и других гидротехнических сооружений), в связи с глобальными и региональными климатическими изменениями.

Список литературы

1. Техничко-экономическое обоснование и дизайн проекта Онон-Ульдза по увеличению стока реки Ульдзы. Улан-Батор, 2019 / Улз голын урсацыг нэмэтдүүлэх Онон-Улз төслийн техник эдийн засгийн үндэслэл, зураг төсөл боловсруулах ажил. Улаанбаатар хот 2019 он [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tender.gov.mn/en/invitation/detail/1570643029346#tab_18_3 (Шороон боомтын зураг төсөл.pdf).

2. План комплексного управления водными ресурсами реки Ульдза. Улан-Батор: Центр экологического образования и развития, 2013. 105 с. / Ulz River Integrated Water Resources Management Plan. Centre for Environmental Education and Development. Ulaanbataar, 2013. 105 p. [Электронный ресурс] – Режим доступа: 10.13140/RG.2.2.19955.12329.

3. План интегрированного управления водными ресурсами Монголии. Улан-Батор: Министерство окружающей среды и «зеленого» развития, 2013. 341 с. / Integrated Water Management Plan of Mongolia. Ministry of Environment and Green Development. Ulaanbaatar, 2013. 341 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/mon169789.pdf>.

4. Улдза / Научно-популярная энциклопедия «Вода России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://water-rg.ru/Водные_объекты/1780/Улдза.

5. Обязов В.А. Пространственно-временная изменчивость атмосферных осадков в Юго-Восточном Забайкалье // Изв. РГО. 1996. Вып. 2. С. 73–80.

6. Обязов В.А. Связь колебаний водности озер степной зоны Забайкалья с многолетними гидрометеорологическими изменениями на примере Торейских озер // Изв. РГО. 1994. Вып. 5. С. 48–54.

7. Обязов В.А. Изменение климата и гидрологического режима рек и озер в Даурском экорегионе // Проблемы адаптации к изменению климата в бассейне рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты. Чита: Экспресс-изд-во. 2012. С. 24–45.

8. Виноградов Ю. Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: «Академия», 2010. 304 с.

9. Шаликовский А.В., Заслоновский В.Н., Курганович К.А., Босов М.А., Солодухин А.А., Шаликовский Д.А. Современная ситуация на пограничном участке реки Аргунь // Водное хозяйство России. 2018. № 2. С. 4–18. DOI: 10.35567/1999-4508-2018-2-1.

10. Симонов Е.А., Кирилюк В.Е. Ход «Синим конем»: трансграничные риски стратегий климатических адаптаций и «климатических обязательств» на примере Монголии // Опыт развития трансграничного водного сотрудничества в странах ВЕКЦА. Ташкент, 2021. С. 45–61.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВЫНОСОМ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С РЕЧНЫМ ВОДНЫМ СТОКОМ НА ТРАНСГРАНИЧНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

Клименко О.А.^{1,2}, Геков В.Ф., Чмыхов А. А.¹

¹ФГБУ «Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр», г. Ростов-на-Дону

²ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону

E-mail: info@gidrohim.com

Аннотация. В статье представлены предложения по усовершенствованию организации систематических гидрохимических наблюдений на трансграничных участках рек, разработанные на основе результатов наблюдений и расчета выноса загрязняющих веществ на трансграничных участках рек Днепр, Западная Двина и Сож за период 2010-2017 гг.

Ключевые слова: вещества, вынос, речной сток, усовершенствование наблюдений.

IMPROVING OBSERVATIONS OF THE TRANSFER OF CHEMICALS WITH RIVER WATER RUNOFF ON CROSS-BORDER SECTIONS OF RIVERS

Klimenko O.A.^{1,2}, Gekov V.F.², Chmikhov A. A.¹

¹ Federal State Budgetary Institution "Russian Information-Analytical and Research Water Management Center" (FSBI ROSINIVKHTS), Rostov-on-Don

²Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don

E-mail: info@gidrohim.com

Abstract. The article presents proposals to improve the organization of systematic hydrochemical observations on cross-border sections of rivers, developed on the basis of observations and calculation of the removal of pollutants on cross-border sections of the rivers Dnieper, Western Dvina and Sozh for the period 2010-2017.

Keywords: substances, takeaways, river runoff, improved observations.

Характеристики выноса (массопереноса) загрязняющих веществ с речным водным стоком являются существенным дополнением к оценкам качества воды в створах систематических гидрохимических наблюдений. Для перехода к качеству воды в данном случае используют значения сверхнормативного выноса (массопереноса) загрязняющих веществ. Весьма важными указанные характеристики являются для оценки влияния на качество речной воды притоков первого порядка и рассредоточенного поступления в реку загрязняющих веществ со склоновыми водами с водосбора и подземным водным стоком (доля количества сосредоточенного поступления загрязняющего вещества со сточными водами в общем его массопереносе с речным водным стоком в связи с повсеместной обязательной очисткой сточных вод и небольшими их расходами, как правило, находится в пределах погрешности используемых значений речного водного стока).

В результате исследования выноса (массопереноса) загрязняющих веществ на трансграничных участках р.р. Днепр, Западная Двина и Сож на российской территории и на территории Республики Беларусь за период 2015-2017 гг. было выявлено, что в створах систематических гидрохимических наблюдений в пределах многоводного и

маловодного периодов в годовом цикле или в целом, в годовом цикле во многих случаях имеют место достоверные статистические связи зависимости концентраций растворенных химических веществ от расхода речной воды ($C=f(Q)$). Было также установлено, что указанные статистические связи в выделяемых характерных периодах (сезонах) годового цикла обычно нелинейны и могут иметь противоположную направленность (например, в период половодья с увеличением расхода воды концентрация загрязняющего вещества увеличивается, в остальной период, с увеличением расхода воды, концентрация загрязняющего вещества снижается, т.е. сказывается эффект разбавления загрязненных вод).

Отсутствие учёта при расчете выноса вещества с речным водным стоком, наличие достоверных (значимых для расчета выноса) статистических связей типа $C=f(Q)$ при малом количестве проведенных наблюдений и высоких расходах речной воды, в случае положительной направленности зависимости концентраций вещества от расхода воды может приводить к существенному занижению рассчитанных значений выноса вещества, при отрицательной направленности данной зависимости – к завышению рассчитанных значений выноса вещества.

Пример изменения направленности статистической связи в разные периоды (сезоны) годового цикла в одном и том же створе наблюдения, полученный с использованием разработанной в ФГБУ «Гидрохимический институт» программы для персонального компьютера (ПК) представлен на рис. 1, 2.

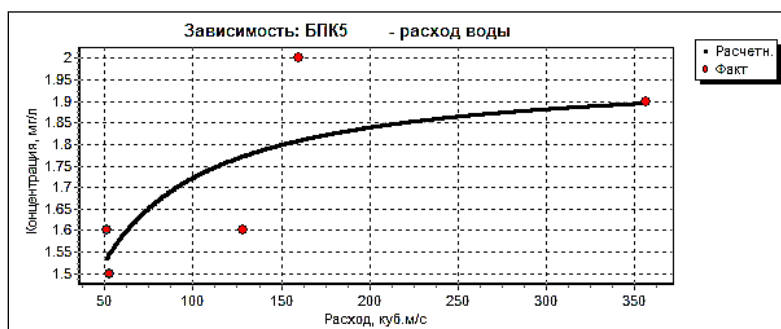


Рисунок 1 – Статистическая связь «значения БПК₅ – расход речной воды» (коэф. корреляции $r=0,79$) в р. Западная Двина в 0,5 км выше пгт. Сураж (Республика Беларусь) в период высоких расходов воды в реке (01-05 м-цы) 2015 г.

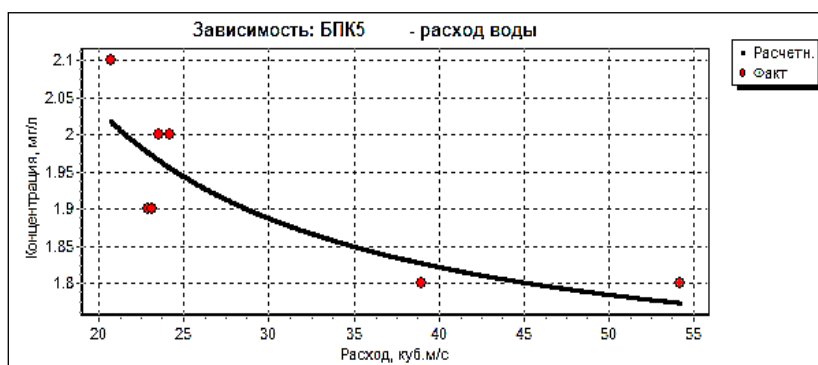


Рисунок 2 - Статистическая связь «значения БПК₅ – расход речной воды» (коэф. корреляции $r=0,85$) в р. Западная Двина в 0,5 км выше пгт. Сураж (Республика Беларусь) в период низких расходов воды в реке (06-12 м-цы) 2015 г.

В отдельные годы в целом, в одном и том же створе также может меняться направленность статистической связи типа $C=f(Q)$, что указывает на возможное

изменение условий формирования выноса рассматриваемого вещества в разные годы наблюдений (рис. 3, 4).

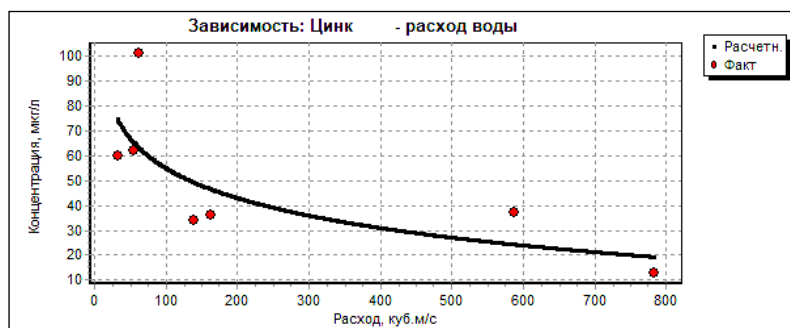


Рисунок 3 - Зависимость концентраций соединений цинка от расхода речной воды (коэф. корреляции $r=0,74$) в р. Западная Двина в 0,5 км выше пгт. Сураж (Республика Беларусь) в течение 2011 г.

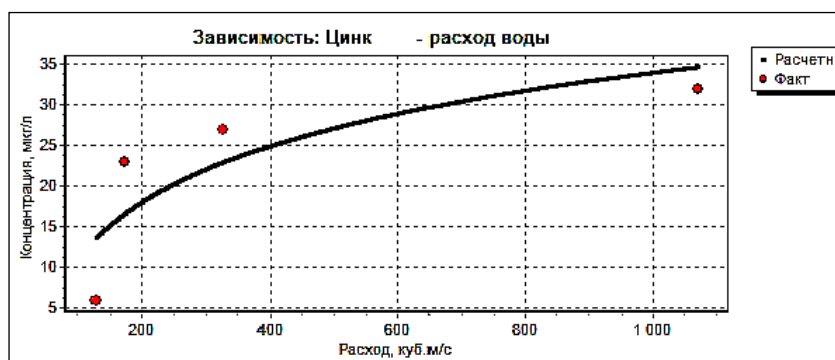


Рисунок 4 - Зависимость концентраций соединений цинка от расхода речной воды (коэф. корреляции $r=0,80$) в р. Западная Двина в 0,5 км выше пгт. Сураж (Республика Беларусь) в течение 2012 г.

Примечание - Статистическую связь типа $C = f(Q)$ для расчета выноса (массопереноса) вещества рекомендуется принимать значимой, если коэффициент корреляции составляет не менее $r = 0,60$ и отношение среднеквадратической ошибки связи к средней концентрации вещества равно не более 0,70. Если связь оказалась незначимой, то расчет выноса вещества выполняется с использованием обычной средней концентрации вещества за рассматриваемый период.

На исследованных трансграничных участках рек невозможность установления указанных статистических связей или получение в той или иной степени их искаженного вида обычно была связана с недостаточностью наблюдений при повышенных (особенно близких к максимальным) расходах речной воды в период половодья, а также в период отдельных значимо увеличивающих расход речной воды паводков. Кроме указанного, нередко имели место наблюдения в приграничных створах всего 3-4 раза в год, что для расчетов выноса (массопереноса) загрязняющих веществ следует считать недопустимым. В табл. 1 приведены годы с наиболее высокой разницей между измеренными в году максимальными расходами речной воды и максимальными расходами при проведении гидрохимических наблюдений на трансграничных участках рек.

Как следует из табл. 1, во многих случаях пробы речной воды отбирались далеко не при наблюдаемых максимальных расходах речной воды, что весьма

затрудняло или исключало возможность установления и использования для расчета выноса (массопереноса) загрязняющих веществ достоверных статистических связей типа $C = f(Q)$.

Таблица 1 - Максимальные расходы речной воды при проведении гидрохимических наблюдений и измеренные максимальные расходы речной воды в приграничных створах на территории Республики Беларусь и Российской Федерации

Год наблюдений	Максимальный расход воды при проведенных гидрохимических наблюдениях, м ³ /с	Максимальный измеренный в году расход воды, м ³ /с
Река Днепр		
Республика Беларусь		
2012	318	742
2013	428	959
Российская Федерация		
2012	462	640
2013	478	683
Река Западная Двина		
Республика Беларусь		
2010	646	1245
2013	435	1502
Российская Федерация		
2013	664	1290
2016	266	442
Река Сож		
Республика Беларусь		
2010	49,9	161,8
Российская Федерация		
2010	48,6	124
2011	18,2	162
2016	10,6	82,1

Поскольку массоперенос загрязняющего вещества, прежде всего, зависит от расходов речной воды, то естественно наблюдениями в обязательном порядке должны быть охвачены все выделяемые в годовом цикле характерные гидрологические периоды (сезоны), связанные как с существенным изменением расходов речной воды, так и с наличием или отсутствием на реке ледового покрытия. В частности, к таким характерным периодам следует относить подъем половодья (чаще всего в этот период происходит основной рост массопереноса загрязняющих веществ в годовом цикле), спад половодья (в конце половодья в талых водах возможно существенное изменение концентраций растворенных загрязняющих веществ) и период расходов речной воды, близких к пику половодья (в этот период чаще всего наблюдаются максимумы переноса загрязняющих веществ). Результаты наблюдений в указанные периоды крайне необходимы для корректного установления нелинейных статистических связей типа $C=f(Q)$. В целом, на период половодья должно приходиться не менее 5 гидрохимических съемок.

Далее следует выделять зимний меженьный период, когда река покрыта льдом. В этот период пробы должны отбираться в начале установления ледяного покрова реки, в середине и конце этого периода (в данный период процессы самоочищения речной воды от загрязняющих веществ минимальны). Затем следует выделять летне-осенний период, когда процессы биохимического самоочищения речной воды наиболее интенсивны: пробы должны отбираться в начале, середине и конце этого периода. В

этом периоде пробы должны отбираться при «сухой» погоде (имеется в виду отсутствие стокообразующих осадков непосредственно выше створа наблюдения в течение не менее 3-х суток для исключения возможного влияния на формирование концентраций вещества образующихся в сечении реки струй с существенно отличающимся качеством воды в результате кратковременных нестационарных поступлений в реку загрязняющих веществ с местных водосборов. Всего в летне-осенний период должно проводиться не менее 4 гидрохимических съемок. При этом крайне желательно проведение хотя бы 2 съемок в период повышенных расходов речной воды, связанных с влиянием дождевых паводков (имеется в виду выпадение стокообразующих осадков на территории водосборов, расположенных существенно выше створа наблюдения). В целом, с учетом наблюдений в период дождевых паводков, оптимальное количество съемок в летне–осенний период должно составлять 4-5 (минимум – 4).

Очень важным является удаление из полученной информации «отскоков» (случайных данных, не связанных с изменением расходов воды или ледовой обстановки).

Вышеприведенное распределение сроков наблюдений и учет особенностей рассмотрения полученной информации должно обеспечить более высокую вероятность установления статистических связей типа $C=f(Q)$ и выявление условий формирования химического состава речной воды для представительного расчета выноса (массопереноса) загрязняющих веществ в приграничных створах рек .

При наличии установленных статистических связей типа $C=f(Q)$, используя полученные уравнения регрессии, рекомендуется рассчитывать ежесуточные значения выноса загрязняющего вещества с последующим их суммированием в выделенном сезоне (для данной процедуры необходимо наличие в створе наблюдения ежесуточных данных о расходах речной воды). Вынос вещества, в целом за годовой цикл, получают суммированием полученных данных по выносу за отдельные сезоны (в отдельных сезонах достоверная связь типа $C=f(Q)$ может отсутствовать). В конечном счете, при таком подходе к обработке результатов наблюдения будут учтены все особенности прохождения половодья, а также периоды дождевых паводков, в том числе даже периоды тех дождевых паводков, в которых наблюдения не проводились. Пример расчета связи типа $C=f(Q)$, полученной с использованием программы для ПК, иллюстрирующий направленность статистической связи и характер изменения ежесуточных значений массопереноса при «растянутом» периоде половодья, представлен на рис. 5, 6.

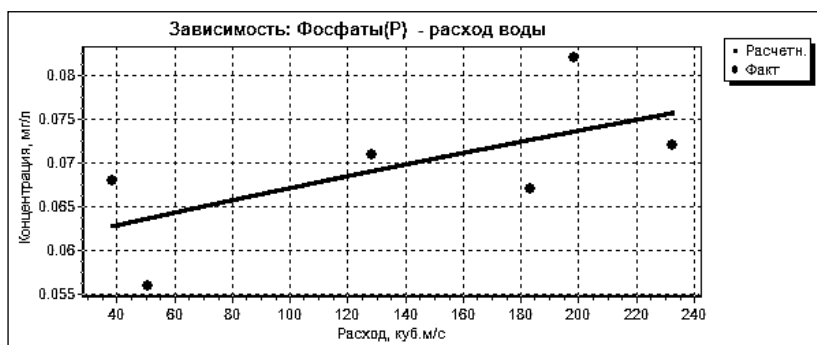


Рисунок 5 - Статистическая связь зависимости концентраций фосфора фосфатов от расхода воды в р. Днепр (коэф. корреляции $r=0,64$) в черте пос. Сарвиры (Республика Беларусь) в период высоких расходов воды в реке (03-08 месяцы) 2016 г.

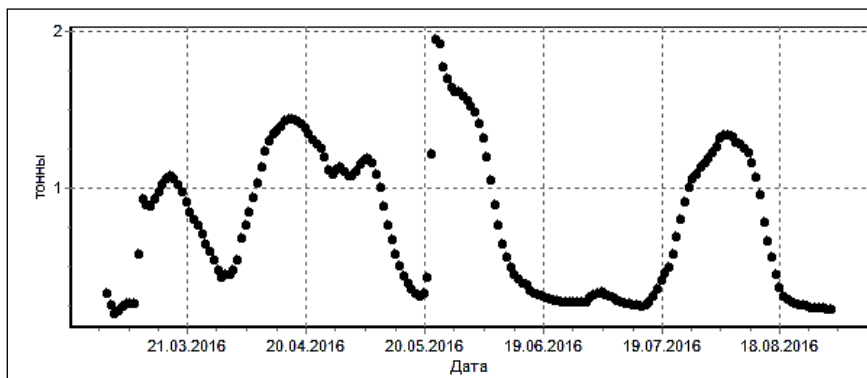


Рисунок 6 – Ежесуточные значения выноса фосфора фосфатов в р. Днепр в черте пос. Сарвиры (Республика Беларусь) в период изменения высоких расходов воды в реке в годовом цикле (03-08 месяцы) многоводного 2016 г.

Соблюдение требований к выбору местоположения и способов отбора проб воды в приграничных створах может играть решающую роль в получении представительных результатов наблюдений за качеством речной воды и выносом (массопереносом) загрязняющих веществ в этих створах. В случае близкого (менее 3-5 км) расположения источников стационарного сосредоточенного поступления загрязняющих веществ (сточные воды, загрязненные притоки первого порядка) от рассматриваемого приграничного створа число вертикалей наблюдения в приграничном створе должно быть не менее 3 (в стрежне потока и на среднем расстоянии от каждого берега до стрежня потока) (горизонты на вертикалях должны намечаться, в соответствии с положениями, изложенными в РД 52.24.309-2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши»).

В целях учета возможной «пульсации» концентраций загрязняющих веществ во времени (особенно ниже населенных пунктов) отбор проб речной воды должен проводиться батометром медленного наполнения. В качестве достаточной продолжительности отбора пробы воды таким батометром можно считать: для малых рек (при средней глубине менее 1 м) – 2-3 мин, средних – 10 мин, больших – 15 мин. Отбор проб можно также проводить обычным батометром путем отбора 10-15 равных порций воды в течение указанных промежутков времени для организации сливной пробы в одной емкости. Растворенный кислород, рН и температура воды должны определяться непосредственно в реке с помощью переносных приборов.

В пределах суток время отбора проб воды следует назначать в зависимости от особенностей режима поступления загрязняющих веществ и времени добегающих загрязненных масс воды от источника загрязнения до рассматриваемого створа наблюдения (прежде всего, необходимо учитывать режим сброса максимального объема сточных вод от вышерасположенных предприятий, а также учитывать время суток интенсивного таяния снега на загрязненной части водосбора, выше створа наблюдения).

Разработанная в ФГБУ «ГХИ» программа для ПК («ГХМ-вынос-2019») позволяет оперативно выполнять расчеты выноса (массопереноса) загрязняющего вещества с:

- а) установлением связей типа $C = f(Q)$;
- б) выделением на основе статистического анализа наиболее характерных периодов (сезонов) изменения концентраций загрязняющего вещества в годовом цикле;
- в) оценкой наличия или отсутствия струйности в створе наблюдения;
- г) оценкой сверхнормативного выноса вещества; д) установлением средних концентраций, обуславливающих величину его выноса с речным водным стоком; е)

определением возможной погрешности полученных значений выноса (массопереноса) загрязняющих веществ за выделяемые периоды времени внутри года и за год, в целом.

Предполагается, что внедрение и использование разработанных предложений для усовершенствования наблюдений за качеством речных вод позволит повысить представительность проводимых режимных гидрохимических наблюдений в приграничных створах рек с целью получения более надежных оценок выноса (массопереноса) загрязняющих веществ, оценок качества речных вод, а также позволит провести оптимизацию наблюдений и более обоснованно планировать и осуществлять водоохранные мероприятия по снижению загрязненности воды на интересующих трансграничных участках рек.

Работа выполнена по результатам НИР в рамках Программы Союзного государства «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства» на 2017-2021 гг.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ТРАНСГРАНИЧНОГО УЧАСТКА РЕКИ АМУР

Коваленко А.А.¹, Решетняк О.С.^{1,2}

¹ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону

²Южный Федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

E-mail: arinaa.kov@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена изменчивость химического состава воды на трансграничном участке р. Амур за многолетний период. Выявлены приоритетные загрязняющие вещества, содержание которых постоянно превышает нормативы ПДК, и тенденции изменчивости их концентраций. На трансграничном участке Амура формируется тенденция снижения концентрации марганца, разнонаправленные тенденции в изменении содержания соединений меди и органических веществ и отсутствие явно выраженной тенденции в динамике концентраций соединений железа.

Ключевые слова: река Амур, трансграничный участок реки, химический состав воды, тенденции, загрязняющие вещества

TRENDS IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER IN THE AMUR RIVER TRANSBOUNDARY PART

Kovalenko A.A.¹, Reshetnyak O.S.^{1,2}

¹FSBI "Hydrochemical Institute", Rostov-on-Don

²Southern Federal University, Rostov-on-Don

E-mail: arinaa.kov@gmail.com

Abstract: The article considers the variability of the chemical composition of water in the transboundary part of the Amur River over a long-term period. Priority pollutants and trends in their concentration variability have been identified. The tendency towards a decrease in the manganese concentration, multidirectional tendencies in the change in the content of copper compounds and organic substances, and the absence of a tendency in the dynamics of the iron compounds concentration are formed in the transboundary part of the Amur.

Key words: the Amur River, transboundary part of river, water chemical composition, trends, pollutants

Введение

Река Амур – одна из крупнейших рек мира – берет свое начало от слияния двух рек: Шилка и Аргунь. Длина Амура составляет 2824 км [1]. Бассейн р. Амур расположен в Восточной Азии, на территории трех государств: России, Китая и Монголии. Непосредственно сам Амур после слияния рек и до г. Хабаровск (т. е. на протяжении 1376 км, в своем верхнем и среднем течениях) является пограничной с КНР рекой, что объясняет актуальность данного исследования.

В ранее проведенных исследованиях [1, 2] отмечается, что с середины 90-х гг. прошлого века произошло ухудшение качества воды в Амуре. В период с 2000 по 2010 гг. воды р. Амур, в основном, соответствовали 4 классу качества воды. В последнее десятилетие вода на участке г.г. Благовещенск и Хабаровск соответствует 3 «Б» классу качества и оценивается как «очень загрязненная», а на участке с. Черняево – 4 «А» классу качества («грязная») [3].

Одним из главных факторов экологической напряженности в бассейне является трансграничный перенос загрязняющих веществ крупными притоками р. Амур (особенно р. Сунгари) [3]. Основными источниками негативного воздействия на качество воды р. Амур с российской стороны являются также ведущие отрасли промышленности, сточные воды которых загрязняют реку, и недостаточная степень очистки хозяйственно-бытовых сточных вод [3]. Что касается китайской стороны, то в данном случае антропогенное развитие сопредельной китайской территории идет несравнимо активнее, чем в российском приграничье, а несовершенная форма очистки бытовых и промышленных стоков не поспевает за темпами экономического развития [4]. Все это приводит к тому, что из-за несбалансированного водопользования стабильность речных экосистем снижается, происходит химическое загрязнение воды, нарушается гидрологический режим, что, в свою очередь, приводит к антропогенной трансформации экологического состояния и ухудшению качества воды [2, 5].

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на основе многолетних (2010-2019 гг.) гидрохимических данных Государственной системы наблюдений Росгидромета. Использованы данные о химическом составе и качестве воды р. Амур в пунктах наблюдений у с. Черняево, г.г. Благовещенск и Хабаровск.

Изменчивость химического состава воды за многолетний период рассмотрена по диапазонам колебания концентраций и их медианным и среднемноголетним значениям. Тенденции химического состава воды на исследуемых участках р. Амур представлены по медианным значениям концентраций загрязняющих веществ, поскольку они более «устойчивы к ошибкам» и, в отличие от среднего арифметического, завышение значений концентраций не происходит.

Результаты и обсуждение

Химический состав вод Среднего Амура формируют воды Верхнего Амура и притоки верхней части бассейна, наиболее значительные из которых – левые Зeya и Бурея, правые – Сунгари и Усури в нижней части бассейна. Сложные физико-географические условия территории определяют своеобразие гидрологического режима и условий формирования химического состава вод рек. Влияние природно-климатических условий предопределяет формирование ультрапресных и пресных, слабощелочных вод [6]. При значительном увлажнении почвы, наличии многолетней мерзлоты и глубоком промерзании грунтов даже небольшие дожди вызывают существенное увеличение расходов воды, поэтому в зависимости от водности р.р. Аргунь и Шилка содержание растворенных веществ в водах Верхнего Амура варьирует в широких пределах [7].

Содержание химических веществ за период с 2010 по 2019 гг. представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Содержание химических веществ (в мг/дм³) на трансграничном участке р. Амур за многолетний период (2010-2019 гг.)

Химическое вещество	Показатель	с. Черняево, выше села	г. Благовещенск, ниже города	г. Хабаровск, ниже города
1	2	3	4	5
Хлориды	диапазон	1,3-18,2	1,3-7,00	0,4-23,80
	среднее	3,63	2,62	4,35
	медиана	2,77	2,30	3,40
Сульфаты	диапазон	3,3-25,6	2,00-21,30	1,50-42,00
	среднее	9,68	5,84	13,82
	медиана	8,70	5,00	11,70
Органическое вещество (по ХПК)	диапазон	5,9- 51,2	6,62- 46,4	3,00- 42,0
	среднее	24,18	22,36	17,45
	медиана	22,30	20,70	17,00
Органическое вещество (по БПК ₅)	диапазон	0,50- 2,87	0,73- 2,17	0,82- 4,67
	среднее	1,61	1,42	1,86
	медиана	1,51	1,40	1,81
Азот аммонийный (NH ₄ ⁺)	диапазон	н.о.*- 2,22	н.о.- 1,44	н.о.- 1,29
	среднее	0,58	0,49	0,27
	медиана	0,44	0,41	0,24
Азот нитритный (NO ₂ ⁻)	диапазон	н.о.- 0,026	н.о.- 0,042	н.о.- 0,060
	среднее	0,005	0,006	0,007
	медиана	0,003	0,005	0,006
Азот нитратный (NO ₃ ⁻)	диапазон	0,07-2,58	0,03-1,73	н.о.-2,90
	среднее	0,45	0,24	0,52
	медиана	0,25	0,20	0,39
Фосфор фосфатный (PO ₄ ³⁻)	диапазон	0,003-0,103	н.о.-0,081	н.о.-0,075
	среднее	0,024	0,012	0,016
	медиана	0,016	0,009	0,012
Соединения железа (Fe)	диапазон	0,02- 1,86	0,03- 1,93	н.о.- 1,34
	среднее	0,38	0,35	0,23
	медиана	0,30	0,34	0,18
Соединения меди (Cu)**	диапазон	0,10- 24,5	0,25- 22,0	0- 22,3
	среднее	3,79	3,31	2,42
	медиана	2,80	2,80	1,80
Соединения цинка (Zn)**	диапазон	0,3- 81,0	0,5- 98,7	н.о.- 45,0
	среднее	12,22	12,12	6,02
	медиана	9,15	9,00	3,65
Соединения никеля (Ni)**	диапазон	н.о.- 21,1	н.о.- 41,0	н.о.- 29,0
	среднее	3,34	2,30	2,16
	медиана	1,50	1,40	0,90
Соединения свинца (Pb)**	диапазон	н.о.- 12,2	н.о.- 25,0	н.о.- 9,4
	среднее	2,84	1,66	1,62
	медиана	1,90	1,00	0,90
Соединения марганца (Mn)**	диапазон	1,00- 284,0	0,20- 166,0	1,00- 220,0
	среднее	77,7	46,5	42,2
	медиана	47,0	35,0	21,4
Нефтепродукты	диапазон	0,01- 0,16	0,01-0,07	0,01- 0,26
	среднее	0,03	0,02	0,02
	медиана	0,03	0,02	0,01

Примечания: значения концентраций, превышающие значение ПДК, выделены жирным шрифтом; * - н.о. – ниже предела обнаружения метода; ** - концентрации приведены в мкг/дм³

За последние 10 лет содержание хлоридов, сульфатов, азота нитратного и фосфора фосфатного не превышает норматив. В случае с органическими веществами по БПК₅, азотом нитритным, нефтепродуктами и соединениями никеля, цинка и свинца превышение ПДК эпизодически наблюдалось только по максимальным значениям концентраций. По ряду компонентов, таких как органическое вещество (по ХПК), аммонийный азот, соединения железа, меди и марганца, нарушение качества происходит чаще и с высокой кратностью превышения ПДК. Именно эти соединения являются приоритетными загрязняющими веществами для исследуемого участка р. Амур и будут формировать повышенную степень загрязненности речных вод.

Наиболее интересным, на наш взгляд, представляется рассмотрение тенденций изменчивости содержания приоритетных загрязняющих веществ, высокие концентрации которых в наибольшей степени влияют на ухудшение качества воды. Для наглядности на графиках представлены кривые изменчивости содержания приоритетных загрязняющих веществ по трем пунктам наблюдений на трансграничном участке р. Амур.

Как известно, высокое общее содержание органических веществ (ОВ) в водном объекте может быть обусловлено биохимическими процессами (автохтонное ОВ), диффузным загрязнением с площади водосбора, а также загрязнением извне за счет сброса хозяйственно-бытовых сточных вод (аллохтонное ОВ).

На участках реки у с. Черняево и г. Благовещенск до 2017 г. наблюдается тенденция уменьшения концентраций органических веществ по ХПК, а в пункте наблюдений у г. Хабаровск, наоборот, слабо выраженный тренд увеличения концентраций, что может быть обусловлено увеличением выноса ОВ с водным стоком и ростом нагрузки с городской территории. С 2017 г. на всех участках наблюдается незначительное синхронное повышение концентраций ОВ (рис. 1).

В случае с соединениями железа явных тенденций не обнаружено. На участке реки у с. Черняево формируется убывающая направленность изменения концентрации (рис. 2). По мнению ряда авторов, основными источниками железа являются зарегулированные р.р. Зeya и Бурея, а также наличие обширных заболоченных территорий на водосборах этих рек [6,8].

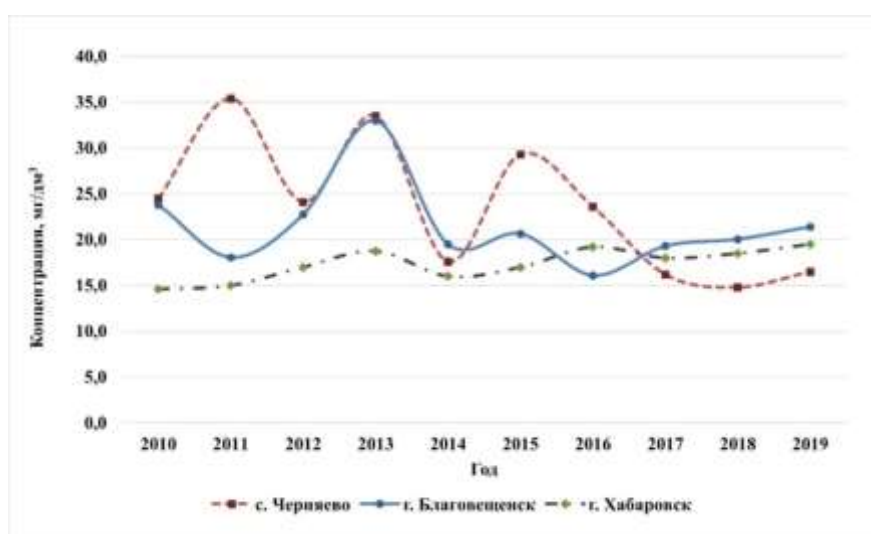


Рисунок 1 – Изменчивость содержания органических веществ (по ХПК) на трансграничном участке р. Амур

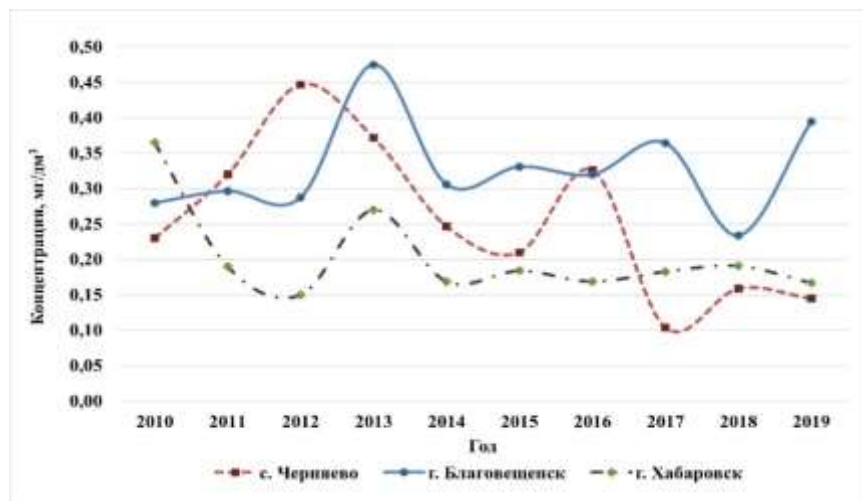


Рисунок 2 – Изменчивость содержания железа на трансграничном участке р. Амур

В целом, для р. Амур характерно повышенное содержание соединений меди и марганца в воде, которое в зимний период обусловлено усилением «влияния промышленного и бытового загрязнения в условиях снижения водности», а в теплый период – «за счет выноса металлов, мобилизуемых из почвы и растительности заболоченных территорий» [6].

В динамике изменения медианных концентраций соединений меди (рис. 3) формируются разнонаправленные тенденции: на участках реки: у с. Черняево и г. Благовещенск отмечается тенденция снижения, а ниже по течению, в районе г. Хабаровск – рост концентраций ионов меди в воде. Стоит отметить, что, в целом, после 2015 г. содержание соединений меди на исследуемых участках реки Амур стабилизируется в пределах 2,0-3,5 мкг/л.

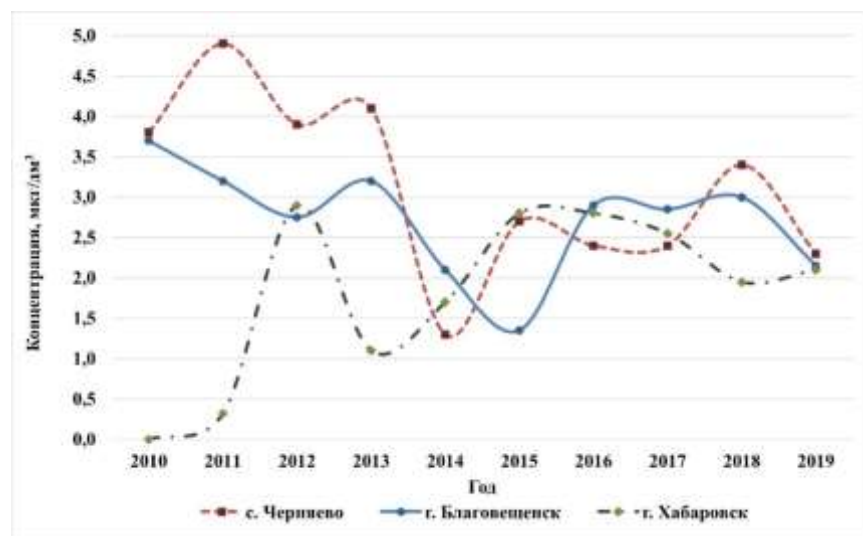


Рисунок 3 – Изменчивость содержания меди на трансграничном участке р. Амур

Для соединений марганца за исследуемый период наблюдается синхронное изменение концентраций на рассматриваемых участках р. Амур, и прослеживается четкая тенденция снижения содержания марганца в воде от значений 120-180 мкг/дм³ до 20-30 мкг/дм³ (рис. 4).

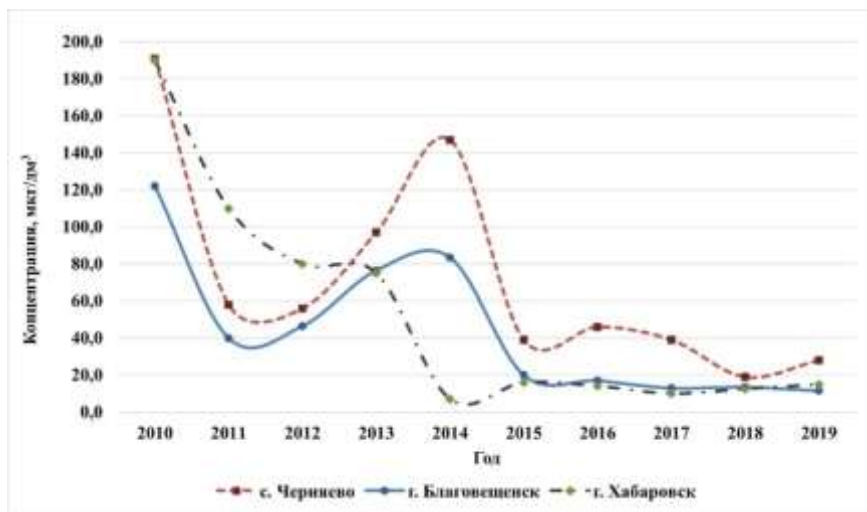


Рисунок 4 – Изменчивость содержания марганца на трансграничном участке р. Амур

Заключение

Анализ многолетних гидрохимических данных показал, что на трансграничном участке р. Амур концентрации хлоридов, сульфатов, азота нитратного и фосфора фосфатного не превышают предельно допустимые концентрации. Выявлены приоритетные загрязняющие вещества, содержание которых постоянно превышает нормативы ПДК, – это органические вещества (по ХПК), железо, медь, марганец; а также компоненты, содержание которых превышает ПДК эпизодически – это органические вещества (по БПК₅), аммонийный азот, соединения никеля, цинка и нефтепродукты. Именно тенденции содержания в речных водах приоритетных загрязняющих веществ вызывают наибольший интерес, поскольку при увеличении их концентраций и частоты превышения ПДК возрастает риск ухудшения качества воды.

За многолетний период в изменении содержания приоритетных загрязняющих веществ выявлены следующие тенденции:

- снижения концентрации марганца на трансграничном участке Амура, что может быть связано с улучшением качества воды и уменьшением загрязнения, в целом;
- разнонаправленные тенденции в изменении медианных концентраций соединений меди и органических веществ (по ХПК);
- отсутствие явно выраженной тенденции в динамике концентраций соединений железа на трансграничном участке Амура.

Полученные результаты имеют высокую практическую значимость и могут быть использованы для разработки экологически обоснованных водоохранных мероприятий в трансграничном бассейне р. Амур для повышения экологической безопасности в регионе и достижения целей устойчивого развития.

Список литературы

1. Никаноров А.М., Брызгало В.А. Реки России. Часть IV. Реки Дальнего Востока (гидрохимия и гидроэкология): [монография.] Ростов/Д: «НОК», 2011. – 324 с.
2. Никаноров А.М., Брызгало В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Антропогенная трансформация экологического состояния речных экосистем Дальнего Востока // Вода: химия и экология, 2012. № 3. С.10-20.
3. Коваленко А.А. Многолетняя изменчивость химического состава и качества воды на всем протяжении реки Амур // Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток, 2019. С. 37-42.

4. Голобокова Я.А. Экологические проблемы бассейна реки Амур // Власть 2008. №3 С.105-107.

5. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Даниленко А.О. Антропогенная трансформация экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине реки Амур // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 5. С.15-26.

6. Шестеркина Н.М., Шестеркина В.П., Таловская В.С., Ри Т.Д. Пространственно-временная изменчивость содержания растворенных форм микроэлементов в водах реки Амур // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 3. С. 336-347.

7. Шестеркин В.П. Сезонная и пространственная изменчивость химического состава вод Верхнего Амура // Региональные проблемы. 2016. Т. 19. № 2. С. 35-42

8. Шестеркин В.П., Таловская В.С., Шестеркина Н.М. Многолетняя динамика содержания и стока железа в воде Среднего Амура в зимнюю межень // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 6. С. 106-111.

ОПЫТ УПРАВЛЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА И КООРДИНАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА РЕКЕ ОГАЙО (США)

Козлова М.А.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

E-mail: mblshok@mail.ru

Аннотация. В статье представлен опыт в управлении и организации мониторинга на примере р. Огайо (США), где каждый штат имеет свои полномочия в сфере водного хозяйства и экологии. Для эффективного управления и сохранения водных ресурсов р. Огайо создана Комиссия по улучшению санитарного состояния воды в долине р. Огайо (ORSANCO). Она реализует программы по улучшению качества воды в реке и ее притоках, включая: установление стандартов сброса сточных вод; выполнение биологической оценки; мониторинг химических и физических свойств водотоков; проведение специальных исследований. Она также координирует деятельность в чрезвычайных ситуациях при утечке или случайных сбросах в реку и обеспечивает участие общественности в программах.

Ключевые слова: водная безопасность, зарубежный опыт, перенос загрязнения, управление водными ресурсами, чрезвычайные ситуации.

EXPERIENCE IN MANAGEMENT, MONITORING AND COORDINATION OF ACTIVITY IN EMERGENCY SITUATIONS ON THE OHIO RIVER (USA)

Kozlova M.A.

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

E-mail: mblshok@mail.ru

Abstract. The article presents the experience in management and monitoring organization on the example of the Ohio River (USA), where each state has its own authorities in the field of water management and ecology. The Ohio River Valley Water Sanitation Commission (ORSANCO) was established to effectively manage and conserve the river's water resources. ORSANCO operates programs to improve water quality in the Ohio River and its tributaries, including: setting waste water discharge standards; performing biological assessments; monitoring for the chemical and physical properties of the waterways; and conducting special surveys and studies. ORSANCO also coordinates emergency response activities for spills or accidental discharges to the river and promotes public participation in programs.

Keywords: water security, foreign experience, pollution transfer, water management, emergency situations.

Введение. Проблема управления трансграничными водными объектами особо остро встает тогда, когда ведение водного хозяйства и сохранение водных ресурсов

регламентируется абсолютно разными по своей сути национальными нормативными актами. В этом смысле управление крупными водными бассейнами в США имеет схожие проблемы, поскольку каждый штат наделен своими законодательскими полномочиями. Как известно, федеральный Закон о чистой воде США не носит регламентирующий характер, а возлагает на органы власти штатов обязанности самим разрабатывать стандарты качества воды и регулировать хозяйственную деятельность на своей территории. При этом в бассейнах межштатных рек нередко возникают ситуации, когда власти штатов не могут договориться об объемах и характере водопользования.

Например, с некоторого времени штаты Джорджия, Алабама и Флорида конфликтуют по поводу распределения воды из двух речных систем – бассейна рек Апалачикола-Чаттахучи-Флинт и бассейна р.р. Алабама-Куза-Таллапуса. Этот давний конфликт стал известен как «водные войны», 12 федеральных органов, включая министерство юстиции, были вовлечены в процесс разрешения спора. Несмотря на многочисленные научные исследования, принятое Конгрессом соглашение и переговоры, до настоящего времени конфликт так и не разрешен. По всей вероятности, эта «война» будет урегулирована в суде, однако достижение какого-либо соглашения или решения суда, скорее всего, не смягчит конфликт [1].

Таким образом, опыт управления бассейнами межштатных р.р. США может быть полезен при использовании водных ресурсов и организации мониторинга трансграничных водных бассейнов. Рассмотрим некоторые подходы, применяемые в бассейне р. Огайо.

Река Огайо является самым крупным полноводным левым притоком р. Миссисипи. Она протекает по 6 штатам (Пенсильвания, Огайо, Западная Виргиния, Кентукки, Индиана и Иллинойс), бассейн реки расположен на территории 14 штатов. Площадь речного бассейна составляет 528,1 тыс. км², длина – 1579 км. Средний расход воды у г. Метрополис 7973 м³/сек, годовой сток около 250 км³. Наблюдаются большие паводки в холодный период года, низкая межень в летнее и в осеннее время с минимумом в промежутке с августа по сентябрь [2].

В бассейне реки расположены крупные города, промышленные и сельскохозяйственные предприятия и несколько крупных ГЭС (всего 42 электростанции). Река Огайо судоходна на всём протяжении, для этой цели на реке сооружено 20 плотин и дамб. Примерно 4000 км составляет общая длина судоходных путей. Ежегодно по реке перевозится более 185 млн. т. грузов, при этом уголь является наиболее часто транспортируемым и продаваемым товаром. Более 25 млн. чел., что составляет примерно 8% населения США, проживают в бассейне реки. При этом Огайо является источником питьевой воды для более чем 5 млн. чел.

В настоящее время диффузный сток с городских и сельскохозяйственных территорий, а также с заброшенных шахт является основной причиной загрязнения воды в реке. Однако так было не всегда. Водное законодательство США первоначально имело хозяйственный, а не природоохранный аспект. Это привело к тому, что в первой половине XX в. многие водные объекты США, в том числе и р. Огайо, были сильно загрязнены. Это, в свою очередь, способствовало развитию жестких природоохранных мер и регулирования хозяйственной деятельности.

Создание ORSANCO. Имеющийся на сегодняшний день опыт доказывает, что интегрированный бассейновый системный подход к планированию и управлению водными ресурсами позволяет не только рационально использовать водные ресурсы и территорию бассейнов рек, но и найти компромиссы в сохранении водной и околородной среды. Задачей, требующей разрешения, является достижение большей интеграции и координации развития речного бассейна и управленческой деятельности. Интегрированное управление водными ресурсами на многих речных бассейнах стало результатом добровольных усилий многочисленных неправительственных организаций

и региональных ассоциаций, верных принципам бассейнового планирования и управления ресурсами.

Такой подход реализуется в бассейнах нескольких крупных рек США, в том числе, и в бассейне р. Огайо, где в 1948 г. была создана Комиссия по улучшению санитарного состояния воды в долине реки (Ohio River Valley Water Sanitary Commission - ORSANCO). ORSANCO – это межрегиональная (межштатная) комиссия, в которую входят представители 8 штатов: Иллинойса, Кентукки, Нью-Йорк, Огайо, Пенсильвания, Вирджиния и Западная Вирджиния (см. рис. 1) [3]. Руководящий принцип Комиссии – сточные воды, сбрасываемые в одном штате, не должны наносить вред водам другого штата.



Рисунок 1 – Бассейн р. Огайо и штаты, входящие в ORSANCO

В руководство Комиссией входят по 3 чел. от каждого штата (назначает губернатор) и 3 чел. от федеральных властей, т.е. 27 человек. Базовое финансирование (примерно половина всего бюджета) в равных долях обеспечивает федеральное правительство и правительство штатов. В штате Комиссии 19 чел., 12 из которых представители научного сообщества.

Программы, реализуемые Комиссией. ORSANCO реализует программы улучшения качества воды в р. Огайо и ее притоках, в т.ч.: устанавливает нормативы сброса сточных вод; выполняет биологические анализы; осуществляет мониторинг качества воды, а также проводит специализированные исследования. ORSANCO координирует действия в чрезвычайных ситуациях при утечке или аварийном сбросе веществ в реку, а также пропагандирует участие общественности в различных программах, в том числе образовательных [4].

Комиссия реализует многоступенчатый мониторинг за качеством вод на всем протяжении реки (см. рис. 2). Все химические, биологические и физические данные загружаются в базу STORET, созданную Агентством по охране окружающей среды США, которая используется и другими федеральными агентствами, университетами, частными лицами и пр.

Долгосрочная программа ORSANCO по мониторингу качества воды в р. Огайо включает в себя отбор проб на 16 химических и физических показателей (азот, фосфор, бромиды, фенолы и пр.), которые отбираются 1 раз в 2 месяца. Программа началась в 1975 г. и ведется непрерывно до настоящего времени в 29 точках: 15 станциях на главном течении р. Огайо и 14 точках вблизи устьев основных притоков. Помимо этого, пробы анализируются на 23 металла (алюминий, мышьяк, медь, железо,

марганец и пр.). Ежедневно проводится микробиологический анализ (на фекальные колиформные бактерии и на бактерии E. Coli). Кроме того, реализуются различные биологические программы по оценке популяции рыб и макробеспозвоночных [4].

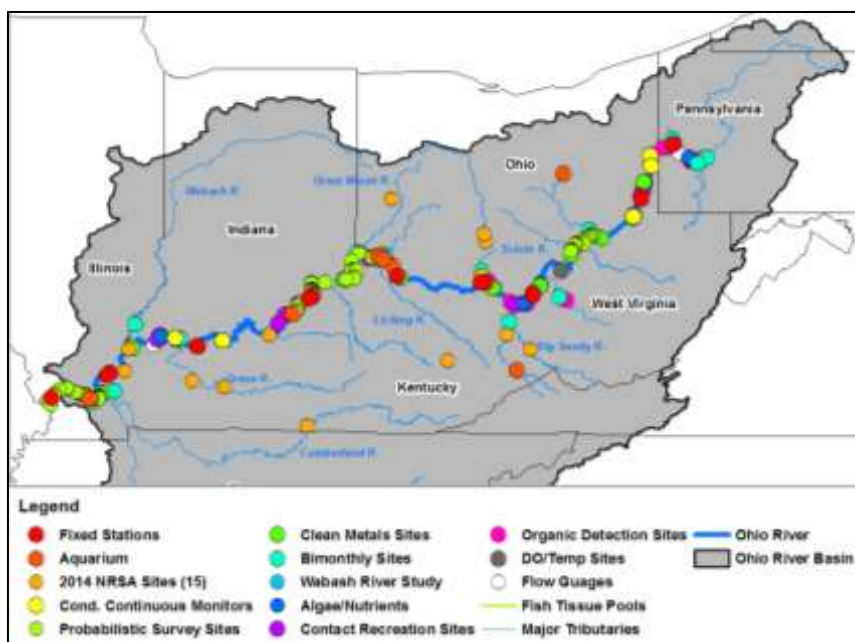


Рисунок 2 – Точки отбора проб в бассейне р. Огайо [4]

В период «цветения» на 45-60 площадках проводится непрерывный мониторинг растворенного кислорода, определяется состав и численность водорослей, количество хлорофилла А и биогенных элементов. Такие анализы проводятся с мая по октябрь – до, во время и сразу после периода «цветения». Отбор проб на реке выявляет ежегодно более 300 различных видов водорослей. Эти водоросли делятся на 8 таксономических классов, наиболее распространенными из которых являются диатомовые водоросли (Bacillariophyta), зеленые водоросли (Chlorophyta) и сине-зеленые водоросли (Cyanobacteria).

Каждые два года Комиссия составляет отчет, в котором анализируются тенденции изменения качества вод. Это позволяет определить, соответствует ли р. Огайо своему предполагаемому характеру водопользования (подходит для поддержания водных организмов, рекреации, водоснабжения и потребления рыбы).

Кроме того, ORSANCO устанавливает стандарты контроля загрязнения для промышленных и муниципальных сточных вод, сбрасываемых в р. Огайо, и сама отслеживает некоторые сбросы, стоки которых могут серьезно повлиять на качество воды. Стандарты определяют конкретные виды водопользования реки и устанавливают руководящие принципы, гарантирующие, что река способна поддерживать эти виды водопользования. ORSANCO стремится пересматривать стандарты не реже одного раза в три года.

Комиссия работает над тем, чтобы предприятия водоснабжения были в достаточной мере предупреждены об опасных аварийных разливах выше по течению. Целью Программы реагирования на чрезвычайные ситуации является защита общественных водозаборов р. Огайо от воздействий разливов, информирование общественных водозаборов о состоянии качества воды в реке. ORSANCO также связывается с соответствующими федеральными, государственными и местными агентствами и, при необходимости, координирует мониторинг качества воды на реке. Сотрудники ORSANCO принимают сведения о разливах круглосуточно, сигналы поступают, в том числе, через единую систему регистрации разливов США.

Быстрому реагированию на чрезвычайную ситуацию способствует также система обнаружения органических веществ, основанная на совместной работе предприятий водоснабжения и других крупных водопользователей. 17 газовых хроматографов, расположенных в лабораториях на р.р. Огайо, Аллегейни, Мононгахела, Канава и Элк, работают ежедневно, чтобы вовремя зарегистрировать несанкционированные выбросы или разливы органических соединений и оперативно среагировать на чрезвычайную ситуацию. Список определяемых соединений состоит из 30-ти часто встречающихся органических веществ, которые представляют наибольшую опасность. Если органическое соединение обнаружено на уровне или выше допустимого порога, ORSANCO получает уведомление от оператора, и начинается процедура проверки для подтверждения наличия соединения в реке. После проверки информация может быть передана нижестоящим предприятиям водоснабжения, а также в зависимости от обстоятельств государственным и федеральным агентствам.

В рамках Комиссии происходит тесное сотрудничество между представителями бизнеса и другими заинтересованными водопользователями. Партнерами ORSANCO являются НИИ электроэнергетики (Electric Power Research Institute - EPRI), Альянс предприятий и промышленности, занимающихся речной торговлей и перевозками (The Central Ohio River Business Association - CORBA), Образовательный фонд р. Огайо (Foundation for Ohio River Education - FORE) и многие другие. Отдельные программы посвящены экологическому образованию детей и вовлечению общественности, например, к ежегодным субботникам.

При этом в последнее время активно развиваются так называемые «кредиты на качество воды», направленные на снижение поступления азота и фосфора с водосборной территории, избыток которых приводит к серьезным проблемам, включая цветение водорослей, гипоксию и ухудшение состояния диких животных и их местообитаний.

Торговля качеством воды – новаторский рыночный подход к сокращению загрязнения воды биогенными веществами с сельскохозяйственных земель. Торговля основана на том факте, что водопользователи могут нести очень разные затраты по контролю и снижению поступления одного и того же загрязнителя. Торговые программы позволяют крупным предприятиям-загрязнителям, сталкивающимся с высокими затратами на улучшение качества сбрасываемых сточных вод, выполнять свои нормативные обязательства за счет выдачи экологически эквивалентных кредитов на сокращение загрязнения на другом объекте (источнике). Например, за счет внедрения наилучших доступных технологий в сельскохозяйственном секторе, что для данной отрасли возможно по более низкой цене [5].

Проект работает в тесном сотрудничестве с мелкими фермерами и принимает идею систем торговли квотами на выбросы: реализация водоохранных мер позволяет фермерам получать кредиты за качество воды. Продажа полученных кредитов корпорациями дает фермерам компенсацию за применение ими водоохранных мероприятий, тем самым создавая сильные стимулы для дальнейшего развития природоохранной деятельности. Один кредит равен одному фунту (0,45 кг) общего азота или одному фунту общего фосфора, на который в результате применения различных технологий на ферме уменьшится сброс веществ в воду.

Проект финансирует природоохранные мероприятия на частных фермах в Огайо, Индиане и Кентукки. Почти все землевладельцы - мелкие семейные фермеры, выращивающие кукурузу, сою, пшеницу, производящие говядину и молоко. Проекты при этом направлены на улучшение качества воды при сохранении урожайности сельскохозяйственных культур. Типичные методы включают использование покровных культур, сокращение внесения удобрений, создание прибрежных буферных полос и заградений для крупного рогатого скота, эффективное управление отходами на молочных фермах и др. В разработке также несколько проектов, связанных с посадкой

лесополос. Кредиты даются на 5 и более лет. Инициатором и партнером Комиссии по «торговле биогенными веществами» в бассейне Огайо является Исследовательский институт электроэнергетики (EPRI).

Выводы. Анализируя деятельность ORSANCO, можно смело утверждать, что принципы, которыми руководствуется данная Комиссия, могут быть использованы при управлении трансграничными водными объектами. ORSANCO показала положительный пример того, как можно договариваться, кооперироваться, взаимовыгодно сотрудничать, находить компромиссы между нуждами промышленности, водоснабжения и экологии.

Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0004 (№ государственной регистрации АААА-А19-119040990079-3) Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

1. Совершенствование управления водными ресурсами в США. Публикации Тренингового центра МКБК. Вып. 3. / Сост. Пулатов А.Г. Ташкент: НИЦ МКБК, 2004. 113 с.
2. Rivers of North America. / Ed.: A. Benke C. Cushing Elsevier Academic Press. 2005. 1168 p. ISBN: 9780080454184.
3. The ORSANCO Story: Water Quality Management in the Ohio Valley Under an Interstate Compact. By Edward J. Cleary. Published by Johns Hopkins University Press. 1967. – 352 p.
4. ORSANCO – [Электронный ресурс]: <http://www.orsanco.org/>
5. First Climate – [Электронный ресурс]: <https://www.firstclimate.com/en/water-quality-credits/>

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТРАНСГРАНИЧНОМ УЧАСТКЕ РЕКИ АМУР: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Кондратьева Л.М.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск,
E-mail: kondratevalm@gmail.com

Аннотация. За последние годы напряженная социально-экологическая обстановка в Приамурье зависела от многих природных и антропогенных факторов, которые определяли принципы выбора приоритетных показателей состояния водной среды и подходы к оценке экологических рисков. Независимо от ключевых событий (загрязнение сточными водами, пожары, техногенные аварии, наводнения) многие проблемы чаще всего были связаны с трансграничным загрязнением р. Амур с территории Китая, поступлением токсичных веществ со стоком крупных рек Сунгари и Усури. Возникающие риски приводили к смене парадигмы экологического мониторинга и его совершенствованию. Приведены доказательства актуальности использования концепции «речного континуума» при организации российско-китайского мониторинга последствий техногенной аварии в бассейне р. Сунгари.

Ключевые слова: р. Амур, трансграничное загрязнение, экологические риски, российско-китайский мониторинг.

ORGANIZATION OF ECOLOGICAL MONITORING AT THE TRANSBOUNDARY SECTION OF THE AMUR RIVER: PROBLEMS AND PROSPECTS

Kondratyeva L.M.

Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia

Abstract. In recent years, the tense socio-ecological situation in the Amur region has depended on many natural and anthropogenic factors, which determined the principles for choosing priority indicators of the state of the aquatic environment and approaches to assessing ecological risks. Regardless of the key events (sewage pollution, fires, industrial accidents, floods), many problems were most often associated with transboundary pollution of the Amur River from the territory of China, the intake of toxic substances from the runoff of the large rivers Sungari and Ussuri. The emerging risks led to a change in the paradigm of ecological monitoring and its improvement. The proofs of the relevance of using the concept of "river continuum" in organizing the Russian-Chinese monitoring of the consequences of a technogenic accident in the basin of the Sungari River.

Key words: Amur River, transboundary pollution, ecological risks, Russian-Chinese monitoring.

Река Амур, одна из крупнейших рек России, входит в список самых длинных рек мира (около 4444 км). Формирование качества природных вод в ее бассейне зависит от динамики антропогенного преобразования ландшафтов, развития промышленности и сельского хозяйства на территории трех государств: Россия, Китай и Монголия [1]. За последние годы напряженная социально-экологическая обстановка зависела от многих природных и антропогенных факторов, которые определяли принципы выбора приоритетных показателей качества воды и подходы к проведению мониторинга. Опасные природные явления (пожары, наводнения) и техногенные аварии, связанные с социально-экологическими рисками, приводили к смене парадигмы экологического мониторинга и его совершенствованию.

Социально-экологические риски на трансграничном участке р. Амур

На протяжении многих лет факторами социально-экономических рисков в Приамурье выступали качество воды и рыбы. В развитии системы экологического мониторинга на трансграничном участке р. Амур, выборе приоритетных показателей и индикаторов загрязнения можно выделить несколько ключевых этапов.

1996-2005 гг. - комплексное изучение посторонних химических запахов воды и рыбы. Это явление связывали с евтрофированием природных вод в зимний период за счет больших объемом сбрасываемых сточных вод и оценивали по характеру развития мицелия грибов рода *Leptomyces*. Впервые было высказано предположение о трансграничном поступлении хлорорганических соединений с водосборов крупных рек Китая и разрабатывалась концепция политоксикоза амурской рыбы [2].

2005-2006 гг. – полное доказательство угроз трансграничного загрязнения. Для оценки последствий техногенной аварии в Китае и загрязнения р.р. Сунгари и Амур нитробензолом исследовали воду, лед, донные отложения; в систему экологического мониторинга внедрены современные методы хроматографии и хроматомасс-спектрометрии [2, 3].

2000-2012 гг. – период для обоснования изменения качества воды в р. Амур под влиянием пожаров в бассейнах ее притоков и заполнения новых водохранилищ. Экологические риски обсуждали в связи с ртутным загрязнением донных отложений и рыбы от устьев крупных притоков (Зея, Буряя, Сунгари и Уссури) до Амурского лимана [1, 4]. Во внимание принимали последствия для здоровья человека, включая малочисленные коренные народы Приамурья [5].

2013-2019 гг. - постоянным источником социально-экономических рисков являются весенние паводки и летне-осенние наводнения в бассейнах крупных притоков, водосборы которых расположены на территории России (Зея, Буряя) и Китая (Сунгари, Уссури). Пространственно-временные эффекты наводнений отражаются на геоморфологии русел рек, состоянии нерестилищ, составе воды и воспроизводстве рыбных ресурсов.

Многолетние исследования, проводимые в бассейне р. Амур, показали, что сложные биогеохимические процессы, происходящие в разных компонентах водных экосистем (вода, донные отложения, лед), миграция взвесей и их седиментация,

деградация стойких органических веществ (ОВ), биоаккумуляция и передача токсикантов по трофическим цепям, их дальнейшее высвобождение необходимо контролировать с использованием современных инструментальных методов [6].

Актуальные аспекты организации мониторинга

В настоящее время оценка загрязнения водных экосистем основана на предельно допустимых концентрациях (ПДК) отдельных элементов и соединений, а также интегральных показателях целых групп органических соединений (летучие с паром фенолы, нефтепродукты) или по косвенным показателям их способности окисляться (БПК и ХПК). Об уровне евтрофирования и характере загрязнения токсичными веществами часто судят по изменению биологического разнообразия или по выживаемости отдельных представителей планктонных и бентосных сообществ.

Однако подходы, используемые к оценке состояния водных объектов, не всегда отражают реальную физико-химическую обстановку, сезонность поступления отдельных поллютантов, многокомпонентное загрязнение лабильными и стойкими ОВ и множество биотических и абиотических факторов, контролирующих процессы самоочищения водных экосистем в различных регионах. Для оценки последствий загрязнения водных экосистем широко используется концепция экологического риска [6]. Острые токсикологические эффекты служат основой для выявления актуального экологического риска в текущий момент времени. Однако крайне редко принимается во внимание потенциальный экологический риск с его отдаленными во времени и пространстве последствиями. Базовой предпосылкой для его обоснования могут выступать разнообразные процессы, связанные с круговоротом веществ. Загрязнение водных объектов комплексом поллютантов происходит круглогодично, поэтому нагрузка на экосистемы и суммарный риск для их стабильного функционирования зависит от суммы рисков, учитывающих не только токсикологические эффекты, но и длительность разложения токсикантов, возможность их аккумуляции водными организмами (табл. 1).

Таблица 1- Суммарный экологический риск при многокомпонентном загрязнении

Факт - ПДК по сезонам не регулируется	Rs – экологический риск изменяется по сезонам; Rd – риск загрязнения зависит от скорости разложения веществ; Rb – риск связан с биоаккумуляцией организмами; Rm – многокомпонентность загрязнения
Техногенные аварии, наводнения – многофакторное воздействие на экосистемы и многокомпонентное поступление опасных веществ	Суммарный риск= Rs+ Rd+ Rb+ Rm Эффект «перевернутой пирамиды» - когда усиливается суммарный риск за счет влияния множества факторов на водную экосистему

Изучение устойчивости и самоочищающей способности водных экосистем при загрязнении ОВ и токсичными элементами различного происхождения предполагает исследование их поведения не только в водной среде. Важное значение играют биогеохимические процессы, происходящие в контактных зонах: вода – атмосфера, вода – взвеси, вода – лед, вода – дно. Качество воды в контактных зонах определяется сложной динамикой противоположно направленных процессов седиментации взвесей, трансформации органических соединений и миграции растворенных веществ.

Среди факторов риска трансграничного загрязнения р. Амур называли фенолы, хлорфенолы, фталаты, стойкие полициклические ароматические углеводороды, различные пестициды и группу токсичных элементов, включая свинец, кадмий и ртуть. Многие из названных загрязнителей регистрируются на разных участках реки, поступая из различных природных и антропогенных источников [1,7].

Важное методологическое значение в проведении трансграничного мониторинга отводится концепции «речного континуума». Согласно этой концепции, процессы накопления, транспорта, утилизации и синтеза ОБ происходят непрерывно вдоль русла реки. Количественные и качественные характеристики потока ОБ определяют структуру биотических сообществ [8]. Концепция «речного континуума» расширяет наши представления об экологических рисках на всем протяжении от истоков до устья рек.

На основании имеющейся обширной информации о проблемах, возникающих при проведении исследований на трансграничных водных объектах, можно предложить следующее представление об основных этапах в организации эффективного мониторинга (табл. 2).

Таблица 2 - Основные этапы в организации мониторинга водных объектов

Этапы мониторинга	Основное содержание
Выбор методологии	Бассейновый и экосистемный подходы; концепция «речного континуума»; объекты исследования: вода, лед, донные отложения, гидробионты, включая рыбу
Наблюдения	Выбор критериев риска с учетом «горячих точек» и современных методов наблюдения для компонентного анализа загрязнителей: газовая и жидкостная хроматографии (ГХ, ВЭЖХ), хроматомасс-спектрометрия (ХМС), спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) и др.
Анализ данных	Проводят специалисты разных дисциплин (гидрологи, гидрохимии, гидробиологи, экологи, биогеохимии); поиск корреляционных связей и выявление изменений в динамике природных процессов (циклов); возможные изменения в структуре сообществ.
Прогноз	Математическое моделирование, разработка сценариев распространения загрязнителей от «горячей точки» до устьевых зон и далее в системе река-море.

Неотъемлемой составляющей прогнозирования развития событий является правильный расчет времени поступления загрязненных водных масс к водозаборам крупных городов и населенных пунктов, а также актуальный и адекватный выбор критериев оценки качества воды. Крайне важно использовать методы биоиндикации и биотестирования, которые бывают более чувствительными, по сравнению с такими интегральными показателями, как ХПК, БПК, фенолы и нефтепродукты.

Российско-китайский мониторинг

Сотрудничество в области мониторинга загрязнения трансграничных водных объектов в Приамурье началось с Соглашения между Администрацией Хабаровского края и Народным Правительством провинции Хэйлунцзян (КНР) «О совместных природоохранных мероприятиях на период 2000-2005гг.». С 2002 г. были начаты работы по совместному мониторингу р.р. Амур и Уссури, которые включали комплекс химико-аналитических, гидробиологических и гидрологических работ по 25 показателям. Первые результаты показали, что качество амурской воды оказалось хуже, чем уссурийской.

Новый этап в российско-китайском сотрудничестве начался после техногенной аварии в ноябре 2005 г. на нефтеперерабатывающем комбинате в г. Цзилинь и загрязнения р. Сунгари нитробензолом и другими ОБ. В Сунгари поступило около 100 т. токсичных веществ, включая нитробензол (НБ), бензол, анилин и другие летучие хлорсодержащие вещества. После аварии содержание НБ в воде Сунгари было выше китайских нормативов в 600 раз [3]. Во время прохождения фронта загрязнения дополнительно зарегистрированы высокотоксичный хлороформ, хлорбензол и другие

хлорсодержащие вещества, которые встречались затем во льдах и донных отложениях р. Амур [7]. Спустя месяц после техногенной аварии НБ был зарегистрирован в Амуре в районе с. Нижнеленинское (ниже устья Сунгари) возле правого берега в придонных слоях воды, его концентрация достигала 0,209 мг/л (20 ПДК). Летучие токсичные вещества (бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилола), накапливались в рыбе в различных комбинациях во время всего периода ледостава, для них ПДК не разработаны. Различия по содержанию НБ в разных видах рыб были существенными (табл. 3).

Таблица 3 - Содержание нитробензола в воде и рыбе р. Амур после техногенной аварии в г. Цилинь (КНР)

Вода			Рыба		
Дата	Место отбора (населенный пункт)	Концентрация, мг/л	Дата	Вид рыбы (вылов ниже г. Хабаровск)	Концентрация, мкг/кг
18.12.05	с. Нижнеленинское	0,209	18.12.05	Конь пестрый, Н-69	1,4
21.12.05	с. Петровское	0,138		Конь пестрый, Н-70	2,3
24.12.05	с. Нижнеспасское	0,079		Амурский лещ	36,1
24.12.05	г. Хабаровск	0,05	26.12.05	Конь-губарь	18,6
31.12.05	с. Малмыж	0,028		Налим	1,8
03.01.06	г. Комсомольск-на-Амуре	0,020		Верхогляд	60,0

Важную роль сыграло включение в программу мониторинга исследований загрязнения воды, донных отложений, льда и рыбы. Организация дополнительных створов по мере продвижения «нитробензольного пятна» от устья р. Сунгари мимо крупных городов (Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре) и использование хроматографических методов определения индивидуальных соединений позволило оценить масштабы загрязнения. Использование методов биоиндикации подтвердило актуальность концепции «речного континуума». Аккумуляцию токсичных ОБ в компонентах речной экосистемы (лед, донные отложения) и гидробионтах (рыба, моллюски) регистрировали на расстоянии 400-600 км от источника загрязнения.

Достижением российско-китайского сотрудничества можно назвать последние выпуски итогов мониторинга в 2012 и 2013 гг. Представленные в них результаты наблюдений по 40 показателям в нескольких створах на трансграничном участке ниже устьев р.р. Сунгари и Усури позволили оценить экологическую ситуацию и прогнозировать изменение состояния водных объектов при различном гидрологическом режиме в разные сезоны года. Благодаря этим данным был проведен сравнительный анализ влияния катастрофического наводнения 2013 г. на экосистему р. Амур.

Однако в настоящее время развитие российско-китайского мониторинга фактически остановлено по ряду причин, в том числе в связи с недостаточным финансированием со стороны Российской Федерации. Начиная с 2018 г., прекратились совместные сезонные наблюдения на трансграничном участке. В открытом доступе нет последних конкретных данных (показателей) по результатам российско-китайского мониторинга, если даже он периодически проводится.

Таким образом, возможности совершенствования трансграничного мониторинга в Приамурье могут быть расширены, если учитывать следующие моменты:

- необходимо оценивать потенциальные риски загрязнения стойкими ОВ и продуктами их разложения с учетом их динамики в пространстве и во времени;
- для прогнозирования экологических рисков необходим комплексный анализ сезонного загрязнения природных вод, использование научно-доказанных методологических подходов и концепций (бассейновый и экосистемный подходы, концепция «речного континуума»);
- при оценке критических экологических ситуаций на водных объектах ограничить применение формальных расчетных индексов на основе ПДК, не отражающих характер многокомпонентного загрязнения конкретными токсичными веществами, возможность их трансформации и аккумуляции в донных отложениях, льдах, биоте и не учитывающих пролонгированные ответные реакции водных организмов.

Эффективность и результативность трансграничного мониторинга загрязнения поверхностных вод в Приамурье могут быть достигнуты при создании доступной информационной базы данных и продолжении российско-китайского мониторинга. Обеспечение экологической безопасности в регионе возможно на основе сценарного прогнозирования изменений качества воды с учетом намечаемых тенденций в освоении природных ресурсов стран АТР. Крайне важно проведение международных междисциплинарных проектов с участием ученых разных специальностей (экологов, биологов, медиков, геоморфологов, гидрологов и математиков).

Список литературы

1. Факторы формирования качества воды на Нижнем Амуре / Под ред. Л.М. Кондратьевой. Владивосток: Дальнаука, 2008. 217 с.
2. Кондратьева Л.М., Рапопорт В.Л. Анализ содержания токсичных органических веществ в рыбе реки Амур // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 245-256.
3. Бердников Н.В., Рапопорт В.Л., Рыбас О.В., Пелых Т.И., Золотухина Г.Ф., Зазулина В.Е. Мониторинг загрязнения экосистемы р. Амур в результате аварии на химическом заводе в г. Цилинь (КНР): нитробензол // Тихоокеанская геология. 2006. Т.25, № 5. С. 94-103.
4. Кондратьева Л.М., Андреева Д.В., Голубева Е.М. Влияние крупных притоков на биогеохимические процессы в реке Амур // География и природные ресурсы. 2013. № 2. С. 36-43.
5. Рябкова В.А. Стойкие органические соединения, воздействие на биоту р. Амур и здоровье населения Приамурья // Регионы нового освоения: состояние, потенциал, перспективы в начале третьего тысячелетия. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН. 2002. Т.2. С.89-92.
6. Кондратьева Л.М. Экологический риск загрязнения водных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2005. 199 с.
7. Андриенко С. Н., Бардюк В. В., Веселовская О. В. О реализации комплексных мер по обеспечению экологической безопасности населения Российского Приамурья. Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2006. С. 10-15.
8. Батурина Н. С. Закономерности организации речных экосистем: ретроспектива становления современных концепций // Биология внутренних вод. 2019. № 1. С. 3-11.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК КАЗАХСТАН - РОССИЯ

Корнюхова О.В.

РГП «Казгидромет» г. Нур-Султан, РК

E-mail: Kornukhova_o@meteo.kz

РГП «Казгидромет» проводит гидрохимический мониторинг трансграничных рек с Российской Федерацией на 19 створах 17 рек.

Справочно: (р.р. Ертыс – с. Прииртышское, Есиль – с. Долматово, Тобыл – с. Милютинка, Тобыл – п. Аккарага, Желкуар – п. Чайковское, Айет – с. Варваринка, Тогызак – ст. Тогызак, Обаган – с. Аксуат, Уй – с. Уйское, Жайык – с. Январцево, Шаган – п. Чувашинский, Караозен (Большая Узень) – с. Жалпактал, Сарыозен (Малая Узень) – с. Бостандыксий, Елек – с. Целинный и с. Шилик, Улькен Кобда – п. Кобда, Ор – с. Богетсай, пр. Шароновка – с. Ганюшкино, рук. Кигаи – с. Котяевка).

Качество воды определяется ежемесячно, ежедекадно и в основные гидрологические фазы по 60 физико-химическим показателям: температура, взвешенные вещества, цветность, прозрачность, водородный показатель (рН), растворенный кислород, БПК₅, ХПК, главные ионы солевого состава, биогенные элементы, органические вещества (нефтепродукты, фенолы), тяжелые металлы, хлороорганические пестициды (пестициды альфа, гамма-ГХЦГ, 4,4-ДДТ, 4,4-ДДЕ).

На трансграничных р.р. Ертыс, Жайык, Елек, Шаган, Тобыл, Айет выполняется мониторинг радионуклидов и 30 микро-макроэлементов в воде, донных отложениях, почве 2 раза в год (апрель, август).

Совместный отбор проб воды и обмен гидрохимической информацией (данными) на трансграничных реках с Российской Федерацией выполняется в рамках Соглашения между Правительством РК и Правительством РФ о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов (№891 от 3 сентября 2010 г.).

Многолетнее состояние качества воды на трансграничных створах бассейна реки Жайык (Урал), Есиль (Ишим), Тобыл (Тобол), Айет (Аят) за 2010-2020 гг.

Река Жайык за 2010-2020 гг.

Многолетние наблюдения за качеством поверхностных вод р. Жайык Западно-Казахстанской области показывают, что качество поверхностных вод колеблется от «умеренно загрязненного» до «чистого».

Качество воды по ИЗВ в 2011-2014 гг. относится к 3 классу, к степени «умеренно загрязненная» (ИЗВ=1,02-1,27), за исключением 2010, 2012 гг. «чистая» (ИЗВ=0,87-0,92); по КИЗВ качество воды с 2015 по 2018 г. относится к степени «умеренного уровня загрязнения» (КИЗВ=1,08-1,75).

В воде наблюдаются превышения ПДК по азоту нитритному (1,1-1,3 ПДК), фенолам (1,1-1,2 ПДК), хрому (6+) (1,2-1,5 ПДК), железу общему (1,1-2,2 ПДК), хлоридам (1,1 ПДК в 2015 г.) и натрию (1,1 ПДК в 2016г.).

Многолетние наблюдения за качеством поверхностных вод р. Жайык Атырауской области показывают, что, качество поверхностных вод существенно не изменилось (рис. 1).

Качество воды по индексу загрязненности воды (ИЗВ), в 2010-2014гг. относится ко 2 классу, к степени «чистая». По комплексному индексу загрязненности воды (КИЗВ) качество воды реки в 2015-2018гг. оценивается как «нормативно чистая» (КИЗВ=0,0).

В 2019-2020 г.г. по Единой классификации качество воды реки Жайык относится к «4 классу» на территории ЗКО и «>5 класса» на территории Атырауской области.



Рисунок 1 – Качество поверхностных вод р. Жайык (2008 – 2018 гг.)

Река Елек за 2010-2020 гг.

Многолетние наблюдения за качеством поверхностных вод р. Елек Западно-Казахстанской области показывают, что качество воды по ИЗВ в 2010-2014 гг. относится к 3 классу, к степени «умеренно загрязненная» (ИЗВ=1,05-1,36), за исключением 2012 г. «чистая» (ИЗВ=1,0); по КИЗВ качество воды с 2015 по 2018 года относится к степени «умеренного уровня загрязнения» (КИЗВ=1,5-1,7).

Многолетние наблюдения за качеством поверхностных вод р. Елек Актюбинской области показывают, что степень загрязнения воды оценивается как «грязная» (2010-2011 и 2013гг.), «загрязненная» (2012 и 2014 гг.) и «высокого уровня загрязнения» (2015-2018 гг.).

В период с 2010 по 2018 гг. в воде систематически фиксируются превышения ПДК по бору (5,1-10,4 ПДК), хрому (6+) (2,2-4,6 ПДК), меди (1,4-13,0 ПДК), цинку (1,4-1,8 ПДК), марганцу (3,6-5,8 ПДК), аммоний солевому (1,3-2,1 ПДК), азоту нитритному (1,5-4,1 ПДК), фенолам (2,0 ПДК в 2016г.), нефтепродуктам (1,6-4,2 ПДК в 2015-2016гг.), сульфатам (1,1-1,9 ПДК), хрому (3+) (2,4 ПДК в 2017г.) (рис.2).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды реки Елек относится к «4 классу» по содержанию хлоридов (436,03 мг/дм³) на территории ЗКО, на территории Актюбинской области также относится к «4 классу» по содержанию магния (35,83 мг/дм³), хрома (6+) (0,083 мг/дм³), фенолов (0,0011 мг/дм³).

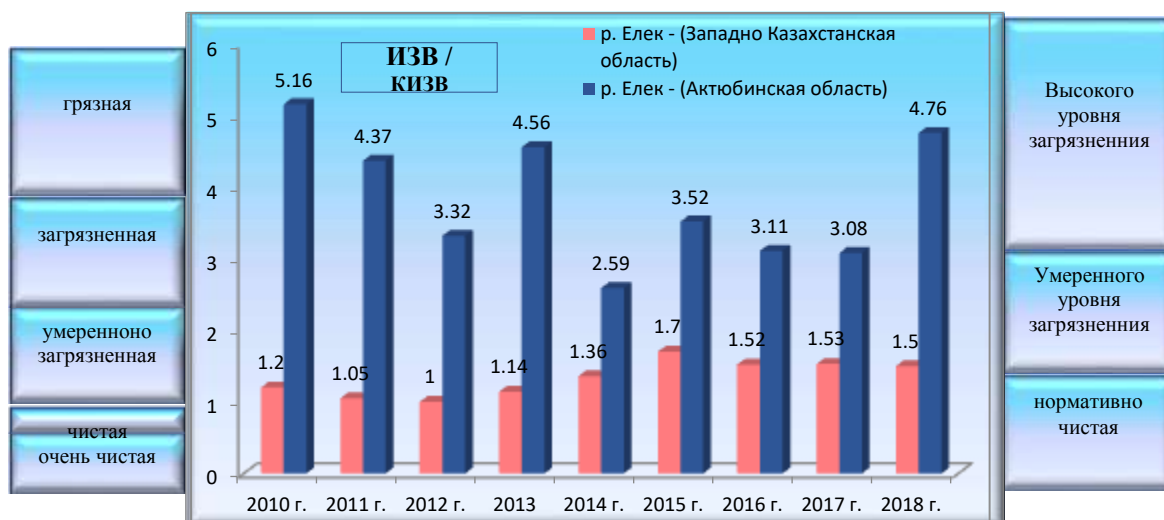


Рисунок 2 – Качество поверхностных вод р. Елек (2010 – 2018 гг.)

В 2020 г. по Единой классификации качество воды реки Елек относится к «4 классу» по содержанию аммоний-иона (1,088 мг/дм³) на территории ЗКО, на территории Актюбинской области также относится к «4 классу» по содержанию магния (53,75 мг/дм³), хрома (6+) (0,076 мг/дм³), фенолов (0,0017 мг/дм³).

Река Шаган за 2010-2020 гг.

По данным за период с 2010 по 2018 гг. качество поверхностных вод р. Шаган оценивается как «умеренного уровня загрязнения», кроме 2012-2013 гг. «чистая» и 2016г. «нормативно-чистая» (рис. 3).

Превышение ПДК отмечается по азоту нитритному (1,4-1,5 ПДК), железу общему (1,1-2,1 ПДК), фенолам (1,1-1,3 ПДК), сульфатам (1,1-1,5 ПДК), хлоридам (1,2-1,4 ПДК).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды реки Шаган относится к «4 классу» по содержанию взвешенных веществ (24,2 мг/дм³).

В 2020 г. по Единой классификации качество воды реки Шаган относится к «3 классу» по содержанию магния (25,0 мг/дм³).

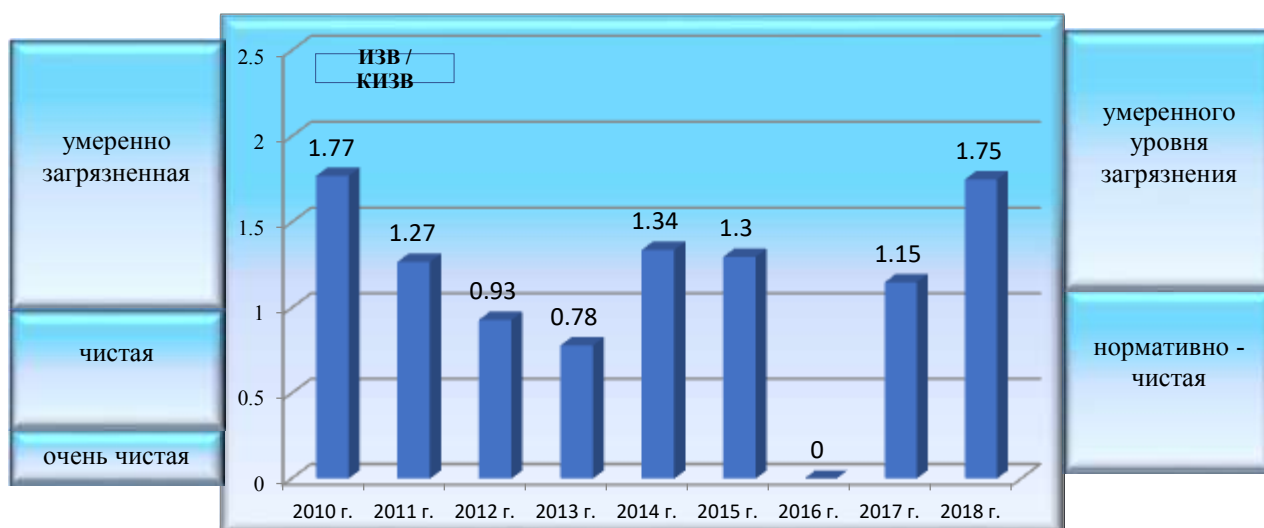


Рисунок 3 – Качество поверхностных вод р. Шаган (2010 – 2018 гг.)

Река Шынгырлау за 2010-2020 гг.

В период с 2010 по 2018 гг. качество поверхностных вод р. Шынгырлау оценивалось как «умеренного уровня загрязнения», кроме 2015 г. «высокого уровня загрязнения». Превышение ПДК отмечается по хлоридам (1,8-3,2 ПДК), фенолам (1,2-1,6 ПДК), железу общему (1,3-2,3 ПДК), магнию (1,1-1,3 ПДК), сульфатам (1,2-1,5 ПДК) (рис. 4).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды р. Шынгырлау оценивается как «выше 5 класса» (хлориды – 641,2 мг/дм³).

В 2020 г. по Единой классификации качество воды р. Шынгырлау оценивается как «выше 5 класса» (хлориды – 576,06 мг/дм³).

Река Орь за 2010-2020 гг.

В период с 2010 по 2018 гг. качество поверхностных вод р. Орь оценивалось в разных годах по-разному: «умеренно загрязненная» (в 2010-2011 гг. и 2018 г.), «высокого уровня загрязнения» (в 2015-2017гг.), «очень грязная» (2013 г.).

Превышение ПДК отмечается по меди (3,5-22,0 ПДК), аммоний-иону (1,3-5,0 ПДК), фенолам (1,2-6,0 ПДК), марганцу (4,3-7,4 ПДК), азоту нитритному (2,4-3,1 ПДК), цинку (3,1-3,2 ПДК) (рис. 5).



Рисунок 4– Качество поверхностных вод р. Шынгырлау (2008 – 2018 гг.)

В 2019 г. по Единой классификации качество воды р. Орь оценивается как «4 класс» (аммоний-ион - 1,45 мг/дм³, магний – 41,6 мг/дм³).

В 2020 году по Единой классификации качество воды р. Орь оценивается как «4 класс» (магний – 40,88 мг/дм³).

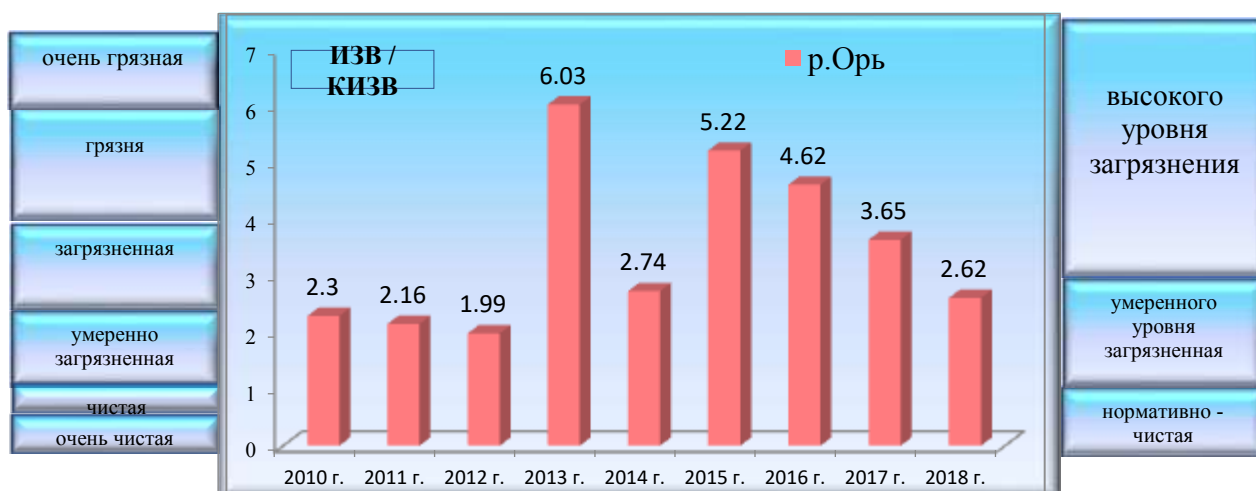


Рисунок 5– Качество поверхностных вод р. Орь (2010 – 2018 гг.)

Река Улькен Кобда за 2010-2020 гг.

В период с 2012 по 2018 гг. качество поверхностных вод р. Улькен Кобда оценивалось в разных годах по-разному: «умеренного уровня загрязнения» и «умеренно загрязненная» (2017, 2014, 2018 гг.), «загрязненная» (2012 г.) «высокого уровня загрязнения» (в 2015-2016гг.), «грязная» (2013 г.)

Превышение ПДК отмечается по меди (6,0-19,0 ПДК), фенолам (1,1-3,0 ПДК), марганцу (3,0-4,6 ПДК), нефтепродуктам (2,4-3,1 ПДК), аммоний-иону (1,1-1,6 ПДК), цинку (1,2-5,1 ПДК), сульфатам (1,1-1,8 ПДК), железу общему (1,1-1,9 ПДК), хлоридам (1,1 ПДК) (рис. 6).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды р. Улькен Кобда оценивается как «4 класс» (аммоний-ион - 1,87 мг/дм³, минерализация - 1324 мг/дм³, фенолы-0,0017 мг/дм³).

В 2020 году по Единой классификации качество воды р. Улькен Кобда оценивается как «4 класс» (магний-53,08 мг/дм³).



Рисунок 5– Качество поверхностных вод р. Улькен Кобда (2010-2018 гг.)

Река Караозен за 2010-2020 гг.

В период с 2010 по 2018 гг. качество поверхностных вод р. Караозен оценивалось как «умеренного уровня загрязнения».

Превышение ПДК отмечается по сульфатам (1,8-4,6 ПДК), хлоридам (1,6-3,1 ПДК), фенолы (1,1-1,7 ПДК), железу общему (1,2-1,8 ПДК), магнию (1,1-1,9 ПДК), азоту нитритному (1,1-1,4 ПДК), хрому (6+) (1,7 ПДК) (рис. 7).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды р. Караозен оценивается как «выше 5 класса» (хлориды – 916,4 мг/дм³).

В 2020 г. по Единой классификации качество воды р. Караозен оценивается как «выше 5 класса» (хлориды – 619,2 мг/дм³).

Река Сарыозен за 2010-2020 гг.

В период с 2010 по 2018 гг. качество поверхностных вод р. Сарыозен оценивалось как «умеренного уровня загрязнения», кроме 2011 г. («чистая»).

Превышение ПДК отмечается по хлоридам (1,4-3,0 ПДК), фенолам (1,1-1,7 ПДК), сульфатам (1,4 ПДК в 2010г.), железу общему (1,1-1,6 ПДК), магнию (1,1-2,0 ПДК), азоту нитритному (1,1-1,2 ПДК), аммонийю солевому (1,1 ПДК в 2017г.), хрому (6+) (1,7 ПДК в 2013 г.) (рис. 7).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды р. Сарыозен относится к «4 классу» (магний – 30,2 мг/л, взвешенные вещества – 24,0 мг/дм³).

В 2020 г. по Единой классификации качество воды р. Сарыозен относится к «4 классу» (взвешенные вещества – 22,25 мг/дм³).

Река Есиль за 2010-2020 гг.

В период с 2010 по 2018 гг. качество поверхностных вод р. Есиль оценивалось как «умеренного уровня загрязнения», кроме 2011-2012 г. («чистая») на территории Северо-Казахстанской области.

Превышение ПДК отмечается азот нитритному (1,3 ПДК в 2010 году), сульфатам (1,1-3,8 ПДК), железу общему (1,4-2,6 ПДК), марганцу (1,5-6,5 ПДК), цинку (1,3-2,7 ПДК), меди (1,4- 6,7 ПДК), никелю (1,4-2,7 ПДК), молибдену (4,7 ПДК в 2014 году) (рис. 8).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды р. Есиль относится к «4 классу» (взвешенные вещества – 10,1мг/дм³, фенолы – 0,0016 мг/дм³), на территории Северо-Казахстанской области, на территории Акмолинской области также относится к «4 классу» (магний – 35,8 мг/дм³)

В 2020 г. по Единой классификации качество воды р. Есиль относится к «выше 3 класса» (фенолы – 0,0017 мг/дм³) на территории СКО и «выше 5 класса» (фториды – 2,42 мг/дм³) на территории Акмолинской области.

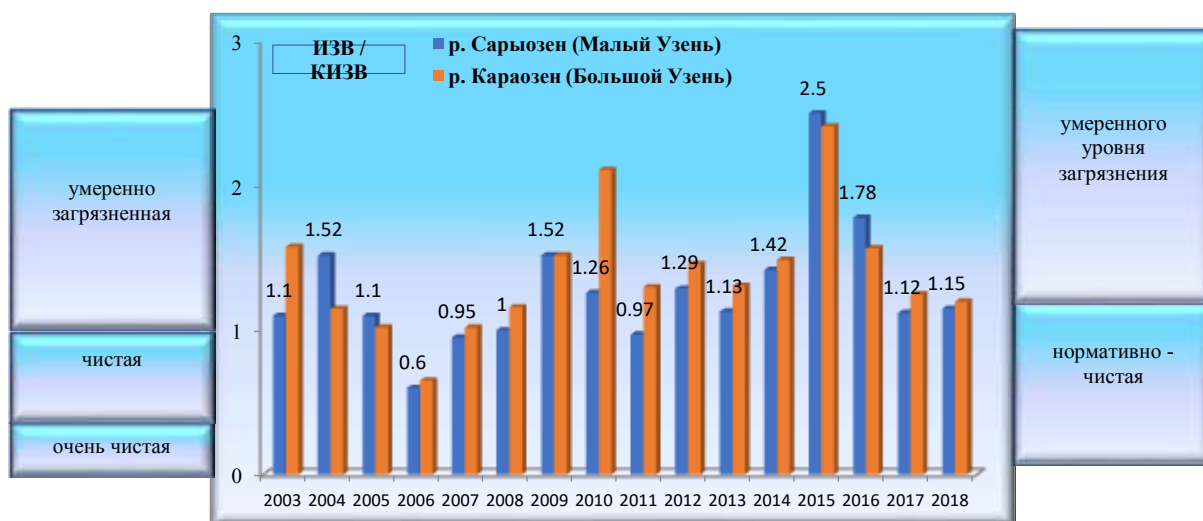


Рисунок 7– Качество поверхностных вод р.р. Караозен и Сарьозен (2003– 2018 гг.)

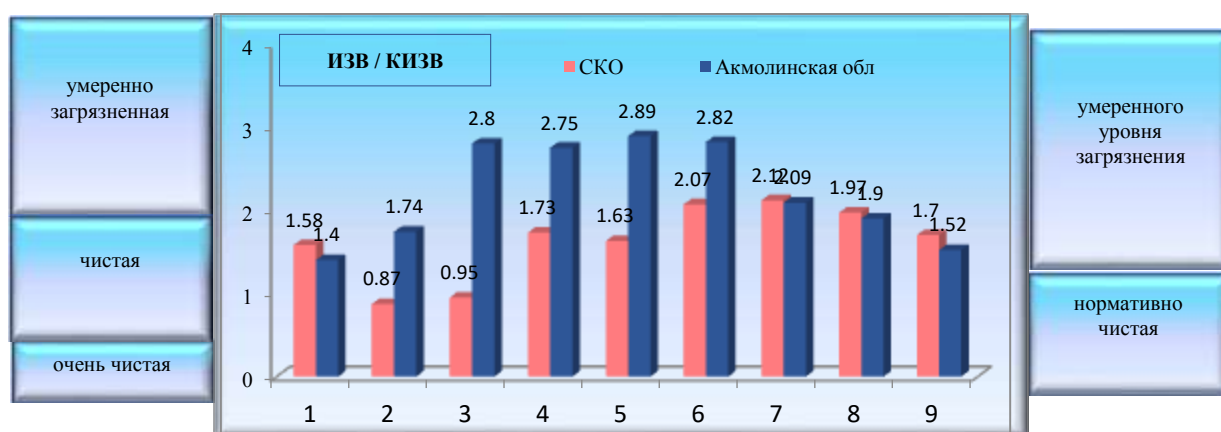


Рисунок 8 – Качество поверхностных вод р. Есиль (2010– 2018 гг.)

Река Тобыл за 2010-2020 гг.

Многолетние наблюдения за качеством поверхностных вод р. Тобыл показывают, что качество воды по ИЗВ в 2010-2013 гг. относится к 3 классу, к степени «умеренно загрязненная» (ИЗВ = 1,2-2,23), за исключением 2014 г. - «загрязненная» (ИЗВ = 3,86); по КИЗВ качество воды с 2015 и 2017 относится к степени «высокого уровня загрязнения» (КИЗВ = 3,18-4,19), 2016 и 2018 гг. относится к степени «умеренного уровня загрязнения» (КИЗВ = 2,26-2,57).

В период с 2010 по 2018 гг. в воде систематически фиксировались превышения ПДК по меди (1,5-18,5 ПДК), цинку (1,1-2,7 ПДК), марганцу (2,6-11,0 ПДК), никелю (1,6-7,6 ПДК), железу общему (1,7-5,9 ПДК), аммонию солевому (1,1-3,2 ПДК), азоту нитритному (1,1-3,8 ПДК), хлоридам (1,8 ПДК в 2016г.), сульфатам (1,2-3,8 ПДК), магнию (1,1-1,9 ПДК) (рис. 9).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды р. Тобыл относится к «выше 5 класса» по содержанию (магний – 110,2 мг/л, хлориды – 743,2 мг/л, минерализация – 2090,4 мг/дм³).

В 2020 г. по Единой классификации качество воды р. Тобыл относится к «выше 5 класса» по содержанию (магний – 184,0 мг/л, хлориды – 864,9 мг/л, минерализация – 2266,20 мг/л, взвешенные вещества – 41,3 мг/дм³).

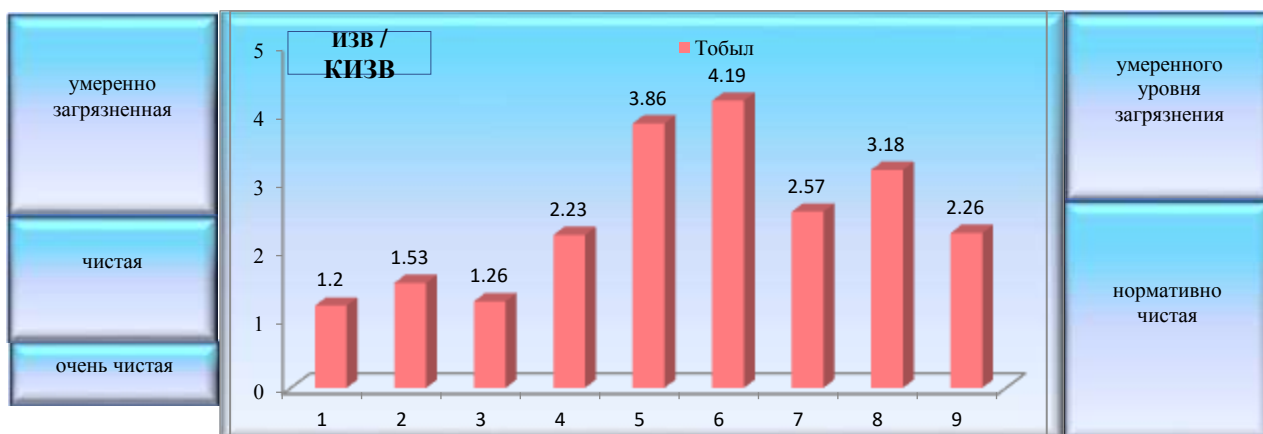


Рисунок 9 – Качество поверхностных вод р. Тобыл (2010– 2018 гг.)

Река Айет за 2010-2020 гг.

В реке Айет качество воды по ИЗВ в 2010-2014 гг. относится к 3 классу, к степени «умеренно загрязненная» (ИЗВ=1,1-1,78); по КИЗВ качество воды с 2015-2017 гг. относится к степени «высокого уровня загрязнения» (КИЗВ=3,16-4,99), в 2018 г. - к степени «умеренного уровня загрязнения» (КИЗВ=2,35).

Превышение ПДК отмечается по магнию (1,1-1,3ПДК), марганцу (1,6-10,6 ПДК), никелю (4,2-10,4 ПДК), железу общему (2,5-3,7 ПДК), азоту нитритному (1,2 ПДК в 2017г.), аммонийю солевому (1,5 ПДК в 2018г.) (рис. 10).

В 2019 г. по Единой классификации качество воды реки Айет относится к «5 классу» (никель– 0,11 мг/л).

В 2020 г. по Единой классификации качество воды реки Айет относится к «4 классу» (магний – 55,1 мг/дм³).

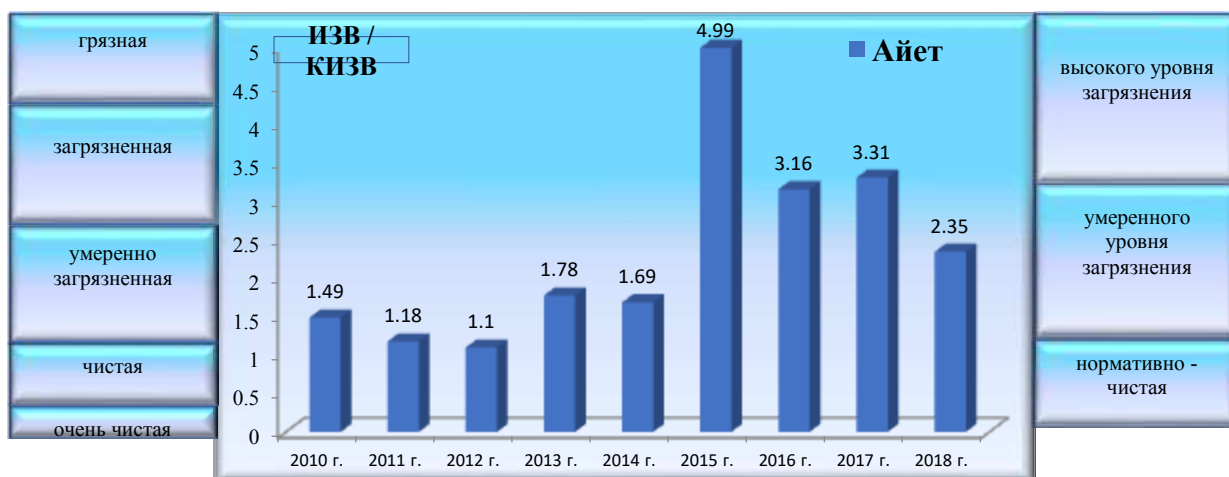


Рисунок 10 – Качество поверхностных вод р. Айет (2010– 2018 гг.)

Результаты мониторинга на трансграничных реках с Российской Федерацией представлены в таблице.

Таблица 1 - Результаты мониторинга на трансграничных реках с Российской Федерацией за 2020 г.

Класс качества воды*	Характеристика воды по видам водопользования	Водные объекты и показатели качества воды за 2020 год.
1 класс (наилучшего качества)	вода пригодна на все виды водопользования	1 водный объект (1 река): река Ертыс
(>3 класс)	- вода пригодна для орошения и промышленности	1 водный объект (1 река): река Есиль (фенолы).
4 класс	- вода пригодна для орошения и промышленности; - для хозяйственно питьевого водоснабжения требуется методы глубокой водоподготовки	8 водных объектов (8 рек): реки Айт (магний), Уй (магний, железо (2+)), Жайык (взвешенные вещества), Шаган (магний), Сарьозен (взвешенные вещества), Елек (с. Целинный) (магний, фенолы, хром (6+)), Елек (с. Шилик) (аммоний-ион), Улькен Кобда (магний), Ор (магний).
5 класс (наихудшего качества)	Вода пригодна только для некоторых видов промышленности – гидроэнергетика, добыча полезных ископаемых, гидротранспорт	2 водных объекта (2 реки): реки Тобыл (с. Милютинка) (взвешенные вещества), Тогызак (взвешенные вещества).
>5 класса	Вода не пригодна для всех видов водопользования;	6 водных объектов (6 рек): реки Тобыл (п. Аккарга) (кальций, магний, взвешенные вещества, хлориды, аммоний-ион, минерализация), Обаган (кальций, магний, сульфаты, взвешенные вещества, хлориды, минерализация), Желкуар (хлориды), Караозен (хлориды), Шаронова (взвешенные вещества), Кигаш (взвешенные вещества).

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСГРАНИЧНОГО ВОДООБМЕНА В РОССИИ

*Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В.,
Зайцева И.С.*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии
Российской академии наук, Москва
E-mail: koronkevich@igras.ru

Аннотация. Рассмотрены разные виды трансграничного водообмена в России как через государственные, административные, так и природные границы. Приведен ряд показателей атмосферного влагопереноса, ветрового перемещения снега, переноса воды в виде стока через границы отдельных элементов ландшафта, через границы природных зон. Оценен масштаб перемещения воды в составе производимой продукции. Выявлены основные проблемы, связанные с трансграничным переносом воды, и пути их решения.

Ключевые слова: трансграничный водообмен, проблемы, пути решения.

FEATURES OF TRANSBOUNDARY WATER EXCHANGE IN RUSSIA

Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Zaitseva I.S.
Institute of Geography Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. Different types of transboundary water exchange in Russia are examined both across state, administrative, and natural borders. A number of indicators of atmospheric moisture

transfer, wind induced snow transport, water transfer in the form of runoff across the boundaries of individual landscape elements and natural zones are presented. The movement of water entering into the composition of the produced products is estimated. The main problems associated with transboundary water transport and ways to solve them are identified.

Key words: transboundary water exchange; problems; ways of solution.

“Трансграничный” буквально означает пересекающий границы. В основном этот термин в отношении водных ресурсов применяют для оценки водообмена, главным образом, речным стоком соседних государств. Однако нам представляется уместным применять этот термин для любых границ, не только межгосударственных, но и административных внутри страны, как, например, для границ субъектов Российской Федерации, ее федеральных округов, а также природных и природно-антропогенных границ, пересекаемых не только речным стоком и отдельными его составляющими, течениями в водоемах и дрейфующими льдами, но и атмосферным переносом влаги, ветровым переносом снега, лавинами и селями, перемещением воды в составе различной продукции, людьми и животными. Природными границами при этом служат границы ландшафтов, природных зон, частей света и континентов. Весьма важно знать не только собственно водообмен, но и содержание в переносимой воде различных веществ, особенно загрязняющих природную среду.

Исходными материалами для нашего исследования послужили данные гидрологических наблюдений, сведения, содержащиеся в различных статистических справочниках, а также в литературных источниках. Основной метод исследований – географо-гидрологическое обобщение статистических данных, содержащихся в исходных материалах.

Согласно монографии [1], над территорией РФ ежегодно *переносится в атмосфере* 9 тыс. км³ влаги, что примерно соответствует количеству осадков и в 2-2.5 раза превышает речной сток с территории России. В то же время атмосферный влагоперенос намного уступает *морскому водообмену* на границах России. Достаточно сказать, что только приток атлантических вод к западным границам Баренцева моря, то есть относительно недалеко от морской границы России, составляет, по разным оценкам, от 49 до 74 тыс. км³/год.

Ветровой перенос снега как через природные, так и административные, государственные границы на несколько порядков меньше атмосферного переноса. На открытых пространствах европейской территории России предельная дальность метелевого переноса снега составляет 1,5-2 км, а в Западной Сибири – 2-3 км. Но ветровой перенос снега существенно влияет на формирование стока весеннего половодья. В лесостепных и степных районах России в результате ветрового переноса снега его запасы на плакорах и пологих склонах к началу весеннего половодья в 2-3 раза ниже, чем в овражно-балочной сети, куда сносится снег и где коэффициент стока выше, чем на пологих склонах.

Водый сток через природные границы. В период исчисления нормы стока по К.П. Воскресенскому [2] в лесостепных и степных районах Русской равнины к границам гидрографической сети за время половодья притекало 30-50% поверхностного склонового стока. В настоящее время, в связи, в основном, с климатическими изменениями (учащение оттепелей, меньшая глубина промерзания почвы и, как следствие, лучшие условия инфильтрации), этот показатель снизился в 2-5 раз [3].

Если рассматривать природные зоны, то, например, в бассейне Волги к границам лесостепной зоны притекает из лесной зоны (включая горные территории) 87% общего речного стока Волги, к границам степной зоны – 96%, а к полупустынным районам – почти 100%.

Сток с территории России в моря составляет более 98% общего стока. А вот обмен речным стоком между европейской и азиатской частями страны практически близок нулю.

Представляется целесообразным выделить 6 категорий *притока транзитного стока в долях от общего стока*: отсутствует, незначительный (меньше 20%), малый (20-40%), средний, сбалансированный с местным стоком (40-60%), большой (60-80%), доминирующий (более 80%).

Транзитный приток отсутствует или незначителен в 26 субъектах федерации, причем в 3 из них он полностью отсутствует. Малый приток наблюдается в 10 субъектах, приток и отток сбалансированы в 11, в 16 – транзитный сток составляет 60-80% в общем стоке, а в 19 в Астраханской и Волгоградской областях он доминирует, приближаясь к 100%.

Транзитный сток является доминирующим в Южном ФО, где невелик объем местного стока, а объем общего стока значителен за счет притока, в основном, по Волге. Меньше всего (менее 10%) доля транзитного стока в общем стоке в Сибирском и Северо-Кавказском ФО.

Приток в Россию из соседних государств значительно превышает *отток* в них. По уточненным средним многолетним данным [4] приток составил 192.6 км³/год (4.5% общих ресурсов речного стока), отток – 47 км³/год (1.1%), что составляет 1/4 притока.

Больше всего на территорию России притекает, в среднем за год, из Финляндии (более 25 км³), Казахстана (свыше 31 км³), Монголии (около 25 км³) и, особенно, Китая (свыше 95 км³). Наибольший отток осуществляется в Белоруссию (более 14 км³), Украину (более 11 км³), Казахстан (около 11 км³).

В России по *каналам перебрасывается* из одних речных бассейнов в другие около 17 км³/год [5]. Широкая дискуссия развернулась в свое время в отношении проектов межзональной переброски части стока северных рек европейской части страны в бассейн Волги и из Оби и Иртыша – в бассейн Аральского моря. Одна из главных причин неосуществления этих проектов – их высокая стоимость. В этой связи интересны результаты обобщения мирового опыта стоимости переброски 1 км³ воды в сравнении с другими способами увеличения располагаемых пресных водных ресурсов [1]. Из этого обобщения видно, что удельные капитальные затраты на территориальное перераспределение стока меньше, чем на современные технологии в промышленности и очистку промышленных сточных вод, а также на реконструкцию оросительных систем и технологии полива. Однако, приведенные затраты относятся к преобладающим в мире переброскам воды на сравнительно небольшие расстояния. Стоимость переброски на большие расстояния существенно возрастает.

В составе производимой продукции и товаров воды переносится, в целом, значительно меньше, чем с другими видами водообмена. Согласно статистическим данным, в составе транспортируемой нефти ее содержание составляет приблизительно 0.5%, угля и железной руды – 16-18%, древесины – 22%, зерна – 14%, а в составе овощей и корнеплодов – до 50% и более. Учитывая размеры добычи нефти, угля, руды, производства древесины, зерна в России в 2016 г., объем воды в этой продукции составил от около 3 млн. м³ (нефть) до 70 млн. м³ (уголь). Определенное количество воды транспортируется из одних районов в другие непосредственно в виде товарной продукции (обычная натуральная, минеральная, газированная вода, напитки и соки). В масштабах всей страны это сравнительно небольшие величины, но для отдельных районов как производителей той или иной продукции, так и ее потребителей, вода в составе перемещаемой продукции может быть существенной частью местного водного баланса.

На территорию России, в связи с преобладающим западным, северо-западным атмосферным влагопереносом, *переносится значительная часть загрязняющих веществ*, выбрасываемых в атмосферу различными отраслями хозяйства зарубежной

Европы. Это влияние усугубляется воздействием внутрироссийских источников атмосферного загрязнения, особенно заметным в виде ореолов загрязнения снежного покрова вокруг городских агломераций. Но и в удалении от этих агломераций содержание в снеге различных примесей может быть существенным. Так, по наблюдениям Института географии РАН, в конце марта 2018 г. на водосборах р.р. Линда и Кудьма (притоки Чебоксарского водохранилища) концентрация минерального азота в снежном покрове в лесу была 0.51 мг/л, на сельскохозяйственных угодьях – 0.33 мг/л, а на урбанизированных территориях – 0.98 мг/л. В годовом водно-биогенном балансе Курской области поступление с атмосферными осадками минерального азота составило в среднем 641 кг/км², а минерального фосфора – 13 кг/км².

Диффузное загрязнение рек и водоемов, особенно биогенное, во многих случаях существенно больше поступающего со сточными водами. Так, для упомянутых выше р.р. Кудьма и Линда диффузное поступление биогенов в речную сеть составляет 75-95% их общего поступления.

Конечно, наиболее очевидна роль трансграничного переноса вещества и энергии с водным стоком, называемого по С.Д. Муравейскому геостоком, при его сопоставлении с качественным составом местных вод. Транзитные воды могут быть как более, так и менее загрязненными, по сравнению с местными, могут отеплять их, как в случае с реками, текущими с юга на север, и охлаждать при противоположной направленности течения, если в эту закономерность не вмешивается сброс подогретых сточных вод. Возможны самые разные сочетания, но, очевидно, что чем больше разбавление сточных вод, создаваемое притоком транзитного стока, тем, при прочих равных условиях, качество природных вод будет лучше. Особый интерес представляют случаи взаимного обмена загрязненными сточными водами между государствами. Так, согласно [6], приток загрязненных сточных вод в Россию с территории Украины был в 1.5 раза выше, чем отток на Украину. С Казахстаном наблюдалась обратная картина – приток загрязненных сточных вод в Россию почти в 2.9 раза меньше, чем их отток.

Основные проблемы трансграничного межрегионального и межгосударственного водообмена следующие:

1. Вопросы вододеления на хозяйственные нужды трансграничных и пограничных рек.

2. Кто и в каком объеме возмещает ущерб, наносимый загрязнением трансграничных и пограничных рек и водоемов?

3. Обеспечение приемлемого экологического состояния (как в отношении количества, так и качества вод) трансграничных и пограничных рек и водоемов.

4. Обеспечение общей безопасности населения и хозяйства на трансграничных и пограничных реках в условиях возможных природных и антропогенных катаклизмов.

Наибольшую остроту приобрели вопросы загрязнения рек и водоемов. По этому признаку на границах России можно выделить следующие проблемные регионы (речные бассейны). Это район Верхнего Днепра, из которого загрязняющие вещества попадают в Белоруссию и Украину; Нижнего Дона, точнее Северского Донца, с обратным направлением загрязняющих веществ (с территории Украины); бассейн Урала с преимущественным оттоком загрязняющих веществ в Казахстан; юг Западной Сибири, получающий загрязнения со стоком Иртыша и Ишима; бассейн Селенги, которая несет загрязнения с территории Монголии; бассейн Амура, воды которого загрязняются р.р. Аргунь, Сунгари и др., притекающими с территории Китая.

Основные принципиальные *пути решения* проблем трансграничного водообмена разработаны уже давно. О них, в частности, говорится в документах, упомянутых в [7, 8 и др.]. В них провозглашен бассейновый подход к решению трансграничных гидрологических проблем. Очень важно, что они исходят из принципа максимального учета интересов стран, расположенных в бассейнах трансграничных рек. Важной

составной частью этих документов является положение о возмещении ущерба, наносимого в результате нерационального водопользования, нашедшее отражение в формулировке «загрязнитель платит». Подобные подходы применимы и для субъектов РФ.

В настоящее время во всем мире действует немало бассейновых соглашений между отдельными странами, в которых реализуются идеи указанных выше и других международных договоренностей. В частности, Россия имеет такие соглашения с Финляндией, Эстонией, Белоруссией, Украиной, Азербайджаном, Казахстаном, Китаем. Среди рек, по которым заключены соглашения – Днепр, Северский Донец, Амур. Есть бассейновые соглашения и между субъектами Российской Федерации, например, в бассейне Волги. Принципиальные пути решения трансграничных водных проблем известны, в том числе, путем заключения бассейновых соглашений, но практически они не всегда реализуются.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института географии РАН № 0148-2019-0007 (АААА-А19-119021990093-8).

Список литературы

1. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Гос. гидролог. ин-т, 2008. 600 с.
2. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 548 с.
3. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А. Оценка антропогенных воздействий на водные ресурсы России // Вестник РАН. 2019. № 6. С 603-614
4. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2017 году (Стат. сб.) / Под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко и А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа, 2018. 230 с.
5. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М., НИА-Природа, 2019. 290 с.
6. Ключев Н.Н. Экологические угрозы в Российском приграничье // Изв. РАН. Сер. географ. 2017. № 1. С. 35-46.
7. Болгов М.В., Демин А.П., Шаталова К.Ю. Институциональные, нормативно-правовые и управленческие аспекты использования трансграничных водных объектов России // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 4. С. 442-450.
8. Никанорова А.Д., Егоров С.А. Становление принципов и норм, регулирующих использование государствами трансграничных водных ресурсов // Водные ресурсы. 2019. Т.46. № 1. С. 114-120.

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМОВ ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕКЕ УРАЛ

***Косолапов А.Е.¹, Калиманов Т.А.¹, Шефер Е.А.¹, Чмыхов А.А.¹,
Косолапова Н.А.², Ридель С.А.³***

¹ФГБУ РосИНИВХЦ, г. Ростов-на-Дону, Россия

²Южный Федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

³Отдел водных ресурсов Нижне-Волжского бассейнового водного управления по Оренбургской области, г. Оренбург, Россия

E-mail: akosol@mail.ru

Аннотация: Рассмотрена современная техническая водохозяйственная схема реки Урал на территории Российской Федерации. Дана оценка современного использования водных ресурсов в российской части бассейна, приведены особенности действующих правил

использования водных ресурсов Верхне-Уральского, Магнитогорского и Ириклинского водохранилищ. Выполнен анализ возможности увеличения объема стока, поступающего на территорию Республики Казахстан, за счет изменения объема и режима попуска из водохранилищ. Сформулирован вывод о невозможности изменения современного режима каскадного регулирования стока Верхне-Уральским и Магнитогорским водохранилищами в связи с возможными значительными социально-экономическими и водохозяйственными проблемами. Рассмотрены варианты изменения правил использования водных ресурсов Ириклинского водохранилища с учетом предложений Республики Казахстан, дана оценка надежности водообеспечения водопользователей на территории Российской Федерации при изменении правил.

Ключевые слова: трансграничный речной бассейн, естественный сток, водохранилища, водохозяйственный комплекс, режим работы водохранилищ, правила использования водных ресурсов, имитационная водохозяйственная модель, обеспеченность водными ресурсами.

TO THE PROBLEM OF AN OPPORTUNITY TO CHANGE CONDITIONS OF RESERVOIRS ON THE URAL RIVER

Kosolapov A. E.¹, Kalimanov T. A.¹, Chmikhov A. A., Kosolapova N. A.²-Ridel S. A.³

¹Russian Informatic – Analytic Water Economy Centre (FSBI RosINIVKhTs), Rostov-on-Don

²Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

³Water Resources department of Nizhne-Volzhsk basin water administration through Orenburg region, Orenburg, Russia

Abstract. The present-day technological water management pattern of the Ural River on the territory of the Russian Federation is considered. Assessment of the modern water resources use in the Russian part of the basin is given, features of effective rules to use water resources of Verkhne-Uralsk, Magnitogorsk and Iriklink reservoirs are presented. Analysis of opportunities to increase the volume of runoff coming to the territory of the Kazakhstan Republic by changing the volume and conditions of drawdown from the reservoirs is carried out. The conclusion on impossibility to change the present-day conditions of discharge flow regulation for the Verkhne-Uralsk and Magnitogorsk reservoirs in connection with possible considerable social and economical and water management problems is formulated. Alternatives to change the rules of the water resources use for the Iriklink reservoir taking into account proposals of the Kazakhstan Republic are considered, assessment for reliable water availability of water users on the territory of the Russian Federation when changing the rules is given.

Key words: trans boundary river basin, natural flow, reservoirs, water management complex, behavior of reservoirs, rules of water resources use, water management simulation model, water resources availability.

Одной из крупнейших рек Европы является река Урал, протекающая по территории Российской Федерации и Республики Казахстан. Суммарная площадь бассейна составляет 231 тыс. км². На территории России (121.9 тыс. км², 52.8 % от территории бассейна) бассейн реки расположен в пределах Челябинской и Оренбургской областей, а также Республики Башкортостан, на территории Казахстана – в пределах Атырауской, Западно-Казахстанской и частично Актюбинской областей [1].

Российская часть бассейна р. Урал отличается высокой плотностью населения (20,4 чел/км²), наибольшая плотность которого в бассейне отмечена на территории Челябинской области - 31.3 чел/км², в Башкортостане – 14.1 чел/км², в Оренбургской области – 27.0 чел/км² [2].

Водные ресурсы бассейна представлены поверхностными и подземными водами. Ресурсы поверхностных вод включают речной сток, воды озер, болот, водохранилищ. В бассейне на территории Российской Федерации протекает около 650 рек, из которых 23

реки имеют протяженность более 100 км, и около 600 водотоков длиной от 10 до 100 км [3].

Среднегодовой сток р. Урал, формирующийся на территории РФ, оценивается в 10.5 км^3 , а в годы характерной водности 25 %, 50 %, 75 % и 95 % обеспеченности составляет соответственно 13.8 км^3 , 9.2 км^3 , 6.2 км^3 и 3.8 км^3 . Наиболее многоводным притоком р. Урал является р. Сакмара, занимающая всего 8 % площади бассейна, но формирующая около 40-50 %, а в иные годы и более половины, суммарного стока р. Урал [4].

Основное питание рек идет за счет талых снеговых вод – 60-80 % объема годового стока (вследствие чего на большинстве рек наблюдается обильное весеннее половодье), дождевые осадки составляют 2-12 %, подземные воды – 13-38 %.

Общие прогнозные ресурсы подземных вод с минерализацией до 3 г/дм^3 в пределах бассейна р. Урал, по результатам региональных оценок 70-80-х гг. оцениваются величиной $7590 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ [3].

В бассейне на территории РФ функционирует сложный водохозяйственный комплекс, забирающий поверхностные и подземные воды на цели хозяйственно-бытового, промышленного, сельскохозяйственного водоснабжения, орошения земель, прудового рыбного хозяйства. Забор воды из поверхностных природных водных объектов в современных условиях оценивается около $0,77 \text{ км}^3$, из подземных водных объектов – $0,22 \text{ км}^3$ (рис. 1).

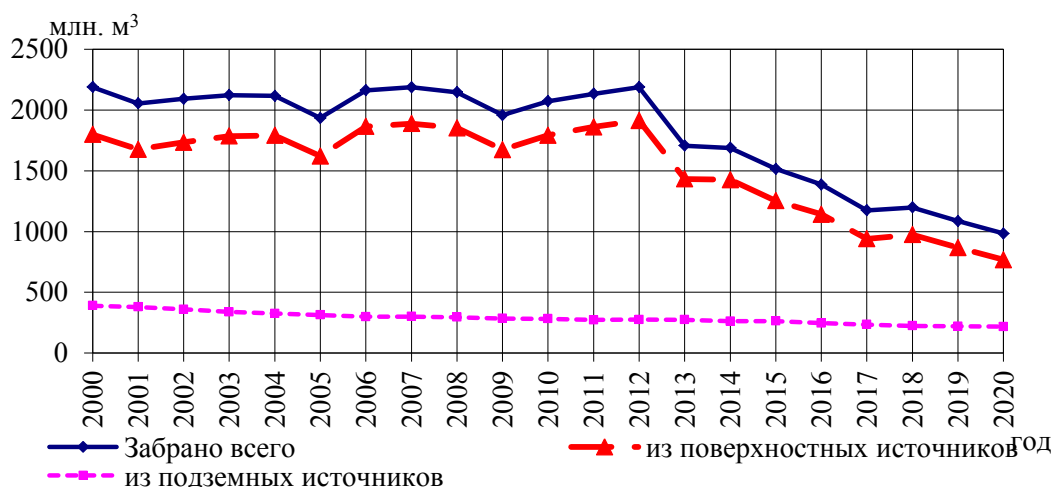


Рисунок 1 – Динамика забора водных ресурсов в бассейне р. Урал на территории Российской Федерации

Из участников водохозяйственного комплекса бассейна наиболее крупные водопользователи – промышленность и жилищно-коммунальное хозяйство, на долю которых приходится соответственно 82.6% и 13.1% от суммарного забора воды в бассейне. На долю остальных участников водохозяйственного комплекса приходится всего 4.3%, в том числе: орошаемое земледелие – 2.3%; сельскохозяйственное водоснабжение - 0.2%; прочие нужды – 1.8%.

Самые крупные предприятия-водопользователи в бассейне на территории РФ – публичное акционерное общество «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК»), г. Магнитогорск (114.65 млн. м^3) и филиал «Ириклинская ГРЭС» АО «Интер РАО – Электрогенерация» (598.53 млн. м^3). Эти предприятия забирают 72.5% суммарного забора воды в бассейне; практически весь объем забора воды и сброса сточных вод после использования приходится на два водохозяйственных участка р. Урал: от Верхне-Уральского г/у до Магнитогорского г/у и от Магнитогорского г/у до Ириклинского г/у.

Величина суммарного забора воды из водных объектов в бассейне на территории РФ (с учетом величины потерь на дополнительное испарение из прудов и водохранилищ – 0.4 км^3 в среднезасушливых условиях) составляет 1.38 км^3 , а величина сброса 0.76 км^3 . Таким образом, современная величина безвозвратного изъятия стока в бассейне на территории РФ составляет 0.62 км^3 .

Устойчивое водопользование в бассейне р. Урал на территории РФ обеспечивается наличием значительного количества прудов и водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования стока. В бассейне расположено 126 водохранилищ объемом до 10 млн. м^3 с суммарным полным объемом $300,17 \text{ млн. м}^3$ и 12 водохранилищ объемом более 10 млн. м^3 с суммарным полным объемом 4351.3 млн. м^3 [5].

К числу наиболее крупных водохранилищ в бассейне на российской территории относятся: Верхне-Уральское [6] (полный объем 601 млн. м^3 , полезный 568.7 млн. м^3), Магнитогорское [6] (полный объем 174 млн. м^3 , полезный 27 млн. м^3), Ириклинское на р.Урал [7] (полный объем 3.26 км^3 , полезный 2.76 км^3) (рис. 2) и Верхне-Кумакское на р. Кумак [8] (полный объем 48 млн. м^3 , полезный 45 млн. м^3).

Верхне-Уральское водохранилище, построенное в 1960-х годах и введенное в эксплуатацию в 1964-1966 гг., создано для осуществления единой комплексной водохозяйственной системы, призванной надёжно обеспечивать водой ПАО «ММК», г. Магнитогорск, железнодорожный транспортный узел, водохранилище также используется для целей орошения сельскохозяйственных земель и аквакультуры [6].

Магнитогорское водохранилище сезонного регулирования, построенное в 1930-х годах и введенное в эксплуатацию в 1937-1939 гг., создано в целях использования стока р. Урал для промышленного и хозяйственно-питьевого водоснабжения ПАО «ММК» и города Магнитогорск [6].

В настоящее время Верхне-Уральское и Магнитогорское водохранилища, осуществляющие регулирование стока р. Урал, представляют единый комплекс, предназначенный для обеспечения водой ПАО «ММК», г. Магнитогорска, орошения подсобных хозяйств, водоснабжения железнодорожного транспортного узла, гидроэнергетики; из Магнитогорского водохранилища осуществляется санитарный попуск в нижний бьеф гидроузла. Верхнеуральское водохранилище осуществляет компенсационное регулирование стока в каскаде с Магнитогорским водохранилищем.

Задача регулирования стока р. Урал возлагается на Верхне-Уральское водохранилище, располагающее ёмкостью, достаточной для обеспечения многолетнего регулирования стока. Наличие значительной боковой приточности с водосбора между створами гидроузлов определило схему компенсационного (по отношению к боковой приточности) регулирования стока Верхне-Уральским водохранилищем.

Магнитогорское водохранилище является резервным аккумулялирующим бассейном для водопотребителей на случай возможных затруднений с транспортировкой воды из Верхне-Уральского водохранилища в зимний период, а также на случай исключительного маловодья.

Режимы работы водохранилищ взаимно связаны и определяются необходимостью обеспечения водопотребления за счёт приточности с частного водосбора между створами гидроузлов, дополненной попусками воды из Верхне-Уральского водохранилища.

Изменение режима каскадного регулирования стока Верхне-Уральским и Магнитогорским водохранилищами, не предусмотренное действующими правилами, в целях синхронизации режимов работы с другими водохранилищами, расположенными в бассейне р. Урал, приведёт к значительным проблемам устойчивого и надёжного обеспечения действующего на базе водохранилищ водохозяйственного комплекса и вызовет серьёзные социально-экономические последствия.



Рисунок 2 – Схема размещения Верхне-Уральского, Магнитогорского и Ириклинского водохранилищ на р. Урал

Ириклинский гидроузел расположен на р. Урал в 1810 км от устья. Ириклинское водохранилище (полный объем 3260,0 млн. м³), построенное в 1940-х годах, введено в постоянную эксплуатацию с 1966 г. Основное назначение Ириклинского водохранилища, определенное при его создании, водообеспечение ОАО «Уральская сталь», а также промышленности и населения городов Гая, Новотроицка и зоны прилегающей к р.Урал до г.Оренбурга (выше впадения р. Сакмары), а также для орошения земель, сосредоточенных в основном в массиве, располагаемом на пойменных землях междуречья рек Урала и Кумака. Ириклинское водохранилище используется также в целях промышленного рыболовства.

В настоящее время водные ресурсы Ириклинского водохранилища используются для обеспечения работы Ириклинской ГРЭС, забирающей воду из водохранилища. На пусках в нижний бьеф работает ГЭС установленной мощностью 30 МВт. Наряду с этим водохранилище осуществляет срезку пиков высоких половодий в целях сокращения затоплений в городах Орске и Новотроицке. Ириклинское водохранилище дополнительно участвует в регулировании качества воды в р.Урал ниже городов Орска и

Новотроицка (основных загрязнителей), а также в формировании благоприятного для воспроизводства осетровых рыб режима расходов в низовьях р. Урал.

Режим работы Ириклинского водохранилища в соответствии с действующими правилами имеет следующие особенности.

В летний период (до 1 ноября) водохранилище по возможности поддерживается на отметке НПУ 245.00 м с целью накопления избытков притока для последующего их расходования в неблагоприятный по качеству воды зимний период. Как правило, сработка водохранилища допускается только для обеспечения гарантированного ппуска.

В зимний период (1 ноября – 1 апреля) водохранилище равномерно опорожняется до диспетчерской отметки 243.10 м на 1 апреля. Более глубокая сработка допускается только для поддержания гарантированного ппуска, либо при необходимости специального предполоводного опорожнения в связи с ожидаемым по прогнозу высоким половодьем [7].

Увеличение установленных правилами использования водных ресурсов ппусков в период половодья приведёт к значительному снижению расходов воды в р. Урал ниже гидроузла в период межени в результате снижения запасов воды в водохранилище, кроме того, увеличение сверхустановленных правилами ппусков из Ириклинского водохранилища в период половодья может привести к подтоплению расположенных в нижнем бьефе Ириклинского гидроузла крупных промышленных центров городов Орск и Новотроицк.

Фактически объем и режим стока р. Урал, поступающего на территорию Республики Казахстан по р. Урал, определяется режимом работы Ириклинского водохранилища. Учитывая, что регулирование стока Ириклинским водохранилищем в основном было ориентировано на обеспечение устойчивого водопользования российской части бассейнового водохозяйственного комплекса, то в настоящее время возникают вопросы, связанные с изменением действующего режима Ириклинского водохранилища с учетом предложений, поступающих от Республики Казахстан.

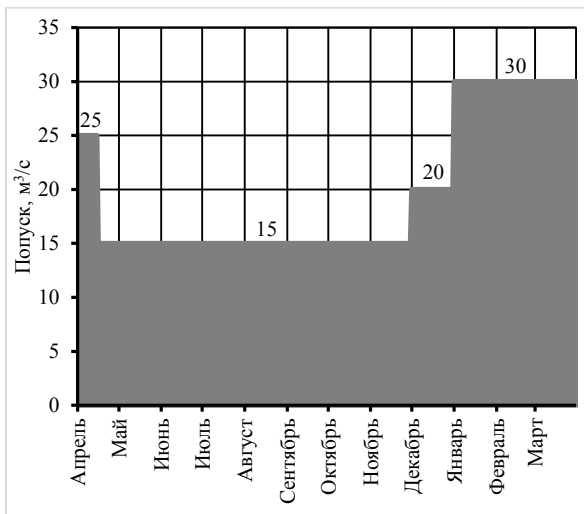
Анализ возможности изменения правил использования водных ресурсов Ириклинского водохранилища с целью увеличения объема стока, поступающего на территорию Республики Казахстан, за счет изменения режима ппуска из водохранилища, выполнен на основе моделирования на имитационной водохозяйственной модели водохранилища по календарному ряду восстановленного стока за период 1935/36-2020/21 гг для современного уровня водопотребления.

В процессе моделирования рассматривались различные варианты диспетчерских правил Ириклинского водохранилища, в том числе действующие на сегодняшний день правила и разработанные в процессе анализа с учетом предложений казахстанской стороны. В составе диспетчерского графика работы Ириклинского водохранилища, построенного в процессе модельных расчетов, выделены следующие диспетчерские зоны: зона сниженной, относительно гарантированной, отдачи; зона гарантированного режима; зоны повышенных и избыточных отдач.

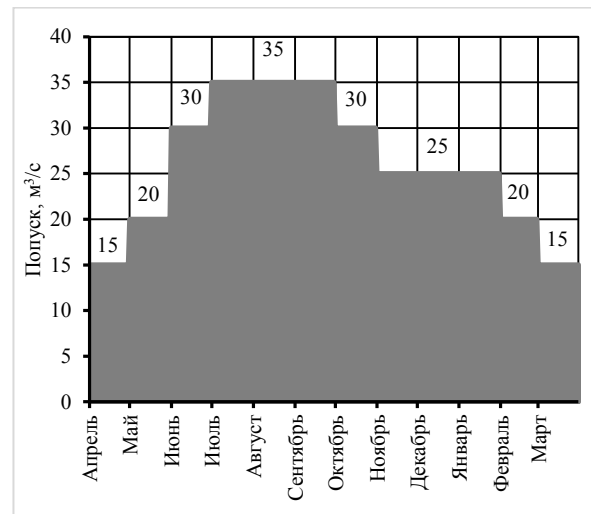
На рисунке 3 приводятся режимы ппусков из Ириклинского водохранилища, принятые в действующих правилах и предложенные казахстанской стороной [9].

Режимы ппусков в нижний бьеф Ириклинского водохранилища, рассмотренные при анализе возможных вариантов изменения правил использования водных ресурсов водохранилища, приведены в таблице 1.

Ниже приводится описание основных вариантов правил, исследуемых на имитационной водохозяйственной модели.



Действующие правила использования водных ресурсов (объем стока, поступающего в нижний бьеф за год 616.03 млн.м³)



Предложения казахстанской стороны (объем стока, поступающего в нижний бьеф за год 816.05 млн.м³)

Рисунок 3 – Режимы попусков из Ириклинского водохранилища, принятые в действующих правилах и предложенные казахстанской стороной

Вариант 1. Соответствует действующим правилам использования водных ресурсов Ириклинского водохранилища. В зоне гарантированного режима в зимний период (1 ноября - 15 апреля) в интересах рыбного хозяйства, а также для предотвращения резкого ухудшения качества воды р. Урал попуск назначается расходами 15 м³/с в ноябре, 20 м³/с в декабре, 30 м³/с в январе-марте; с 15 апреля по 1 ноября – 15 м³/с. В зоне сниженных, относительно гарантированных, отдач попуск осуществляется расходом 15 м³/с в течение всего года. В конце водохозяйственного года (март) осуществляется сработка водохранилища до уровня принудительной предполоводной сработки (243.1 м БС).

Таблица 1 – Режимы попусков в нижний бьеф Ириклинского гидроузла, м³/с

Вариант	Зона диспетчерского графика	Месяц												
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	
1	зона гарантированного режима	25/15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	30	30	30
	зона сниженных, относительно гарантированных, отдач	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
2	зона гарантированного режима	15	20	30	35	35	35	30	25	25	25	20	15	
	зона сниженных, относительно гарантированных, отдач	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
3	зоны повышенных и избыточных отдач	25/15	20	30	35	35	35	30	25	25	30	30	30	
	зона гарантированного режима	25/15	15	15	15	15	15	15	15	20	30	30	30	
	зона сниженных, относительно гарантированных, отдач	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
4	зоны повышенных и избыточных отдач	25/15	20	30	35	35	35	30	25	25	25	25	25	
	зона гарантированного режима	25/15	15	15	15	15	15	15	25	25	25	25	25	
	зона сниженных, относительно гарантированных, отдач	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	

Вариант 2. Попуск в зоне гарантированного режима соответствует предложениям казахстанской стороны. В зоне сниженных, относительно гарантированных, отдач

попуск осуществляется расходом $15 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение всего года. В конце водохозяйственного года осуществляется сработка водохранилища до уровня принудительной предполоводной сработки.

Вариант 3. Попуск в зоне гарантированного режима соответствует действующим правилам использования водных ресурсов Ириклинского водохранилища (вариант 1). В зонах повышенных и избыточных отдач учитываются попуски, предложенные казахстанской стороной. В зоне сниженных, относительно гарантированных, отдач попуск осуществляется расходом $15 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение всего года. В конце водохозяйственного года (март) осуществляется сработка водохранилища до уровня принудительной предполоводной сработки.

Вариант 4. В зоне гарантированного режима попуск в нижний бьеф в зимний период (1 ноября - 15 апреля) $25 \text{ м}^3/\text{с}$, с 15 апреля по 1 ноября – $15 \text{ м}^3/\text{с}$. В зонах повышенных и избыточных отдач учитываются попуски, предложенные казахстанской стороной. В зоне сниженных, относительно гарантированных, отдач попуск осуществляется расходом $15 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение всего года. В конце водохозяйственного года осуществляется сработка водохранилища до уровня принудительной предполоводной сработки.

При оценке вариантов правил Ириклинского водохранилища использовались следующие основные критерии:

- 1) расчетная обеспеченность объема и режима гарантированного попуска в нижний бьеф водохранилища должна быть не ниже 97 %;
- 2) водохранилище не срабатывает ниже отметки УМО (228 м);
- 3) в период зимней межени для исключения промерзания порогов водослива водосливного здания ГЭС уровень воды в водохранилище поддерживается на отметках не ниже 235.5 м;
- 4) в течение года по-возможности поддерживаются отметки воды в водохранилище в интервале 245.0 - 243.0 м, в пределах которого подача воды в промежуточный бассейн Ириклинской ГРЭС осуществляется в самотечном режиме, что снижает расход электроэнергии на собственные нужды.

Показатели, полученные по результатам моделирования процесса управления Ириклинским водохранилищем на имитационной водохозяйственной модели по ряду восстановленного стока, в виде расчетных обеспеченностей отдач (по числу бесперебойных лет, $R_{\text{чбл}}$, и по числу бесперебойных интервалов, $R_{\text{чби}}$) и характерных уровней воды за различные периоды приведены в таблице 2.

Анализ результатов моделирования, приведенных в таблице 2, позволяет сформулировать следующие выводы:

1) действующие правила использования водных ресурсов (вариант 1) позволяют достигнуть достаточно высокие показатели обеспеченности гарантированного попуска как в целом за год ($R_{\text{чбл}} = 93.0\%$, $R_{\text{чби}} = 98.2\%$), так и за зимний период ($R_{\text{чбл}} = 93.0\%$, $R_{\text{чби}} = 96.5\%$), и за весенне-осенний период ($R_{\text{чбл}} = 95.3\%$, $R_{\text{чби}} = 99.5\%$). Однако, расчетная обеспеченность попуска из Ириклинского водохранилища, формируемого в соответствии с предложениями казахстанской стороны, имеет очень низкие показатели. Так, в целом за год $R_{\text{чбл}} = 5.8\%$ ($R_{\text{чби}} = 53.0\%$), за зимний период $R_{\text{чбл}} = 33.7\%$ ($R_{\text{чби}} = 77.1\%$), за период весна-осень $R_{\text{чбл}} = 5.8\%$ ($R_{\text{чби}} = 36.0\%$);

2) правила использования водных ресурсов Ириклинского водохранилища, соответствующие варианту 2, позволяют достигнуть достаточно высокие показатели обеспеченности попуска, предложенного казахстанской стороной как в целом за год ($R_{\text{чбл}} = 88.4\%$, $R_{\text{чби}} = 94.3\%$), так и за зимний период ($R_{\text{чбл}} = 88.4\%$, $R_{\text{чби}} = 93.0\%$), и за период весна-осень ($R_{\text{чбл}} = 93.0\%$, $R_{\text{чби}} = 95.3\%$). В то же время, обеспеченность гарантированной отдачи по действующим правилам, соответствующим интересам российской стороны, имеет низкие показатели. Так, в целом за год $R_{\text{чбл}} = 20.9\%$

($R_{\text{чби}} = 79.2\%$), за зимний период $R_{\text{чбл}} = 31.4\%$ ($R_{\text{чби}} = 61.9\%$), за период весна-осень $R_{\text{чбл}} = 38.4\%$ ($R_{\text{чби}} = 91.4\%$).

Таблица 2 – Анализ результатов управления Ириклинским водохранилищем по календарному ряду восстановленного стока

Вариант	Расчетная обеспеченность гарантированной отдачи по действующим правилам, %						Расчетная обеспеченность отдачи по предложениям казахстанской стороны, %					
	$R_{\text{чбл}}$			$R_{\text{чби}}$			$R_{\text{чбл}}$			$R_{\text{чби}}$		
	за год	зимний период	весна - осень	за год	зимний период	весна-осень	за год	зимний период	весна-осень	за год	зимний период	весна-осень
1	93.0	93.0	95.3	98.2	96.5	99.5	5.8	33.7	5.8	53.0	77.1	36.0
2	20.9	31.4	38.4	79.2	61.9	91.4	88.4	88.4	93.0	94.3	93.0	95.3
3	93.0	93.0	95.3	98.2	96.5	99.5	12.8	18.6	19.8	62.0	73.1	54.1
4	93.0	93.0	95.3	98.0	95.8	99.5	19.8	94.2	19.8	71.8	97.0	54.1

Продолжение таблицы 2

Вариант	Обеспеченность отметки, %			
	243.0 м*		235.5 м в период с 1 ноября по 1 апреля**	
	$R_{\text{чбл}}$	$R_{\text{чби}}$	$R_{\text{чбл}}$	$R_{\text{чби}}$
1	64	84.6	98.8	100
2	43.0	70.7	96.5	99.5
3	65.1	84.8	98.8	100.0
4	65.1	84.1	98.8	100.0

* при поддержании отметки воды в водохранилище в интервале 245.0 - 243.0 м подача воды в промежуточный бассейн Ириклинской ГРЭС осуществляется в самотечном режиме

** при снижении уровня воды в водохранилище ниже отметки 235.5 м происходит промерзание порогов водослива водосливного здания ГЭС

Анализ обеспеченности попусков в нижний бьеф Ириклинского водохранилища, соответствующих альтернативным вариантам правил, свидетельствует о необходимости принятия компромиссного варианта, в определенной мере уравнивающего интересы обеих сторон. В качестве таких вариантов правил рассмотрены варианты 3 и 4, предполагающие в зоне гарантированного режима осуществлять попуски, соответствующие действующим правилам, а в зонах повышенных и избыточных отдач – предложениям казахстанской стороны. Варианты отличаются только режимом гарантированной отдачи в зимний период. Так, в варианте 3 в зимний период обеспечивается следующий режим пуска: ноябрь – $15 \text{ м}^3/\text{с}$, декабрь – $20 \text{ м}^3/\text{с}$, январь-март – $30 \text{ м}^3/\text{с}$, а варианте 4 – $25 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение всего периода. Наиболее предпочтительным из этих вариантов является вариант 4, позволяющий достигнуть более высоких показателей расчетной обеспеченности попусков в нижний бьеф Ириклинского водохранилища, соответствующих интересам российской и казахстанской сторон, при этом расчетные обеспеченности характерных отметок уровней воды в водохранилище, гарантирующих более благоприятные условия эксплуатации гидротехнических сооружений, в части недопущения промерзания порогов водослива водосливного здания ГЭС, и снижение расхода электроэнергии на собственные нужды за счет подачи воды в промежуточный бассейн Ириклинской ГРЭС в самотечном режиме, имеют практически одинаковые значения.

Список литературы

1. Косолапов А.Е. Комплексное использование и управление водными ресурсами бассейна р. Урал на территории РФ в условиях трансграничного водопользования /А.Е. Косолапов, А.А. Чмыхов // Водные ресурсы России: современное состояние и управление: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, г. Сочи, 08-14 октября 2018 г. – В 2-х томах. Т. I. Новочеркасск: Лик, 2018. С.74-85.
2. Косолапов А.Е. Бассейн реки Урал: управление водными ресурсами в условиях трансграничного водопользования/А.Е. Косолапов, А.А. Чмыхов // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление» (г. Сочи, 23-29 сентября 2019 г.) – Новочеркасск: Лик, 2019. С.46-53.
3. Косолапов А.Е. Современный водохозяйственный баланс реки Урал на территории Российской Федерации / А.Е. Косолапов, Н.Б. Прохорова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2011. №2. С.4-20.
4. Исследование гидрологических характеристик р. Урал в створах Верхне-Уральского, Магнитогорского и Ириклинского гидроузлов / А.Е. Косолапов [и др.] // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2017. №4. С.19-30.
5. К разработке правил использования водных ресурсов Верхнеуральского, Магнитогорского и Ириклинского водохранилищ на реке Урал. 2014.
6. Основные положения правил использования водных ресурсов Верхне-Уральского и Магнитогорского водохранилищ на р.Урал, Москва,1966.
7. Основные положения правил использования водных ресурсов Ириклинского водохранилища на р. Урал / М-во мелиорации и водного хоз-ва РСФСР. Управление по регулированию использования водных ресурсов. М., 1973.
8. Основные положения правил использования водных ресурсов Верхне-Кумакского водохранилища на р. Кумак / М-во мелиорации и водного хоз-ва РСФСР. Упр. по регулированию использования водных ресурсов Верхне-Кумакского водохранилища на р. Кумак. РВ-152-67. - М., 1967. – 9 с.
9. Письмо государственного учреждения «Урало-Каспийская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан от 07.10.2011 №24-13-01-05/1199.

СОСТОЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ БАСЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ПАТСО-ЙОКИ

Косьяненко А.А., Ермолина Т.В.

Филиал «Двинарегионводхоз» Федерального государственного бюджетного водохозяйственного учреждения «Центррегионводхоз», г. Архангельск

E-mail: office@fgudvina.ru

Аннотация: Основное внимание в статье уделяется состоянию водохранилищ трансграничной реки Патсо-йоки, используемой для целей гидроэнергетики Россией и Норвегией. Приводятся результаты регулярных наблюдений за водохранилищами, даётся характеристика основных загрязняющих веществ. Целью ведения наблюдений является комплексная оценка состояния водохранилищ для выявления существующих проблем, анализа тенденций их развития и принятия соответствующих управленческих решений.

Ключевые слова: мониторинг, трансграничные водные объекты, водохранилища, загрязняющие вещества.

STATE OF THE RESERVOIRS OF THE TRANSBOUNDARY PATSO-JOKI RIVER BASIN

Kosyanenko A. A., Ermolina T. V.

*Filial branch "Dvinaregionvodkhoz" of the Federal State budgetary water
Management Institution "Centrregionvodkhoz", Arkhangelsk*

E-mail: office@fgudvina.ru

Abstract: The article is focused on the state of the reservoirs of the transboundary Patso-Joki River, which is used for hydropower purposes by Russia and Norway. The results of regular observations of reservoirs are presented, and the characteristics of the main pollutants are given. The purpose of observations is a comprehensive assessment of the state of reservoirs to identify existing problems, to analyze trends in their development and to make appropriate management decisions.

Keywords: monitoring, transboundary water bodies, reservoirs, pollutants.

Река Патсо-Йоки (Паз) длиной 117 км вытекает из оз. Инари (Финляндия) и впадает в Бекфьорд (Норвегия), который является частью Варангер-фьорда Баренцева моря. Река Патсо-йоки вместе с оз. Инари представляет собой типичную для Кольского севера озерно-речную систему с большой площадью водосборного бассейна. Водные ресурсы реки используются каскадом Пазских гидроэлектростанций. Водохранилища Кайтакоски, Янискоски, Раякоски, Борисоглебское образованы плотинами на р. Патсо-Йоки и входят в каскад Пазских ГЭС, состоящий из 7 действующих ГЭС: 5 российских и 2 норвежских.

Водные объекты играют также важную природоохранную, эстетическую, рекреационную роль. Однако даже при снижении в последние десятилетия хозяйственной деятельности водные объекты небольших размеров уязвимы к антропогенному воздействию [1]. Изменение и изменчивость климата оказывают меньшее, чем антропогенные факторы, влияние на качество вод, гидрологический режим водных объектов. Важен международный аспект оценки запасов и качества вод трансграничных водных объектов на границе с территорией Европейского Союза. С международной точки зрения, для трансграничных водных объектов Российской Федерации и стран ЕС требуется гармонизация подходов к учету, инвентаризации, мониторингу, использованию вод [2].

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 10.04.2007 № 219 «Об утверждении положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» и распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.12.2008 №2054-р «Об утверждении перечня водоемов, которые полностью расположены на территориях соответствующих субъектов Российской Федерации и использование водных ресурсов которых осуществляется для обеспечения питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения двух и более субъектов Российской Федерации», филиал «Двинарегионводхоз» Федерального государственного бюджетного водохозяйственного учреждения «Центррегионводхоз» осуществляет наблюдения на 4 водохранилищах бассейна трансграничной р. Паз (Патсо-Йоки): Кайтакоски, Янискоски, Раякоски и Борисоглебское.

Филиал «Двинарегионводхоз» ФГБВУ «Центррегионводхоз» осуществляет отбор проб воды и донных отложений, проводит химический и физико-химический анализ проб природных вод и донных отложений согласно области аккредитации, гидрологические и морфометрические наблюдения и работы, в соответствии с программой ведения наблюдений за состоянием водных объектов и водохозяйственных систем, утверждённой Двинско-Печорским бассейновым водным управлением федерального агентства водных ресурсов. Филиал имеет лицензию на осуществление деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях. В соответствии с лицензионными требованиями, филиал осуществляет передачу информации в Единый

государственный фонд данных Росгидромета о состоянии окружающей природной среды.

Трансграничные водохранилища Раякоски, Янискоски, Кайтакоски, Борисоглебское, расположенные на р. Патсо-Йоки Мурманской области, руслового типа. Прилегающая местность холмистая, растительность представлена хвойными породами, по берегам древесной и кустарниковой растительностью. Русло песчано-каменистое, зарастанию не подвергается. Берега пологие каменистые, сложены песчаными грунтами, сильному размыву и разрушению не подвержены.

По результатам наблюдений за качеством вод водохранилищ бассейна р. Патсо-Йоки в 2020 г. были зафиксированы превышения допустимых нормативов меди 7,5 ПДК (до 11 ПДК в 2019 г., в 2018 г. – до 7,5 ПДК), железа общего до 2 ПДК (в 2019 г. до 1,7 ПДК, в 2018 г. – до 2 ПДК). Превышение ПДК марганца, как и в 2019 и 2018 гг., зафиксировано только в пробе, отобранной на Борисоглебском водохранилище, около п.Никель – 43 мкг/дм³, что превышает 4 ПДК (в 2019 г. 2,4 ПДК, в 2018 г. концентрации марганца в данном пункте составили 1 ПДК). Концентрации никеля в 2020 г., как и в предыдущие годы, превысили ПДК только в пробах, отобранных на Борисоглебском водохранилище, и составили 8 ПДК. В августе 2019 г. концентрация никеля в воде Борисоглебского водохранилища составила 10,9 ПДК, что соответствует уровню высокого загрязнения (ВЗ от 10 ПДК).

Озерно-речная система Патсо-йоки расположена в зоне негативного влияния АО «Кольская горно-металлургическая компания» [3,4]. Загрязнение поверхностных вод системы обусловлено как аэротехногенным загрязнением со стороны комбината, так и непосредственным сбросом сточных вод комбината и населенных пунктов, расположенных по ее берегам.

Природные воды очень разнообразны не только в различных водных объектах, они подвержены значительным изменениям и в пределах одного водного объекта и зависят от множества различных показателей (уровень воды, время года, температура, сток загрязняющих веществ с прилегающих территорий). Методы, применяемые для контроля качества вод, должны учитывать такие особенности [5,6]. Для достоверной оценки техногенного влияния на качество природных вод необходимо, в первую очередь, определить их естественный фон, отражающий условия формирования химического состава природных вод без влияния деятельности человека. При выборе репрезентативных показателей помимо концентраций загрязняющих веществ следует учитывать их токсичность и поведение в окружающей среде, а также особенности естественного фона объекта [7].

Основными загрязняющими веществами водохранилищ бассейна р. Патсо-Йоки являются медь, железо общее, марганец, никель, алюминий (рис.1).

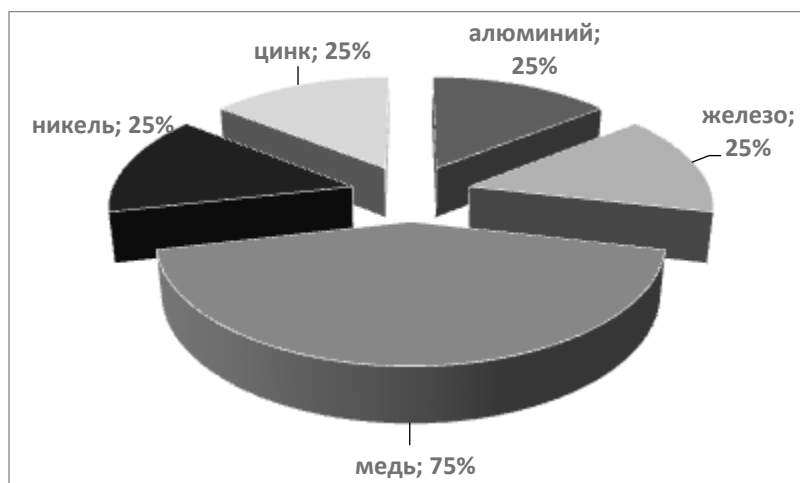


Рисунок 1 – Повторяемость концентраций загрязняющих веществ выше 1 ПДК в воде водных объектов бассейна реки Патсо-Йоки в 2020 г.

Территория Мурманской области содержит запасы медно-никелевой и железной руды, которые определяют природный фон поверхностных вод суши. Наличие металлов характерно и для сточных вод металлургических предприятий, однако превышения ПДК наблюдаются как в районах, подверженных антропогенной нагрузке, так и в водоемах, организованных сбросов в которые не осуществляется. Это свидетельствует о том, что повышенное содержание металлов в поверхностных водах данных областей частично может иметь природный характер.

Количественные показатели исследуемых вод значительно отличаются по участкам ведения наблюдений. Наиболее загрязненной является вода Борисоглебского водохранилища, концентрации определяемых показателей здесь значительно выше, по сравнению с остальными водохранилищами бассейна р. Патсо-Йоки (рис.2).

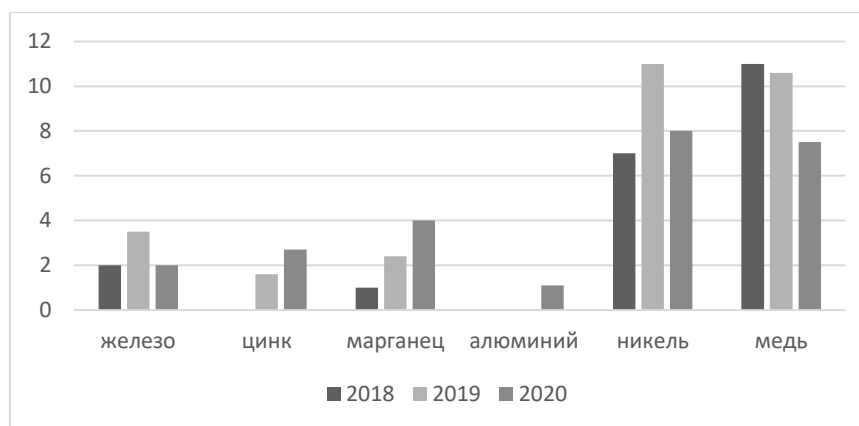


Рисунок 2 – Наибольшие зарегистрированные концентрации загрязняющих веществ в ПДК в воде Борисоглебского водохранилища

Повышенные уровни загрязнения поверхностных вод Мурманской области носят локальный характер. Загрязнение небольших северных рек и водоемов, испытывающих постоянную нагрузку от промышленных комплексов и населенных пунктов при низкой способности к самоочищению приобретает хронический характер. Это подтверждается данными регулярных наблюдений – повторяющимися случаями загрязнения вод, высоким средним уровнем содержания вредных веществ в воде, их накоплением в донных отложениях водных объектов [3,4].

Целесообразно продолжение ведения наблюдений и дальнейшее развитие системы мониторинга для выявления существующих проблем, анализа тенденций их развития и принятия соответствующих управленческих решений. Разработка целостной системы водоохранных мероприятий возможна лишь на основе данных продолжительного мониторинга водных объектов.

Список литературы

1. Комулайнен С.Ф., Лозовик П.А., Круглова А.Н., Барышев И.А., Галибина Н.А. Оценка экологического состояния рек северного побережья Ладожского озера по химическим показателям и структуре гидробиоценозов// Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 3. С. 277-286.
2. Филатов Н.Н., Литвиненко А.В., Богданова М.С. Водные ресурсы Северного экономического района России: состояние и использование // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 5. С. 502-514.
3. Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2018 г., Мурманск, 2019.
4. Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2019 г., Мурманск, 2020.

5. Личутина Т.Ф., Мискевич И.В., Бровко О.С. Гусакова М.А. Оптимизация нормирования сброса стоков предприятий ЦБП в водотоки. Екатеринбург: Уро РАН, 2005. 210 с.

6. Burden F.R. Environmental monitoring handbook / Frank R. Burden, Dietfried Donnert, Thad Godish. 2004. 628 p.

7. Hollender J. Polar Organic Micropollutants in the Water Cycle // Dangerous Pollutants (Xenobiotics) in Urban Water Cycle. Dordrecht, The Netherlands: Springer. 2008. P. 103-116.

АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ПРИНЦИПОВ ВОДНОЙ ДИПЛОМАТИИ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫМИ ВОДАМИ НА ПРИМЕРЕ РОССИЙСКО-ФИНЛЯНДСКОГО СОГЛАШЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПОГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ СИСТЕМ

Кузнецова А.Б., Куличенко А.Ю.

ФГБВУ «Центррегионводхоз» филиал «Балтводхоз»
e-mail:kuznez@nlbv.ru

Аннотация. В части водных отношений поддержание положительной динамики межправительственного сотрудничества и обеспечение интересов Российской Федерации в сфере охраны и использования трансграничных вод одной из задач является исполнение достигнутых межправительственных договоренностей и планов и практическое решение этих задач.

Ключевые слова: трансграничные воды, соглашения, мониторинг, регулирование, водные объекты.

ANALYSIS OF INTRODUCING THE PRINCIPLES OF WATER DIPLOMACY IN THE FIELD OF TRANSBOUNDARY WATER MANAGEMENT ON THE EXAMPLE OF THE RUSSIAN-FINNISH AGREEMENT ON THE USE OF BORDER WATER SYSTEMS

Kuznetsova A. B., Kulichenko A. Yu.

FSBWI "Tsentregionvodkhoz" " Baltvodkhoz" branch
e-mail:kuznez@nlbv.ru

Abstract. In terms of water relations, maintaining the positive dynamics of intergovernmental cooperation and ensuring the interests of the Russian Federation in the field of protection and use of transboundary waters is one of the tasks of implementing the intergovernmental agreements and plans reached and solving these tasks in practice

Key words: transboundary waters, agreements, monitoring, regulation, water bodies.

Правовой статус трансграничных водных объектов регулируется в российском законодательстве преимущественно нормами конституционного и международного права. В качестве самостоятельного объекта водных отношений, в соответствии с нормами Водного кодекса Российской Федерации, данные объекты не выделяются.

Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 г. признаёт ключевым аспектом государственной политики в сфере водных отношений активное международное сотрудничество по вопросам использования и охраны водных объектов.

К основным направлениям и приоритетам международного сотрудничества Российской Федерации относится гармонизация российских и международных

подходов к природно-ресурсной и природоохранной деятельности с учетом интересов Российской Федерации.

Основополагающим документом для соглашений между Российской Федерацией и сопредельными государствами в области водных отношений является Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, принятая в Хельсинки 17 марта 1992 г., в которой подчеркивается, что сотрудничество между странами - членами в области охраны и использования трансграничных вод должно, в первую очередь, осуществляться путем разработки соглашений между прибрежными странами, граничащими с одними и теми же водами, особенно в тех случаях, когда такие соглашения пока еще не достигнуты.

Страны, подписавшие конвенцию, обязуются принимать все соответствующие меры для предотвращения, ограничения и сокращения любого трансграничного воздействия и принимают, в частности, все соответствующие меры для:

- предотвращения, ограничения и сокращения загрязнения вод, которое оказывает или может оказывать трансграничное воздействие;
- обеспечения использования трансграничных вод в целях экологически обоснованного и рационального управления водными ресурсами, их сохранения и охраны окружающей среды;
- обеспечения использования трансграничных вод разумным и справедливым образом с особым учетом их трансграничного характера при осуществлении деятельности, которая оказывает или может оказывать трансграничное воздействие;
- обеспечения сохранения и, когда это необходимо, восстановления экосистем.

Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер перекликается с принятием в 2015 г. Организацией Объединенных Наций комплекса целей в области устойчивого развития (далее - ЦУР) и связанных с ними целевых задач. Целевая задача в области устойчивого развития ЦУР 6.5 призывает страны осуществлять комплексное управление водными ресурсами на всех уровнях, в том числе, при необходимости, на основе трансграничного сотрудничества. Цель в области устойчивого развития 6.5.2 - показатель, который определяется как “доля трансграничного бассейна с зоной оперативного механизма для сотрудничества по водным ресурсам”, был одобрен статистической комиссией Организации Объединенных Наций в марте 2016 г. и впоследствии был принят в июле 2017 г. на Генеральной Ассамблее ООН как часть глобальных показателей по Целям устойчивого развития и выполнения задач повестки дня по устойчивому развитию до 2030 г. Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций и ЮНЕСКО.

Последний отчет по ЦУР 6.5.1, представленный Российской Федерацией, показал, что прогресс во времени в нашей стране в интегрированном управлении водными ресурсами характеризуется как высокий. Россия оставила позади Финляндию и Германию, а это значит, что мы на правильном пути.

В настоящее время в Российской Федерации о сотрудничестве в области охраны и рационального использования трансграничных вод подписаны соглашения с девятью сопредельными государствами. Кроме того, подписан Меморандум о взаимопонимании между Министерством природных ресурсов Российской Федерации и Государственной администрацией по охране окружающей среды Китайской Народной Республики по вопросам совместного мониторинга качества вод трансграничных водных объектов.

Соглашения охватывают более 30 крупных рек и озер начиная с восточных границ и до самого крайнего запада, охватывая все южные границы страны.

Целью Соглашений является создание организационно-правовой основы сотрудничества Сторон в области охраны и рационального использования трансграничных водных объектов.

Стороны сотрудничают в целях обеспечения рационального, экологически обоснованного управления использованием водных ресурсов трансграничных вод и их сохранения в интересах населения и устойчивого развития.

Для достижения указанных целей Стороны:

- сотрудничают в разработке нормативов, методов оценки и классификации качества вод;
- принимают меры, необходимые для предотвращения или сокращения до согласованного минимума поступлений загрязняющих веществ в водные объекты;
- сотрудничают в разработке показателей качества вод, соответственно характеру водопользования, методов и технологий по предотвращению загрязнения вод и их вредного воздействия, а также по рациональному использованию водных ресурсов;
- обеспечивают применение современных технологий рационального использования водных ресурсов, эффективных очистных сооружений и водосберегающих технологий производства;
- обмениваются информацией по осуществлению водохозяйственных и водоохраных мероприятий;
- обеспечивают содержание в надлежащем техническом состоянии гидротехнических и водоохраных сооружений на трансграничных водах;
- осуществляют сотрудничество в сфере предупреждения и сокращения последствий паводков на трансграничных водах;
- разрабатывают и осуществляют совместные действия по предупреждению чрезвычайных ситуаций и реагированию на них;
- воздерживаются от действий или бездействия, которые могут ухудшить гидрологический и гидрохимический режимы трансграничных вод и состояние их экосистем; - проводят совместные научные исследования;
- осуществляют согласованный природоохранный надзор;
- осуществляют обмен гидрологической, гидрохимической и гидробиологической информацией в согласованном порядке;
- разрабатывают и реализуют программы мониторинга состояния трансграничных вод, предусматривающие единую методику наблюдений и анализов, перечень согласованных гидрохимических створов, периодичность отбора проб воды.

Соглашение между Союзом Советских Социалистических Республик и Финляндской Республикой о пограничных водных системах – одно из первых международных соглашений по воде. Без малого 60 лет комиссия по трансграничному сотрудничеству решает вышеперечисленные задачи. Именно мониторинг состояния трансграничных вод дает возможность оценить степень сотрудничества двух стран.

Совместный мониторинг – это собственно, действие, которое объединяет специалистов, повышает доверие между экспертами сторон, позволяет им находить общий методологический и научный язык при последующей оценке качества трансграничных вод.

Самое важное место в международном сотрудничестве заняла проблема чистой воды, поскольку поверхностные воды оказались наиболее чувствительным звеном природной среды. Без тщательного контроля состояния последних невозможно предупредить возникновение неблагоприятных экологических ситуаций. Известно, что качество воды, ее биологическая полноценность в значительной мере, определяется состоянием биогидроценозов – естественного взаимосвязанного сообщества гидробионтов в водном объекте. Поэтому из всех существующих систем контроля качества природных вод только система гидробиологического контроля дает непосредственную оценку состояния биогидроценозов, и в этом ее основное преимущество перед другими системами контроля и качества вод. Все это настоятельно

требует широкого внедрения в практику экологического мониторинга методов гидробиологического анализа.

Согласно Водной Рамочной Директиве (ВРД) Европейского Союза, принятой в 2000 г., европейскими государствами большое внимание уделяется именно гидробиологическому мониторингу при определении качества воды в водных объектах. Финляндия со всей серьезностью подошла к этому вопросу. В стране разветвленная сеть гидробиологического мониторинга, разработаны государственные стандарты качества и уже имеются длинные ряды наблюдений.

Поскольку у нас с Финляндией общие водные объекты, возник вопрос о проведении гидробиологических наблюдений по всей длине водотоков по обе стороны границы. Российская сторона поддержала это стремление. Но здесь возникли первые трудности.

Европейские наблюдения направлены на оценку изменений в сообществе гидробионтов в водном объекте.

Российские методики проверяют соответствие качества воды установленным нормам.

Различный подход к проведению наблюдений и стремление получать сопоставимые результаты привели экспертов рабочих групп к идее объединить методики и рекомендации двух стран. Предстояла большая работа. Эксперты сторон договорились, что будут исследовать диатомовые водоросли как материал, наиболее подходящий для совместной работы. Было выполнено сравнение методов исследования диатомовых водорослей при анализе качества вод, применяемых в России и Финляндии. Были выверены места отбора проб, техника пробоотбора, консервация проб фитопланктона/перифитона, обработка проб и создание препаратов для микроскопирования, определение таксономического состава и оценка качества поверхностных вод.

Результаты работы были представлены Российско-Финляндской Комиссии по использованию пограничных водных систем на 57 сессии. Комиссия одобрила проведенную работу и поручила рабочей группе по охране вод составить «Дорожную карту основных направлений организации и развития совместного гидробиологического мониторинга (диатомовый анализ) на 2019-2025 гг.».

Документ был разработан и одобрен Комиссией.

Дорожная карта основных направлений организации и развития совместного гидробиологического мониторинга (диатомовый анализ) включает в себя три этапа:

1 этап (подготовительный): обсуждение этапов диатомового анализа (отбор проб, первичная обработка, пробоподготовка, регистрация результатов, использование компьютерных программ и таксономических ключей по определению водорослей, оценка качества воды); проведение совместного рабочего семинара 10-12.9.2019 в г. Оулу в Финляндии; повышение квалификации специалистами Финляндии (тест по определению водорослей); дискуссию по методике диатомового анализа/обмен информацией; обследование пограничных водоёмов и поиск подходящих для отбора проб участков (в Финляндии и в России).

2 этап: утверждение методики диатомового анализа. Тестирование методики диатомового анализа в реальных условиях пограничных водотоков по обе стороны границы;

3 этап: разработка и утверждение Комиссией Программы гидробиологического мониторинга пограничных водотоков Финляндии и России.

4 этап: гидробиологический мониторинг пограничных водотоков на основе диатомового анализа по обе стороны границы; представление результатов реализации дорожной карты и результатов гидробиологического мониторинга пограничных водотоков Комиссии.

Первым значимым результатом в этой работе была разработка и подготовка рекомендаций «Порядок проведения диатомового анализа для оценки качества вод пограничных водотоков». Впервые в Европе стороны пограничных государств разработали такой документ, который полностью соответствует нормативным правилам каждой из сторон, и результаты мониторинга будут соответствовать национальным требованиям. Очень важно найти тот универсальный язык, который бы позволил сблизить нормативные базы сторон и помочь сторонам говорить на одном языке.

Так называемый водный вопрос был и остаётся одним из древнейших вопросов международных отношений там, где цивилизованное правовое справедливое разрешение споров по-прежнему остаётся и является целью внешней политики Российской Федерации.

ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПДК ДЛЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ УРАЛ)

Лепихин А.П.¹, Возняк А.А.^{1,2}, Ляхин Ю.С.¹

¹ Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Пермь

² Пермский государственный научно-исследовательский университет, Пермь

E-mail: lepihin49@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности построения критериев для оценки качества воды трансграничных рек. Показано, что использование для этих целей критериев качества воды, построенных на основе единых общегосударственных рыбохозяйственных ПДК, не корректно, так как эти нормативы не учитывают почвенно-геохимические особенности его водосборной территории, определяющие естественный гидрохимический режим конкретных водных объектов. Предложено использование региональных ПДК, построенных на основе анализа статистик естественных колебаний регламентируемых ингредиентов. Даны оценки региональных ПДК для р. Урал в районе г. Магнитогорск.

Ключевые слова: трансграничные реки, региональные ПДК, река Урал.

PROBLEMS OF REGIONAL MPC FOR TRANSBOUNDARY RIVERS (ON THE EXAMPLE OF THE URAL RIVER)

Lepikhin A.P.¹, Wozniak A.A.^{1,2}, Lyakhin YU.S.¹

¹ Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm

² Perm State Research University, Perm

E-mail: lepihin49@mail.ru

Abstract. The features of the construction of criteria for assessing the water quality of transboundary rivers are considered. It is shown that the use of water quality criteria for these purposes, built on the basis of unified national fishery MPCs, is not correct, since these standards do not take into account the soil-geochemical features of the catchment area, which determine the natural hydrochemical regime of specific water bodies. The use of regional MPCs, built on the basis of the analysis of statistics for natural fluctuations in regulated ingredients, is proposed. The estimates of regional MPCs for the Ural River near the city of Magnitogorsk are given.

Key words: transboundary rivers, regional MPCs, Ural River.

В настоящее время очень широко обсуждаются недостатки существующей в РФ системы регламентации, основным инструментом нормирования которой являются единые общегосударственные ПДК [1-4]. В значительной мере эти недостатки проявляются и в оценке экологического состояния трансграничных водных объектов,

когда отсутствие эффективных систем оценки качества их воды становится причинами экономических, экологических разногласий на государственном уровне.

Для эффективного решения задач совместного водопользования на трансграничных водных объектах принципиальное значение имеет объективность, корректность используемых критериев оценки качества вод.

В настоящее время при установлении критериев допустимого уровня воздействия на водные объекты применяется ряд принципиально различных методов. Наибольшее распространение как в нашей стране, так и за рубежом получили подходы, основанные на следующих 3-х концепциях – экологической, потребительской, технологической. Если концепция экологической безопасности направлена на обеспечение устойчивого функционирования водных гидробиоценозов, то потребительский подход направлен на гарантийное обеспечение отдельных видов водопользования, в первую очередь, для целей питьевого, технического водоснабжения, а также рыбного хозяйства. При этом, в качестве гаранта качества рассматриваются соответствующие системы ПДК. Технологическая концепция регламентации строится, исходя из экономической обоснованности и современной технологической достижимости устанавливаемых нормативов качества отводимых сточных вод. Установление данных нормативов для трансграничных рек имеет целый ряд своих специфических особенностей.

Как известно в нашей стране действуют параллельно две независимые системы ПДК:

- для рыбохозяйственных водных объектов;
- для объектов, используемых для питьевых и хозяйственно-бытовых целей.

При этом по большинству регламентируемых ингредиентов лимитирующими являются рыбохозяйственные ПДК.

Единые общегосударственные ПДК являются основным инструментом нормирования не только водоотведения, но и любых экологических оценок состояния водного объекта, включая разработку НДВ и СКИОВО.

Данные нормативы в своей традиционной постановке разрабатываются на основе анализа поведения некоторых тест-систем (биологических объектов) в некоторых стандартизованных модельных условиях. При этом в качестве ПДК принимаются пороговые значения, вызывающие видимые отклонения от нормы у наиболее чувствительных групп организмов [4]. При таком подходе устанавливаемые значения ПДК достаточно условны и существенно различаются в разных странах, несмотря на проводимые попытки унификации методов их установления. Так, в нашей стране, по сравнению с другими странами [5-7], очень жесткие нормативы для меди, ванадия, марганца [4].

Существенные различия отечественных рыбохозяйственных ПДК и зарубежных нормативов, в первую очередь, связываются с самой спецификой их разработки.

Поэтому для оценки состояния качества воды в трансграничных реках могут использоваться санитарно-гигиенические ПДК, так как они, в значительной мере, гармонизированы с международными стандартами питьевой воды. Однако из-за своей специфики они не учитывают естественных почвенно-геохимических особенностей водосборной территории конкретных рек, определяющих их гидрохимический режим.

В то же время, для этих целей вряд ли могут использоваться действующие рыбохозяйственные ПДК, существенно отличающиеся, вследствие особенностей технологии разработки, по большинству показателей от аналогичных национальных стандартов в сторону их значительного ужесточения.

Критерии качества воды для трансграничных рек должны строиться, в первую очередь, на основе непосредственно измеряемых показателей, а не представлять собой некоторые интегрированные свертки. Это связано с тем, что в настоящее время нет единых технологий построения таких свертки, при этом сами свертки далеко «не

прозрачны». Обобщенные показатели качества воды, как правило, в значительной мере зависят как от национальных стандартов качества, так и количества рассматриваемых показателей. На данном принципе построено большинство отечественных интегрированных показателей.

Основными недостатками существующей в РФ системы оценки состояния водных объектов являются:

- неуниверсальность принципа пороговости, лежащего в основе ПДК;
- сложность и практическая невозможность оценки при большом количестве рассматриваемых поллютантов "комбинаторных" эффектов;
- неучет почвенных и геохимических особенностей водосборной площади бассейна, что отражается в естественной фоновой концентрации;
- отсутствие эффективных критериев подобия между модельными тест-системами, используемыми для оценок ПДК, и рассматриваемыми водными объектами;
- неучет продолжительности непрерывного «стояния» данной концентрации загрязняющих веществ в водном объекте.

В настоящее время показатели качества воды водных объектов, построенные на основе рыбохозяйственных ПДК, превратились, в значительной мере, в экологические страшилки. Так, по р. Кама в пределах Пермского края наиболее высокий уровень загрязненности и, соответственно, техногенной нагрузки наблюдается на севере края в верхнем течении реки, где естественная тайга, редкие небольшие населенные пункты и нет никакой промышленности. В то же время содержание таких лимитирующих показателей как железо общее, марганец, цинк, медь существенно превышает значения рыбохозяйственных ПДК, и, соответственно, определяет высокие значения индексов УКИЗВ и класс загрязненности воды. Если внутри страны на этих парадоксальных ситуациях стараются не акцентировать внимание, то при межгосударственных водных отношениях эти аспекты могут приобретать существенное значение.

В связи с этим предлагается построение системы оценки качества вод водных объектов на основе региональных ПДК, разрабатываемых на анализе статистик естественного фонового гидрохимического режима водных объектов [1-3]. При решении практических задач установления региональных нормативов Спдк в качестве S_{ϕ} целесообразно использовать квантиль порядка $p = 0,75$, а в качестве доверительного интервала его нижней границы принимать обеспеченность $p_1 = 0,95$.

Квантиль порядка 0,75 (верхний квантиль) используется также в качестве целевого показателя при разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), а граница с обеспеченностью 0,95 – в действующих методических указаниях по расчету фоновых концентраций [8]. Следует также отметить, что в США в качестве «желательного» показателя качества воды также используется квантиль порядка 0,75 [9].

Таким образом,

$$C_{\text{ПДКрез}} \approx C_{75} - \frac{Z_{75}^{95}(\sigma)}{\sqrt{N}}, \quad (1)$$

где $\frac{Z_{75}^{95}(\sigma)}{\sqrt{N}}$ – нижний доверительный интервал с обеспеченностью 0,95 квантили порядка 0,75 при объеме выборки N .

Для распределения с характерной асимметрией $C_s \approx 2 \div 3$ C_v среднеквадратичная оценка квантилей порядка 0,75 составит $\sim 1,2 \div 1,3\sigma$. Учитывая, что квантиль стандартизованного нормального распределения порядка 0,95 равна $Z_p = 1,64$ и, подставляя данное соотношение в (1), имеем:

$$C_{\text{ПДКрез}} = C_{75} - \frac{2,15\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (2)$$

Данная оценка для расчета региональных фоновых концентраций является значительно более корректной по сравнению с методикой [10], когда в качестве нормативной оценки предлагается верхний доверительный интервал среднего значения.

Принципиальное их различие заключается в том, что полученные по методике [10] значения ПДК увеличиваются с уменьшением объема выборки, а по соотношению (2) снижаются, что методически представляется значительно более обоснованным.

Рассмотрим данную проблему на примере трансграничной р. Урал.

Данный водоток, имеющий протяженность 2428 км, площадью водосбора 231 тыс. км², начинается на южном склоне хребта Уралтау с небольшими максимальными высотами в 687 м БС. На северном склоне Уралтау, в 20 км от истока р. Урал расположен исток р. Ай, а в 30 км – исток р. Белая. На южном склоне, как и р. Урал, в 10 км к востоку расположен исток р. Уй, в 16 км к востоку расположен исток р. Миасс. Так как почвенно-геохимические условия водосборов данных водотоков в их верхнем течении близки, то их естественные гидрохимические режимы также должны быть близки, что является дополнительным фактором повышения объективности оценки фоновых концентраций. Наиболее значительным водопользователем в верхнем течении р. Урал является г. Магнитогорск и расположенный там крупнейший металлургический комплекс ПАО «ММК».

Для характеристики гидрохимического режима р. Урал были использованы все доступные данные наблюдений. Для анализа формирования естественного гидрохимического режима р. Урал особенно интересно было рассмотреть данные мониторинга выше фонового створа ПАО «ММК». К сожалению, Челябинский ЦГМС выше фонового створа имеет только 2 пункта наблюдений: р. Урал - г. Верхнеуральск, 2269 км от устья, и водохранилище Верхнеуральское – пос. Спасский – оба пункта на основной р. Урал. Крупный приток – р. Малый Кизил, впадает в р. Урал между Верхнеуральским и Магнитогорским водохранилищами – пунктов наблюдений за качеством воды у Росгидромета не имеет.

На территории республики Башкортостан по бассейну р. Урал наблюдения проводятся только на правобережных притоках р. Урал – р.р. Большой Кизил, Сакмара, Зилаир и Большой Ик. Из них нам наиболее интересны данные по р. Большой Кизил, так как в 3 км от истока р. Большой Кизил расположен исток р. Малый Кизил. Гидрохимический режим фонового створа в зоне выклинивания подпора должен был бы определяться режимом основной р. Урал и притока Малый Кизил.

Мониторинг Челябинского ЦГМС представлен наблюдениями только в районе г. Верхнеуральска. Обобщенные данные по этому, самому верхнему створу наблюдений на р. Урал даны в табл. 1. Как следует из табл. 1 по марганцу, меди и цинку во все годы во всех пробах наблюдаются превышения рыбохозяйственных ПДК. Фоновое содержание этих металлов в этом створе оценивается для цинка - 2,4-2,6 ПДК, меди - 1,5-1,8 ПДК и марганца – 5,6-9,6 ПДК. В связи с крайней ограниченностью наблюдательной сети Росгидромета по данной территории для количественной оценки использовались материалы ведомственной и региональной наблюдательной сети.

Таблица 1 – Повторяемость случаев нарушения нормативов (ПДК) по содержанию в воде характерных для данного водного объекта загрязняющих веществ (%)

Верхнеуральск	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ХПК	92	100	100	100	100	83	100	92
Fe	25	33	33	25	17	42	33	33
Cu	100	100	100	100	100	100	100	100
Mn	100	100	100	100	100	100	100	100
Нефтепродукты	83	92	100	92	83	75	75	83
Zn	100	100	100	100	100	100	100	100

Далее по течению р. Урал наблюдения за качеством воды представлены в створе 13,0 км выше г. Магнитогорск, примерно на уровне фонового створа ПАО «ММК» №45. Содержание в воде трудноокисляемых органических веществ по ХПК - 2 ПДК, цинка - 2,4 ПДК, меди - 1,5 ПДК и марганца - 7,2 ПДК в среднем изменяется несущественно по отношению к вышерасположенным створам. Используя всю доступную гидрохимическую информацию по гидрохимическому режиму р. Урал в его верхнем течении, а также на его притоках, были рассчитаны региональные ПДК на основе соотношения (1) для фонового створа ПАО ММК. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Характерные концентрации и расчетные значения региональных ПДК для загрязняющих веществ р. Урал в фоновом и контрольном створах г. Магнитогорска, мг/л

Наименование в-ва	Объем выборки	ПДК _{р/х}	ПДК _{с/г}	ПДК _{рег}	Сфон ЦГМС	Ср, фон	Смах, фон	Смах, контр	Ср, контр
Взвешенные в-ва	104	7,35	7,85	11,48	7,35	10,01	54,0	53	13,0
Кальций	56	180	25-130	43,25	43,1	40,86	55,8	110	73,1
Магний	53	40	5-65	14,96	18,6	14,3	23,8	57,7	24,1
Хлориды	53	300	150-250	14,93	19,0	14,5	34	180	74,7
Сульфаты	52	100	150-250	46,16	48,1	40	66	265	147
Железо общее	103	0,1	0,3	0,14	0,06	0,117	0,52	0,43	0,102
Марганец	105	0,01	0,05	0,109	0,102	0,1027	0,4	0,386	0,0979
Нитриты	97	0,08	0,005-0,5	0,03	0,053	0,0119	0,043	0,13	0,03
Нитраты	97	40	5-20	1,17	3,72	0,212	0,96	11,1	2,20
Аммоний-ион	98	0,5	0,05-0,1	0,10	0,28	0,072	0,31	1	0,10
Цинк	96	0,01	3-5	0,02	0,031	0,0228	0,180	0,109	0,0354
Медь	97	0,001	1	0,004	0,0021	0,00314	0,008	0,026	0,00406
Хром 6-и вал.	93	0,02	0,03-0,05	0,001	0	0,00132	0,0054	0,0064	0,0015
Никель	95	0,01	0,02	0,005	0,004	0,00533	0,0157	0,0096	0,00508
Фенолы	102	0,001	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001
Нефтепродукты	104	0,05	0,01-0,05	0,04	0,05	0,042	0,22	0,17	0,05
Цианиды	97	0,05	0,035	0,005	0	0,004	0,005	0,005	0,004
ХПК	90	30	30	18,6	-	22,7	34,1	43,3	27,7
БПК _п	95	3	-	3,46	2,07	2,096	4,97	8,75	2,97

Как следует из табл. 2, для пяти ингредиентов требуется введение региональных ПДК в связи с повышенным естественным их содержанием в воде р. Урал. В то же время действующая система поверхностных водных объектов не в состоянии статистически значимо выделить влияние такого крупного источника воздействия на р. Урал, как г. Магнитогорск на основе статистических оценок качества в фоновом и контрольном створах.

Проведенный анализ показал некорректность построения критериев качества воды для трансграничных рек на основе системы единых рыбохозяйственных ПДК, так как эти нормативы не учитывают почвенно-геохимических особенностей их водосборной территории, определяющих естественный гидрохимический режим конкретных водных объектов. Поэтому более корректно использование региональных ПДК, построенных на основе анализа статистик естественных колебаний регламентируемых ингредиентов. Даны оценки региональных ПДК для р. Урал в районе г. Магнитогорск. Как следует из табл. 2, в контрольном створе для р. Урал

наблюдается превышения ПДК_{р/х} по ряду тяжелых металлов, в первую очередь, железа, марганца, меди, однако их содержание в данном водотоке не увеличилось даже после такого крупнейшего металлургического комплекса как ПАО «ММК».

Поэтому для оценки состояния водных объектов и, в первую очередь, трансграничных рек принципиально важно использование региональных ПДК, учитывающих почвенно-геохимические условия конкретных водных объектов.

Список литературы

1. Лепихин А.П., Возняк А.А. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №2(45). С. 103–115. doi 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115.

2. Лепихин А.П., Возняк А.А., Веницианов Е.В. Проблемы при установлении региональных ПДК // Водные ресурсы России: современное состояние и управление: сб. материалов Всерос. науч.–практ. конф., г. Сочи, 08-14 октября 2018 г. В 2-х томах. Т.2. Новочеркасск: Лик, 2018. с.181-187.

3. Лепихин А.П., Возняк А.А. Региональные ПДК: разработка методических указаний // Чистая вода России: сб. материалов XV междунар. науч.-практ. Симпозиума, г. Екатеринбург, 23–27 сентября 2019 г. - г. Екатеринбург, 2019. – с. 49-53.

4. Моисеенко Т.О. Оценка качества воды и «здоровье» экосистем с позиции экологической парадигмы // Водное хозяйство России Проблемы, технологии, управление, 2017г. №3. С.104-124.

5. Environmental Quality Objectives for Hazardous Substances in Aquatic Environment. Berlin. Umweltbundesamt. 2001. 186 p.

6. Canadian Water Quality Guidelines. Ottawa.Ontario. Published by Canadian Council of Ministry of Environment. 2004. 76 p.

7. Persson L. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (sixteenth edition). 2012. Technical report no 1. Department of Chemistry and Biotechnology Chalmers University of Technology SE-412. Goteborg, Sweden. 96 p.

8. РД 52.24.622-2001 Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. Утв. Росгидрометом, дата введ. 01.01.2001.

9. 46. US EPA. 2000a. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs, US Environmental Protection Agency. Washington. DC. EPA-822-B00-001.

10. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утв. приказом Минприроды России от 12.12.2007 № 328, зарег. в Минюсте России 23.01.2008 № 10974.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НА ЮГЕ РОССИИ

Лобойко В. Ф.¹, Соловьева О. А.²

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград

E-mail: olqamatveeva@inbox.ru

Аннотация: В статье показаны актуальные проблемы р. Дон, отражены мероприятия по спасению реки. Кроме этого, обозначена проблема обеспечения Крымского полуострова пресной водой и даны пути решения этой проблемы.

Ключевые слова: р. Дон, Крымский полуостров, проблемы пресной воды, обводнительный канал Волго-Дон-2.

WATER MANAGEMENT PROBLEMS IN THE SOUTH OF RUSSIA

Loboyko V. F., Solovieva O. A.

FSBEI HE "Volgograd State Agrarian University", Volgograd

Abstract: The article shows the topical problems of the Don River. The measures to save the Don River are reflected. In addition, the problem of supplying the Crimean peninsula with fresh water is outlined and ways of solving this problem are given.

Key words: the Don River, the Crimean peninsula, fresh water problems, the Volgo-Don-2 water canal.

Река Дон по площади водосбора, равной 422000 км², занимает четвертое место среди рек Европейской части России [1].

В последние годы проблемы р. Дон, такие как маловодность, зарастание водной растительностью и загрязнение сточными водами обострились. Уровень в реках и водохранилищах региона снижается порой до критических отметок, что нарушает работу водозаборов, осложняет судоходство, прибавляет проблем аграриям, ухудшает экологическую обстановку. Река Дон нуждается в срочном оздоровлении [2].

По мнению Ищенко, успешно реализуются программы поддержки оз. Байкал, р. Волга. Дон имеет право на такую же поддержку.

Острый дефицит воды в Дону особенно заметен в последние годы [3]. Дефицит среднесуточного водного баланса в нем доходит до - 10 км³. Для увеличения водности этой реки мы считаем необходимым осуществить следующие мероприятия:

1. Экономия воды.
2. В промышленности, сельском и коммунальном хозяйстве необходимо разработать и строго контролировать выполнение водосберегающих технологий.
3. Определить водоохранную зону на всех притоках Дона, озерах и прудах.
4. Восстановить и сохранить Галерейные леса на всей площади водосбора.
5. Произвести расчистку малых рек и водотоков, строго соблюдая экологические требования. Как правило, нет необходимости вычищать все русло от истока до устья, уничтожая водную биоту. Необходимо тщательно изучить каждый водоток, определить, где необходима расчистка русла с целью увеличения пропускной способности или извлечения мусора. Для этого необходимо привлекать учёных, специалистов, общественников [4,5].
6. Восстановить родники на малых и больших реках. Для этого необходимо провести их ревизию и с помощью муниципалитетов закрепить за каждым родником куратора, который будет следить за сохранностью водоисточника, облагораживать его и прилегающую территорию. Такие примеры в нашей области уже имеются.
7. Однако, единственной реальной возможностью спасение р. Дон является возобновление строительства обводнительного канала Волга-Дон-2 в районе с. Ерзовка (рис. 1). Превышение среднесуточного баланса Волги составляет более +20 км³.

Таким образом, изъятие до 5 км³ стока не скажется отрицательно на гидрологическом режиме реки.

Для Каспия потеря 2 % от среднесуточного стока Волги будет практически неощутимо, но для Дона такая подпитка имеет решающее значение. Более того, часть

этой воды снова возвращается в Волгу в объемах шлюзования Волго-Донского судоходного канала.



Рисунок 1 - Трасса Ерзовского канала

К настоящему времени по Ерзовскому каналу выполнено 30-32 % всего объема строительных работ, в том числе земляных - около 70 %.

Для привлечения дополнительных финансовых ресурсов со стороны инвесторов считаем целесообразным перепроектировать канал и кроме переброски воды из Волги в Дон придать ему статус судоходного. Это также сократит срок окупаемости сооружения.

Все предлагаемые мероприятия по спасению Дона надо начинать осуществлять безотлагательно и выполнять одновременно, привлекая финансирование из различных источников, в том числе и зарубежных, а канал достраивать в кратчайшие сроки. Как показывает практика последних лет это мы можем!

Не менее остро для Юга России стоит проблема обеспечения Крымского полуострова пресной водой. Для решения этой проблемы мы предлагаем провести водопровод (минимум 2 нитки) от устья Дона до Северо-Крымского канала по дну Азовского моря (рис. 2).

После отсоединения Украиной канала от Днепра полуостров испытывает острый дефицит пресной воды. У России имеется богатый опыт прокладки трубопроводов по морскому дну. Волжский трубный завод готов обеспечить стройку необходимым количеством труб требуемого качества и большого диаметра.



Рисунок 2 - Схема водоводов от устья Дона до Крыма

Возможны 2 варианта прокладки водоводов: от устья Дона до Керчи или от устья Дона до пос. Советский (рис. 3).



Рисунок 3 - Схема водоводов до Керчи и п. Советский

В районе поселка Советский можно подавать воду в существующий канал. До Керчи в настоящее время прокладывают трубопроводы от насосной станции № 3 на конце Северо-Крымского канала. Расстояние от устья Дона до Керчи приблизительно 600 км, до поселка Советский приблизительно 720 км по дну Азовского моря плюс 20 км по суше. Воду можно будет подавать круглогодично, объёмы подаваемой воды

будут зависеть от диаметра труб, количества ниток трубопроводов и продолжительности работы насосов.

Для выбора вариантов водоподдачи необходимо разработать технико-экономическое обоснование. Несомненно, что этот проект будет иметь большой экономический, экологический, социальный эффект и важное политическое значение для нашего государства.

Список литературы

1. Багаевская, С. Экологические проблемы реки Дон и её притоков. Проза. ру. 2017. Электронный ресурс: <https://proza.ru/2017/10/17/689>.

2. Парламентская газета. Для оздоровления Дона может быть разработана федеральная программа. Электронный ресурс: <https://www.pnp.ru/politics/dlya-ozdorovleniya-dona-mozhet-byt-razrabotana-federalnaya-programma.html>.

3. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Ростовской области в 2015 году» [Текст] / под. общ. ред. Андрея Куренкова – Ростов н/Д: Администрация Ростовской области. Департамент природных ресурсов по Южному региону, 2015.

4. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2004 году» [Текст] / под. общ. ред. С. М. Назарова, В. М. Остроуховой, М. В. Паращенко. Ростов н/Д: Администрация Ростовской обл. Комитет по охране окружающей среды и природных ресурсов Администрации Ростовской области, 2005. 298 с.

5. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2005 году» [Текст] / под. общ. ред. С. М. Назарова, В. М. Остроуховой, М. В. Паращенко. – Ростов н/Д: Администрация Ростовской области. Комитет по охране окружающей среды и природных ресурсов Администрации Ростовской обл., 2006. 262 с.

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНОВ ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ И УРАЛА *

Лукьянов К.В., Кашутина Е.А. Коронкевич Н.И.

Институт географии РАН, г. Москва

E-mail: lukyanov@igras.ru

Аннотация. Рассматриваются источники загрязнения и трансграничного переноса в районах с различными природными и хозяйственными условиями российской части бассейнов Западной Двины и Урала. Показано, что роль сточных вод в загрязнении рек и водоемов гораздо выше в бассейне Урала, чем в бассейне Западной Двины. Вместе с тем в бассейне Урала велика доля диффузных источников, а в бассейне Западной Двины она является определяющей.

SOURCES OF RIVER POLLUTION IN THE RUSSIAN PART OF THE WESTERN DVINA AND URALS BASINS

Lukyanov K.V., Kashutina E.A., Koronkevich N.I.

Institute of Geography RAS, Moscow

Abstract. Sources of pollution and transboundary transport in areas with different natural and economic conditions of the Russian part of the Western Dvina and Ural basins are considered. It is shown that the role of

* Работа выполнена в рамках государственного задания 0148-2019-0007.

wastewater in the pollution of rivers and water bodies is much higher in the Ural basin than in the Western Dvina basin. At the same time, in the Ural basin, the share of diffuse sources is high, and it is decisive in the Western Dvina basin.

Key words: natural and economic conditions, transboundary pollution, waste water, diffuse sources.

Бассейны рек Западной Двины (в Латвии – Даугавы) и Урала находятся на западной и юго-восточной окраинах Восточно-Европейской равнины. Территория российской части бассейнов рек служит для наших соседей Белоруссии и Казахстана донором как водных ресурсов, так и поступающих с водой загрязняющих веществ (ЗВ). Различные природно-климатические и хозяйственные условия на территории бассейнов Западной Двины и Урала определяют разницу в вещественном стоке, поступающем через российскую границу как со сточными водами, так и от диффузных источников.

Современное состояние российской части водосборов р.р. Западная Двина и Урал

Река Западная Двина имеет длину 1020 км, площадь водосбора 87,9 тыс. км², Российская часть водосбора занимает 32% площади бассейна и состоит из двух частей — западной, площадью 3,3 тыс. км², на территории Псковской области (бассейны притоков Западной Двины – Жижица, Двинка, Усвяча, Дрисса) и восточной, площадью 24,7 тыс. км², на территории Тверской и Смоленской областей, речной сток с которых объединяется на территории Беларуси. Водосбор расположен, в основном, в пределах лесной зоны. Для бассейна характерен мягкий климат, хорошие условия увлажнения и умеренные температуры воздуха. Основные производства в бассейне Западной Двины в пределах российской части бассейна связаны с лесной промышленностью, картофелеводством и свиноводством, численность населения – около 200 тыс. чел. [1]. Больших населенных пунктов нет. Самые крупные города (Андреаполь, Западная Двина, Велиж) имеют численность населения менее 10 тыс. человек.

Река Урал имеет длину 2428 км, площадь водосбора 231000 км². В границах Российской Федерации находится 52,8% от территории всего бассейна. Здесь расположены частично 3 субъекта Российской Федерации: Оренбургская область занимает 33,8% территории бассейна, Республика Башкортостан - 11,8% и Челябинская область - 7,1% [2]. На территории российской части бассейна проживает 2,4 млн. чел., более половины сосредоточено в крупных городах - Оренбург, Магнитогорск, Орск. Для бассейна р. Урал характерна значительная пространственная дифференциация климатических и ландшафтных условий – река протекает в горнолесной, лесостепной, степной, полупустынной и пустынной зонах. От истоков к устью усиливается засушливость климата. Для реки характерна как значительная внутригодовая, так и межгодовая неравномерность стока – до 20 раз для среднегодового стока и до 1300 раз – для расхода воды в течение года [3]. Водосбор подвержен значительной антропогенной нагрузке. В верховьях, на территории Челябинской области, расположены основные металлургические предприятия России. В пределах российской части водосбора сток р. Урал значительно зарегулирован, 60 % территории водосбора распаханно, значительная часть воды бассейна расходуется на гидромелиорацию.

Характеристика состояния речных вод в приграничных створах российской части бассейнов

В 2019 г. р.р. Западная Двина и Урал характеризовались как "загрязненные". Основные ингредиенты, по которым за период с 2010 по 2019 гг. превышались ПДК в трансграничном створе Западная Двина – Велиж: органические вещества по ХПК, соединения железа, меди, фенолы и нефтепродукты; в створе Урал – Илек: органические вещества по ХПК и БПК₅, аммонийный и нитритный азот, сульфаты, соединения железа, меди, нефтепродукты (рис.1).

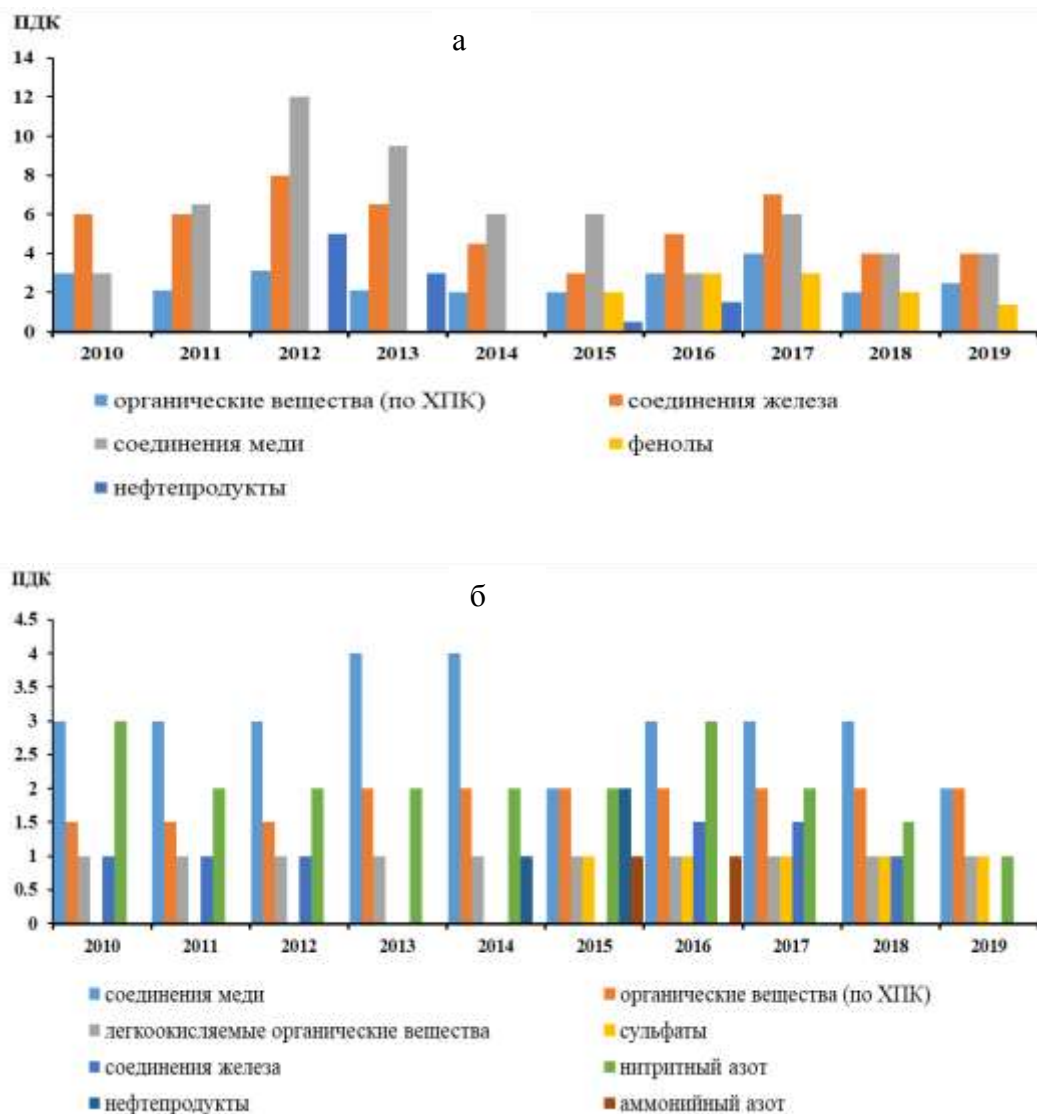


Рисунок 1 – Среднегодовые концентрации основных ЗВ (в ПДК) в 2010-2019 гг. в створе Западная Двина-Велиж (а), в створе Урал - Илек (б) [4].

В табл. 1 приведен *сток основных загрязняющих веществ через российские приграничные створы бассейнов р.р. Западная Двина и Урал*. Интересно, что с водами Западной Двины на территорию Белоруссии выносятся в несколько раз больше железа, меди, нефтепродуктов и органических веществ, чем с водами р. Урал на территорию Казахстана. Однако происхождение переносимых ЗВ разное. Учитываемые водохозяйственной статистикой ЗВ, поступающие со сточными водами [5], в бассейне Западной Двины составляют менее 1% от суммарного стока веществ через приграничные створы (табл. 2). А в бассейне р. Урал объем сточных вод в пределах российской части водосбора составляет более 20% от объема речного стока. В бассейне Урала велика доля загрязнений, поступающих со сточными водами и учитываемыми водохозяйственной статистикой. По отношению к стоку ЗВ, проходящему через приграничные створы, доля ЗВ в сточных водах составляет от 15% (по БПК) до более чем 100% (по нефтепродуктам).

Таблица 1 – Среднеголетний вынос основных ЗВ через приграничные створы р.р. Западная Двина-Велиж и Урал - Оренбург в 2010-2018 гг.

Показатель	Западная Двина – Велиж,	Урал-Оренбург
Площадь водосбора, км ²	17600	82300
Объем речного стока, км ³	4.53	2.24
Аммонийный азот, т/год		1020
Легкоокисляемые органические вещества по БПК ₅ , т/год		4900
Железо, т/год	2730	250*
Медь, т/год	30	6
Нефтепродукты, т/год	700	90
Нитритный азот, т/год		90
Органические вещества (по ХПК), т/год	185200	62906
Сульфаты, т/год		213500
Фенолы, т/год	10	

*по створу Урал-Илек (площадь водосбора 119000 км²)

Таблица 2 – Отношение вклада сточных вод в российской части бассейна реки в перенос вещества через приграничные створы, %

Элемент, соединение	Западная Двина - Велиж	Урал-Оренбург
Вода	<1	22.6
Аммонийный азот		29.9
БПК полн.		15.1
Железо	<1	26.8
Медь	<1	25.9
Нефтепродукты	<1	103.2
Нитрит-анион		85.6
Органические вещества (по ХПК)	<1	
Сульфаты		29.4
Фенолы	<1	

Основные источники контролируемого загрязнения в бассейнах р.р. Западная Двина и Урал – предприятия, занимающиеся забором, очисткой и распределением воды, а также обеспечением электрической энергией, газом и паром, кондиционированием воздуха [5]. В бассейне Урала много ЗВ, поступающих в реки, связано с добычей металлических руд. Конечно, не все ЗВ, поступающие в реки в пределах бассейна, достигают замыкающих створов (в данном случае, рассматриваемых приграничных створов), поскольку подвергаются химической и биологической трансформации, осаждаются и поступают в донные отложения, что особенно характерно для зарегулированных участков рек (Урал). Приведенные в табл. 3 цифры дают верхнюю границу возможного вклада регистрируемых сточных вод в трансграничный перенос ЗВ. Как показывают оценки для средних по площади водосбора бассейнов центральной части ЕТР [6,7], только около трети массы биогенных веществ, сформировавшихся в бассейне, достигает замыкающих створов. Таким образом, в первом приближении можно оценить **вклад контролируемых точечных источников** в пределах российской части бассейна Урала примерно в 20%, а оставшаяся часть приходится на **поступление ЗВ от диффузных, неучтенных**

статистикой, источников. В пределах российской части бассейна Западной Двины доля диффузных источников, в том числе природного происхождения, составляет практически 100%.

Список литературы

1. Drainage basin of the Baltic Sea. Chapter 8 [Электронный ресурс]. Доступен по адресу:

https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/assessment/English/L_PartIV_Chapter8_En.pdf. Дата обращения 15.04.2021

2. Алферов И.Н., Яковенко Н.В. Соловьев М.А. Водопользование в бассейне реки Урал: современное состояние и геоэкологические проблемы // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. Материалы XIII Междунар. науч. - практ. конф.: в 5 томах. Волжский ун-т им. В.Н. Татищева, Тольятти, 2016. С. 136-141.

3. Чибилёв А.А., Сивохиц Ж.Т., Падалко Ю.А. Трансграничный бассейн реки Урал: природное разнообразие, хозяйственное освоение, антропогенные изменения // Экологические проблемы бассейнов крупных рек. Материалы междунар. конф., приуроченной к 35-летию Ин-та экологии Волжского бассейна РАН и 65-летию Куйбышевской биостанции. Из-во Анна. 2018. с.323-324.

4. Качество поверхностных вод Российской Федерации: ежегодник 2019. Росгидромет, ФГБУ Гидрохим. ин-т, 2020. 578 с.

5. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. {Электронный ресурс}. Доступен по адресу: <https://gmvo.skniivh.ru/> Дата обращения. 05.04.2021.

6. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор – водоток – водоем. СПб: Нестор-История, 2019. 248 с.

7. Yasinsky S.V., Koronkevich N.I., Kashutina E.A., Sidorova M.V., Narykov A.N. Diffuse Biogenic Pollution of Water Bodies in the Volga River Basin — Example of Cheboksary Reservoir Basin // Water Resources Management: Methods, Applications and Challenges. Nova Science Publishers, Inc. pp. 123-152.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ АММОНИЯ И НИТРАТА В ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКЕ СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ

Лысенко В.С.^{1,2}, Усова Е.В.¹, Краснов В.П.^{1,3}

¹Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр, г. Ростов-на-Дону

²Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии, г. Ростов-на-Дону.

³Ростовский государственный медицинский университет, кафедра общей и клинической биохимии № 1, г. Ростов-на-Дону

E-mail: vs958@yandex.ru

Аннотация. Являясь частью бассейновой системы более высокого порядка, река Северский Донец представляет собой важный объект изучения азотного загрязнения акватории Азовского и Черноморского бассейнов. В этой работе мы исследовали концентрации нитратов, аммония и растворенного кислорода в р. Северский Донец, притоке р. Дон, в двух контрольных точках его верхнего течения (нижний бьеф Белгородского водохранилища и окрестности п. Новая Таволжанка) и в одной точке нижнего (окрестности российско-украинской границы). Полученные на протяжении 18 лет аналитические данные показали, что отношение среднегодовых значений $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ претерпевало изменения вплоть до 6-ти кратных на фоне незначительных колебаний насыщенности кислородом и температуры воды. Для всех точек

период с 2004 по 2008 г оказался по этой величине экстремально низким, а с 2013 по 2018 гг. – экстремально высоким. Обсуждается возможная роль нитрификации в обнаруженных изменениях. Кроме того, мы показали, что р. Северский Донец может вносить до 70-80% общего загрязнения NO_3^- и 55-65% общего загрязнения NH_4^+ в р. Дон, обеспечивая лишь около 30% от общего объема стока р. Дон.

Ключевые слова: ионы аммония, растворенный кислород, нитрат-ионы, нитрификация, р. Северский Донец, Азовское море, загрязнение биогенными веществами.

LONG-TERM DYNAMICS OF NITRATE AND AMMONIUM ION CONCENTRATIONS IN THE SEVERSKY DONETS RIVER, AZOV SEA BASIN

Usova, E. V.¹, Lysenko, V. S.^{1,2} and Krasnov, V. P.^{1,3}

¹Russian Information-Analytical and Water Management Research Center,
Rostov-on-Don, Russia

²Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology,
Rostov-on-Don, Russia

³Rostov State Medical University, Department of General and Clinical Biochemistry No. 1,
Rostov-on-Don, Russia
E-mail: vs958@yandex.ru

Abstract. Being a part of a higher order basin system the, Seversky Donets River is an important object to study nitrogen nutrient pollution in the water area of the Azov and Black sea basins. In this work we researched nitrate, ammonium ion and dissolved oxygen concentrations in the Seversky Donets River, a tributary of Don river, in two sampling points of the upper (*tailwater of Belgorod reservoir* and vicinity of Novaya Tavolzhanka village) and one sampling point of the lower (vicinity of Russian-Ukrainian border) course. The analytical data obtained show that $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ annual average ratio was sufficiently changed up to 6 times during 18-years period, whereas there were no significant changes in the temperature and water oxygen in the same sampling points. For all sample points, the $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in the 2004-2008 period was observed to be extremely low, and in the 2013-2018 period - extremely high. Possible role of the nitrification in these changes is discussed. In addition, we show that the *Seversky Donets river may contribute up to 70-80% of total NO_3^- pollution and 55-65% of total NH_4^+ pollution in Don river, contributing only about 30% of the Don River total discharge.*

Key words: ammonium ions, Azov Sea, dissolved oxygen, nitrate ions, nitrification, nutrient pollution, Seversky Donets river.

Введение

Азот является одним из двух (с фосфором) биогенных элементов, повышенные антропогенные уровни которого в водных экосистемах представляют опасность для окружающей среды многих стран [1]. Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов [2] оценило загрязнение азотом как главную причину деградации качества воды в некоторых водах США. Избыток растворенного азота (а также фосфора) приводит к значительным проблемам с качеством воды, включая вызванное водорослями “цветение”, гипоксию и сокращение естественных ареалов обитания диких видов [3]. Концентрации аммония и нитрата являются двумя основными определяющими факторами классификации качества воды, в соответствии с Рамочной директивой ЕС по воде [4].

Аммоний естественного происхождения присутствует в поверхностных и грунтовых водах, попадая туда в результате анаэробной деградации органического вещества донных отложений, откуда он поступает в поверхностные воды. Известно, что нитраты образуются как продукты микробиологического окисления (нитрификации) NH_4^+ [5]. Кроме того, ионы аммония и нитратов могут попадать в поверхностные воды из антропогенных источников, включая бытовые сточные воды или внесение удобрений.

Общий баланс азота в морских и поверхностных водах зависит от ряда факторов и процессов окружающей среды, среди которых основными являются нитрификация и

денитрификация [6]. Очевидно, что соотношение между NH_4^+ и NO_3^- , растворенных в поверхностных водах, является важным параметром, отражающим качество воды и способствующим нашему пониманию микробиологических процессов в водных экосистемах.

Нитрификация и денитрификация обнаруживают четкую зависимость от температуры и концентраций растворенного кислорода, что увеличивает интерес к долгосрочному мониторингу NH_4^+ и NO_3^- в связи с глобальными климатическими изменениями, происходящими во всем мире и конкретно в отдельных областях и регионах мира [6].

В этой статье приведены результаты исследования концентрации ионов нитратов и аммония в верхнем (2 точки отбора проб) и нижнем (1 точка отбора проб) течениях р. Северский Донец – крупнейшем притоке р. Дон. Нами показано, что среднегодовые отношения $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ за прошедшие 18 лет менялись в пределах одной точки до 6 раз. Мы не исключаем, что наблюдаемые результаты могут зависеть от изменений уровня нитрификации, причем они не могут быть объяснены сдвигами в температуре и концентрациях кислорода за исследуемый период.

Материалы и методы исследований

Анализы воды выполнялись в двух точках отбора проб верхнего (SP1 и SP2) и в одной точке нижнего (SP3) течения р. С. Донец в течение 18 лет с 2003 по 2020 г. (рис.1). Все три точки отбора проб (пункты контроля) являются частью мониторинговой сети Федерального агентства водных ресурсов России. Их расположение было выбрано с целью охвата большей части русла реки. Все три точки отбора проб подвержены диффузному загрязнению, вызванному сельскохозяйственными и животноводческими действиями, влияющими на качество воды в р. Северский Донец, которое оценивалось от 3b (загрязненные воды) до -4c (сильно загрязненные) классов в соответствии с 5-балльной российской классификацией качества воды [7].

Пробы воды по 50 образцов для каждого вида анализа (всего 150) получали в каждой точке отбора проб (каждый год) ежемесячно с марта по ноябрь. Фактически были получены 9 серий, представленных 5-6 пробами на один анализ (15-18 в сумме на все виды анализа). Каждая такая серия была собрана за один день в течение короткого промежутка времени (15-20 минут) около 11:00 по московскому времени (GMT +4). Образцы брали на расстоянии примерно 3 м от берега реки с глубины 0,5 м и доставляли в лабораторию для анализа в течение не более 20 часов. Выполняли три вида анализа: измерения концентрации NO_3^- , NH_4^+ и кислорода в воде. Измерения температуры воды проводились для всех образцов индивидуально во время отбора проб.

Концентрации NH_4^+ определяли с помощью модифицированного фотометрического метода Несслера с использованием предварительной дистилляции образцов [8], концентрации NO_3^- определяли фотометрическим методом с использованием салициловой кислоты [9]. Концентрации растворенного кислорода определяли методом иодидного окисления с использованием титрования образовавшегося йода тиосульфатом [10]. Насыщение растворенного кислорода ($s\text{O}_2$) рассчитывали как процентное соотношение концентрации растворенного кислорода в образце воды к максимальному количеству кислорода, которое можно растворить в воде при этой температуре. Применяли корректировку атмосферного давления [10, 11].

Результаты и их обсуждение

Динамика среднегодовых соотношений концентраций $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, измеренных для нижнего бьефа Белгородского водохранилища в окрестностях с. Графовка в течение исследуемого 18-летнего периода испытывала существенные колебания (рис.1). Если с 2003 по 2013 гг. они изменялись от 0,08 до 0,22, то в период с 2014 по 2020гг. эти величины оказались уже в интервале 0,1 – 0,86. Очень похожие изменения претерпевали величины соотношений. В речной воде в районе с. Н. Таволжанка (SP2) наблюдалась очень похожая картина, что неудивительно, учитывая близость этих точек. Здесь также с 2003 по 2012гг. обнаруживали относительно низкие $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (0,2-0,9), после чего наблюдался их резкий рост до 1,6 с последующим плавным спадом

(рис.1). В точке SP3 – окрестности г. Донецк (Россия, вблизи Российско-Украинской границы) период низких соотношений $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, наблюдался в 2004-2008 гг., и далее – период средне-низких соотношений.

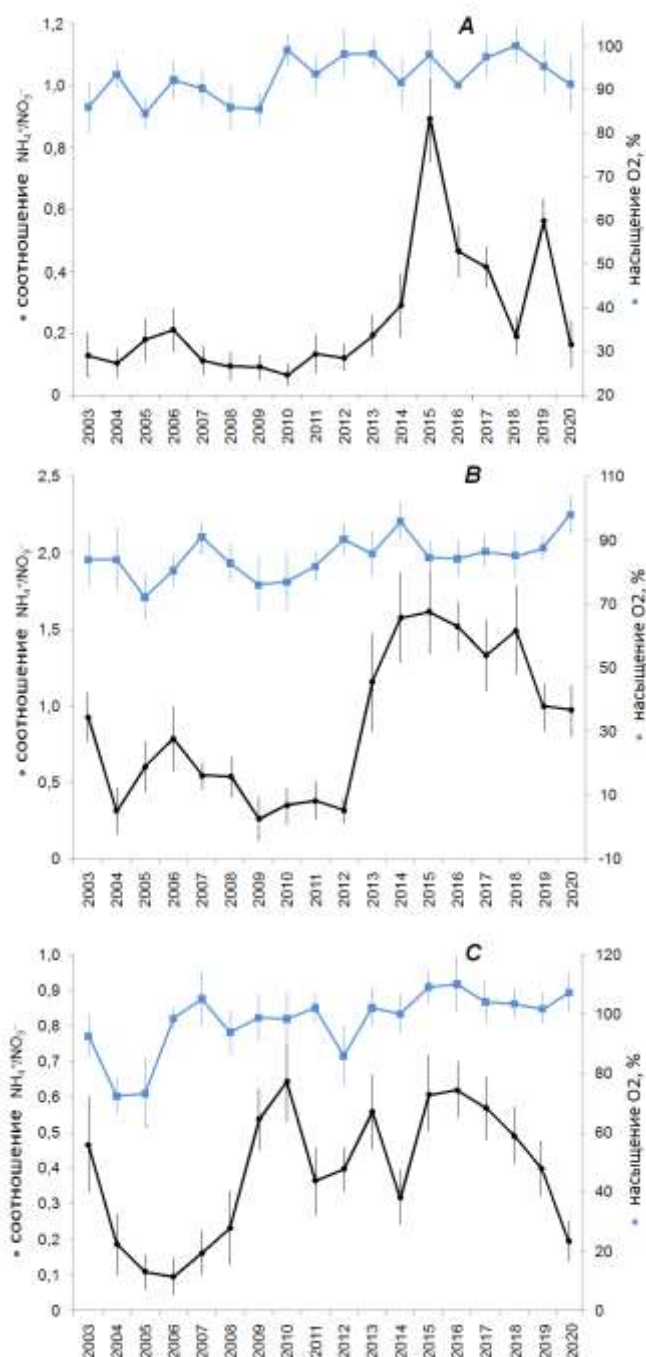


Рисунок 1 - Среднегодовые соотношения концентрация ионов аммония, нитрата ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$; нижние графики) и уровни насыщения воды кислородом (sO_2 , %; верхние графики) в р. С. Донец в период 2003 по 2017 г. (А) SP1 - нижний бьеф Белгородского вдхр., окр. с. Графовка; (В) окр. с. Н. Таволжанка; (С) SP3 - окр. Российско-Украинской границы в р-не г. Донецк (Россия). Планки погрешностей показывают стандартное отклонение для $P=0,05$

Общим для всех трех точек является период 2004-2008 г. года соотношение $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ было экстремально низким и период 2014–2018 гг., когда оно было экстремально высоким. Последний год наблюдений – 2020 – для всех 3-х точек характеризовался самым низким значением $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ с 2014 г. Во всех 3-х точках рост соотношения $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ определялся ростом абсолютных концентраций NH_4^+ и одновременным падением NO_3^- .

Обнаруженные изменения никак не связаны с изменениями среднегодовых температур и уровней насыщения воды кислородом sO_2 (рис.1), колебания которых были незначительны. Приведенные данные свидетельствуют о возможности того, что одной из причин изученных сдвигов соотношения $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ были изменения уровней нитрификации. Очевидно, что эти сдвиги могут зависеть и от разных других факторов, кроме нитрификации. Одним из таких факторов является баланс между скоростями антропогенного поступления NH_4^+ и NO_3^- в водоемы и скоростями потребления этих ионов фитопланктоном и бактериями. У нас нет информации о появлении 2003-2021гг. в бассейне р. Северский Донец новых мощных антропогенных источников NH_4^+ , а также нет данных о элиминации или существенном ослаблении источников NO_3^- , которые ранее вносили вклад в азотное загрязнение бассейна. Мы не нашли данных, относящихся к процессам денитрификации, протекающих в анаэробных почвенных горизонтах бассейна р. Северский Донец, которые тоже могли бы повлиять на отношение $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$. Таким образом, наше исследование свидетельствует о важности получения подробной информации об этих конкурирующих процессах.

В 2014 г. измерены среднегодовые абсолютные концентрации NH_4^+ и NO_3^- в воде р.р. Северский Донец и Дон; для точек р. Дон в окрестностях ст. Николаевская, расположенной в 57 км вверх по течению от впадения в р. Северский Донец (SP4) и вблизи г. Семикаракорск, расположенного в 16 км ниже по течению от впадения в р. Северский Донец (SP5). Среднегодовая концентрация NH_4^+ , измеренная в SP4, составила $0,18 \text{ мг л}^{-1}$, а концентрация NO_3^- – $0,45 \text{ мг л}^{-1}$. В SP5 эти величины оказались равны $0,28$ и $3,00 \text{ мг л}^{-1}$ соответственно. В том же году концентрации NH_4^+ и NO_3^- в р. Северский Донец (SP3) составили $2,47 \text{ мг л}^{-1}$ и $7,76 \text{ мг л}^{-1}$, тогда как стоки р. Северский Донец и Дон [12] составили $5,2$ и $17,1 \text{ км}^3$ соответственно. Таким образом, р. Северский Донец может вносить до 70-80% от общего загрязнения NO_3^- и 55-65% от общего загрязнения NH_4^+ р. Дон, внося при этом лишь около 30% стока от общего объема стока р. Дон.

В целом, полученные результаты демонстрируют важность долгосрочного мониторинга отношения $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ и представляют интерес с точки зрения изучения загрязнения биогенами Азовского моря, Донского бассейна и, возможно, других регионов.

Список литературы

1. Worsfold P., Monbet P., Tappi, A., Fitzsimons M., Stiles D., McKelvie I. Characterisation and quantification of organic phosphorus and organic nitrogen components in aquatic systems: A Review // *Analytica chimica acta*. 2008. Vol. **624**. P. 37-58.
2. USEPA (United States Environmental Protection Agency). Nutrient pollution. The problem. 2017. Available at: <https://www.epa.gov/nutrientpollution/problem>.
3. USEPA (United States Environmental Protection Agency). Water research. Ecology of harmful algal blooms publications. 2017. Available at: <https://www.epa.gov/water-research/ecology-harmful-algal-blooms-publications>.
4. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. 2000.
5. Gooddy D. C., Macdonal D. M., Lapwort, D. J., Bennet, S. A., Griffiths K. J. Nitrogen sources, transport and processing in peri-urban floodplains // *Science of The Total Environment*. - Т. 494--495. - P. 28-38.
6. Barnard R., Leadley P. W., Hungate, B. A. Global change, nitrification, and denitrification: A review//*Global Biogeochemical Cycles*. 2005. Vol. 52, GB1007. doi:10.1029/2004GB002282.
7. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Белгородской области в 2014 г. Министерство природных ресурсов и экологии. Белгород, 2015.

8. ПНД Ф 14.1:2:3.1-95. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. М., 2017.

9. ПНД Ф 14.1:2:4.4-95. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. М., 2011.

10. ПНД Ф 14.1:2:3.101-97. Методика измерений массовой концентрации растворённого кислорода в пробах природных и сточных вод йодометрическим методом. М., 2017.

11. Weiss R. F. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater // Deep Sea Research. - 1970. - Vol. 17. - P. 721-735.

12. Российское федеральное агентство водных ресурсов. Информационная система. М., 2021. http://voda.mnr.gov.ru/activities/list.php?part=316&sphrase_id=67864.

ТРАНСГРАНИЧНЫЕ РЕКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ВОДОСБЕРЕГАЮЩАЯ ПОЛИТИКА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Мажайский Ю. А.¹, Гертман Л. Н.²

¹ ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова, г. Рязань

² РУП «ЦНИИКИВР», г. Минск

E-mail: lubov.hertman@yandex.ru

Аннотация. В условиях трансграничного характера речных бассейнов требуются целенаправленные совместные действия России и Беларуси на основе научных исследований для комплексного решения имеющихся экологических проблем. Разработка и реализация совместной комплексной межгосударственной программы по интегрированному управлению водными ресурсами на уровне Союзного государства позволит провести необходимые исследования и реализовать природоохранные мероприятия в трансграничных бассейнах рек и околводных экосистем.

Ключевые слова: трансграничный речной бассейн, водообеспеченность.

TRANSBOUNDARY RIVERS OF THE RUSSIAN FEDERATION AND THE REPUBLIC OF BELARUS: WATER-SAVING POLICY UNDER THE CLIMATE CHANGE

Mazhayskiy Yu.A.¹, Hertman L.N.²

¹All-Russian Research Institute of Hydrotechnics and Melioration Named after A.N. Kostyakov, Ryazan

²Republican Unitary Enterprise "Central Research Institute for Complex Use of Water Resources", Minsk

E-mail: lubov.hertman@yandex.ru

Abstract: In the transboundary river basins, purposeful joint actions of Russia and Belarus on the basis of scientific research are required for a comprehensive solution of existing environmental problems. The development and implementation of a joint integrated interstate program on integrated water resources management at the level of the Union State will allow carrying out the necessary research and implementing environmental protection measures in transboundary river basins and near-water ecosystems.

Key words: transboundary river basin, water availability.

Водообеспеченность территории является важной частью ее экономического потенциала. Это актуально и в связи с тем, что одним из наиболее негативных последствий изменения климата для речного стока является возможное увеличение

частоты и интенсивности неблагоприятных метеорологических и гидрологических явлений. За счет возможного увеличения частоты и продолжительности засушливых периодов повышаются риски существенного уменьшения стока малых рек со снижением в них уровня воды, ухудшением ее качества и уменьшением рекреационного потенциала этих рек. Эта проблема остро выражена в бассейнах трансграничных рек, поскольку затрагивает интересы государств – пользователей водных ресурсов. Во избежание межгосударственных конфликтов этого можно достичь путем рационального управления водными ресурсами в бассейнах трансграничных рек на основе международных соглашений с участием не только соседствующих стран, но и третьих государств-арбитров. В основе таких соглашений должна быть водосберегающая политика, направленная на учет взаимных интересов и компенсацию причиненного экологического ущерба.

Республика Беларусь и Российская Федерация, руководствуясь Конвенцией по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер от 17 марта 1992 г., заключили 24 мая 2002 г. Соглашение о сотрудничестве в области охраны и рационального использования трансграничных водных объектов. Стороны соглашения осуществляют совместные действия в области охраны и рационального использования трансграничных водных объектов, а также разрабатывают и осуществляют совместные мероприятия и проекты в области использования, восстановления и охраны трансграничных водных объектов, проводят совместные водохозяйственные и водоохраные мероприятия. Главной задачей в исследовании трансграничных водных ресурсов на нынешнем этапе является комплексная оценка их современного состояния с учетом пространственно-временных колебаний и изменений основных составляющих водного баланса речных водосборов. При этом необходимо учитывать влияние на них различных природных и антропогенных факторов, прогноз изменения водных ресурсов при различных сценариях развития климата. На основе полученных научных результатов необходимо разработать мероприятия по минимизации возможных негативных последствий в случае изменения режима водных ресурсов.

После вступления в силу в 2015 г. нового Водного кодекса в Республике Беларусь на основе разработанных ранее схем комплексного использования и охраны водных ресурсов начали разрабатываться планы управления речными бассейнами (далее – ПУБР). В период 2015-2020 гг. РУП «ЦНИИКИВР» разработаны планы управления речными бассейнами Днепра, Западного Буга и Припяти на территории республики. Реализация мероприятий, направленных на улучшение экологического состояния (статуса) поверхностных водных объектов (их частей) бассейна реки Днепр планируется в два этапа. I этап (2019-2025 гг.) – включает мероприятия, реализация которых будет способствовать поддержанию «хорошего» или «отличного» экологического состояния (статуса) водных объектов и прогрессивному снижению негативного воздействия на водные объекты. II этап (2026-2031 гг.) – включает мероприятия, реализация которых позволит улучшить экологическое состояние (статус) поверхностных водных объектов. Разработанные мероприятия рекомендовано учитывать при формировании государственных и иных программ, региональных комплексов мероприятий в области охраны и использования вод.

Работа по реализации Соглашения в части совместного использования и охраны трансграничных водных объектов бассейна р. Западная Двина, а также осуществления мероприятий по выполнению обязательств Республикой Беларусь и Российской Федерацией проводится Витебским областным комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды совместно с организациями и структурными подразделениями Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь во взаимодействии с отделами по охране водных ресурсов Смоленской и Псковской областей Российской Федерации. Начиная с 2010 г. было развернуто строительство свиноводческих комплексов в Псковской области

Российской Федерации – на территории Несвижского и Усвяцкого районов более 30 комплексов мощностью не менее 24 тыс. голов откорма в год каждый. Эти свинокомплексы могут представлять потенциальную угрозу не только окружающей среде Российской Федерации, но и трансграничным экологическим системам Республики Беларусь. Особенно уязвимыми являются водные объекты бассейна р. Западная Двина, дренирующей водосборную территорию, на которой расположены потенциальные источники загрязнения. Так в бассейне р. Усвяча и на водораздельной территории расположено 10 свиноводческих комплексов; в бассейне оз. Езерище и р. Оболь – 1 комплекс; в бассейне р. Уща – 5 комплексов.

В настоящий момент большинство введенных в эксплуатацию объектов не вышли на свою проектную мощность: запроектированные лагуны на большинстве комплексов в настоящее время заполняются не более, чем на половину. Достаточно и сельскохозяйственных угодий для внесения образующихся отходов животноводства как удобрения. С течением времени, однако, ситуация может ухудшиться: оборудование стареет, лагуны при интенсивной эксплуатации способны нарушать герметичность, сельскохозяйственных полей недостаточно для принятия навозных стоков при выходе на проектную мощность всех планируемых объектов. С учетом вышеизложенного, важным является организация постоянных наблюдений о состоянии трансграничных участков малых рек на границе Витебской и Псковской областей и проведение профилактических мероприятий, направленных на предотвращение поступления загрязняющих веществ в водные объекты с водосборов, а также разработка предложений по порядку реагирования заинтересованными сторонами в случае выявления высоких уровней загрязнения.

На основании анализа международных соглашений для трансграничных поверхностных водных объектов бассейна р. Западная Двина предлагается реализация следующих групп водоохранных мероприятий:

- мероприятия по дальнейшему развитию трансграничных наблюдений по гидрохимическим показателям;
- мероприятия по недопущению поступления загрязняющих веществ в водные объекты с водосборов;
- мероприятия по организации порядка реагирования заинтересованных сторон в случае выявления высоких уровней загрязнения.

Все эти группы мероприятий решают ключевые проблемы, связанные с загрязнением, засорением и истощением поверхностных вод водных объектов и их водосборов.

В целом, проводимые в обеих странах исследования водосборов малых рек показали, что для сохранения и улучшения экологического состояния для малых трансграничных водотоков бассейна необходимо использование следующего состава водоохранных мероприятий:

- соблюдение правил хозяйствования в пределах водоохранных зон и прибрежных полос водных объектов, включая работы по ликвидации источников их загрязнения;
- ограничение степени сельскохозяйственной освоенности и мелиорированности в пределах 30-35 %;
- ограничение рубки в пределах санитарной зоны, запрет на сплошную рубку леса;
- организация экологически защищенных полигонов сбора бытовых отходов в населенных пунктах, расположенных по берегам малых рек;
- мелиорация русел водотоков;
- проведение гидрологического обоснования объемов изъятия поверхностных вод с учетом минимально допустимого экологического расхода, величина которого не может быть меньше 75 % расхода 95 % обеспеченности меженного стока;

- ограничение регулирования русловой сети (создание водохранилищ и прудов), изменения русловых процессов;

– оптимизация сети наблюдений за гидрологическим и гидрохимическим режимом на притоках первого порядка.

Предлагаемые мероприятия являются долгосрочными и подлежат выполнению в процессе хозяйственной деятельности на территории водосборов трансграничных водотоков. Выполнение общих и бассейновых водоохранных мероприятий позволит сохранить и улучшить экологическое состояние малых и средних трансграничных водотоков. В условиях трансграничного характера речных бассейнов требуются целенаправленные совместные действия России и Беларуси на основе научных исследований для комплексного решения имеющихся экологических проблем.

Водосберегающую политику целесообразно сосредоточить на следующих основных направлениях:

– предотвращение и уменьшение негативных последствий от наводнений;

– улучшение качества природных вод;

– охрана водных источников при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов;

– управление режимом природных вод, обеспечивающее биосферное функционирование природных экосистем;

– создание бассейновых схем управления водными ресурсами.

В области улучшения качества природных вод представляются важными следующие мероприятия:

– оценка современного состояния загрязнения поверхностных и подземных вод и прогноз на ближайшую перспективу;

– оценка величины трансграничного переноса загрязняющих веществ для рек, оптимизация сети наблюдений за качеством природных вод;

– разработка эффективных методов очистки природных и сточных вод;

– разработка компенсационных мероприятий для снижения негативных последствий, вызванных ухудшением качества речных вод;

– разработка мероприятий по снижению загрязнения поверхностных и подземных вод при разработке месторождений полезных ископаемых;

– разработка мероприятий по улучшению качества подземных вод на групповых водозаборах основных населенных пунктов;

– разработка мероприятий по регулированию стока, подаче воды извне, повторному использованию дренажных вод, а также исследование возможности применения нетрадиционных способов, методов и источников покрытия дефицитов влажности почвы сельскохозяйственных полей;

– оценка последствий изменений гидробиологического режима рек, вызванных изменением гидрологического режима рек, повышением температуры воздуха, ухудшением кислородного режима, снижением интенсивности процессов самоочищения;

– разработка методики оценки ущерба от загрязнения вод с учетом экологической безопасности для человека и окружающей природной среды.

На бассейновом уровне необходимо решить следующие задачи:

– дать оценку современного состояния и на перспективу водных ресурсов с учетом их колебаний и влияния на них различных природных и антропогенных факторов;

– разработать бассейновую схему управления водными ресурсами основных рек;

– разработать модель функционирования бассейна малых рек и на ее основе оптимизировать комплексное использование водных ресурсов этих бассейнов;

- разработать методы эксплуатации работы бесплотинных водозаборов, водного транспорта, рекреационных мест и т. д. в условиях уменьшения стока;
- дать экономическое обоснование расчетной обеспеченности водохозяйственных объектов в связи с уменьшением водных ресурсов.

Проблема адаптации водных ресурсов к изменению климата является новой и неопределенной. В тоже время, вследствие изменения климата, могут усугубиться некоторые современные проблемы водохозяйственного комплекса России, Беларуси, других государств, а также появиться новые, не характерные для нынешних условий. Поэтому разработка адаптационных мер и их реализация является неотложной задачей. В связи с этим, адаптация водных ресурсов к изменению климата требует индивидуальных подходов в каждом конкретном случае. В наиболее уязвимом положении окажутся экосистемы малых рек. Научные исследования прогнозируют возможное значительное снижение стока рек Беларуси в летние месяцы и в начале осеннего периода, что может привести к значимому негативному воздействию на те виды природных ресурсов и отрасли экономики, которые активно используют водные ресурсы (поверхностные воды) в указанные периоды года. Кроме количественных и качественных характеристик водных ресурсов изменения могут затронуть прибрежные экосистемы, водно-болотные угодья и лесные ресурсы в поймах рек.

Прогнозируемое изменение климата и неизбежный рост хозяйственного освоения речных долин в связи с ростом населения, несомненно, приведут к увеличению повторяемости наводнений разрушительной силы. Поэтому необходимо усилить научно-исследовательские, организационные и практические работы, направленные на уменьшение ущербов от наводнений. Предотвращение стихийных бедствий в 50-70 раз уменьшит затраты на ликвидацию последствий наводнений. В условиях трансграничного характера речных бассейнов требуются целенаправленные совместные действия России и Беларуси на основе научных исследований для комплексного решения имеющихся экологических проблем.

Перспективным видится разработка совместной комплексной межгосударственной программы по интегрированному управлению водными ресурсами на уровне Союзного государства. Важными представляются следующие два направления:

- сохранение и улучшение качества поверхностных и подземных вод для эффективного использования водноресурсного потенциала с учётом комплекса институциональных, экономических, социальных, природно-климатических и экологических факторов в контексте совершенствования системы управления использованием и охраной трансграничных речных бассейнов Беларуси и России;
- восстановление и реабилитация водоемов, водотоков и благоустройство их водосборов в городах государств-участников России и Беларуси на основе разработки программно-аппаратной платформы, позволяющей определить источники загрязнения и рекомендовать комплексы мероприятий (планы) по восстановлению водных объектов.

Комплексные совместные исследования имеют важное значение для сохранения и рационального использования трансграничных водных ресурсов России и Беларуси.

БАССЕЙН РЕКИ АМУР: ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Макаров А.В.¹, Бортин Н.Н.², Милаев В.М.²

¹Амурское бассейновое водное управление, г. Хабаровск, Россия

E – mail: makarov@bv.u.kht.ru

²ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, г. Владивосток, России

E - mail: nbortin@mail.ru; E – mail: mivm@mail.ru

Аннотация. В статье сформулированы основные трансграничные водно-экологические проблемы бассейна р. Амур, решение которых будет способствовать межгосударственному регулированию вопросов охраны и рационального использования водных ресурсов в бассейне реки.

Ключевые слова: трансграничный водный объект, водные ресурсы, водохозяйственные мероприятия, качество воды, сопредельные государства.

AMUR RIVER BASIN: TRANSBOUNDARY WATER AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Makarov A.V.¹, Bortin N.N.², Milaev V.M.²

¹Amur Basin Water Administration, Khabarovsk, Russia, E - mail: makarov@bv.u.kht.ru

²FSBU "Russian Research Institute for Integrated Use and Water Conservation", Far East Branch, Vladivostok, Russia

E - mail: nbortin@mail.ru.

Abstract. The article formulates the main cross-border water and environmental problems of the Amur River Basin, the solution of which will contribute to the interstate regulation of water protection and management in the river basin.

Keywords: cross-border water facility, water resources, water management activities, water quality, neighboring states.

Река Амур - одна из наиболее крупных рек мира, её длина 2824 км, площадь водосбора 1855 тыс. км²; по длине она занимает девятое, по площади водосбора – десятое место в мире. Большая часть бассейна (около 75 %) имеет горный рельеф; при этом значительная протяженность реки определяет существенную пространственную неоднородность рельефа, климата, литологических характеристик, растительности и обуславливает мозаичность распределения различных параметров водных экосистем и неоднородность формирования её водного режима. Специфической особенностью бассейна р. Амур является её пограничный характер. Значительная часть бассейна р. Амур (820 тыс. км²) находится в пределах Китайской Народной Республики (КНР), часть бассейна (32 тыс. км²) – в пределах Монгольской Народной Республики. Протяженность границы между КНР и РФ по р/ Амур, ее притокам (Аргунь, Уссури, Сунгач) и по акватории оз. Ханка составляет около 3,5 тыс. км. Численность населения и предполагаемые объемы производства на площади бассейна р. Амур, расположенного в КНР, на порядок и более превышают соответствующие показатели Российской стороны [1].

Состояние водных ресурсов бассейнов рек, как известно, следует рассматривать в качестве интегрального показателя способности территории к её устойчивому и сбалансированному развитию, так как именно водные ресурсы в природном круговороте являются замыкающим элементом цикла хозяйственной системы. Решая проблему восстановления и поэтапного улучшения состояния водных ресурсов,

одновременно решаются вопросы охраны окружающей среды и сбалансированного развития территории в основных направлениях. И потому, на совещании министров экономик, входящих в организацию Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС), по вопросам охраны окружающей среды, прошедшем в г. Хабаровск 16-18 июля 2012г., было озвучено, что охрана окружающей среды является важным направлением для стран Азиатско-Тихоокеанского региона, и Россия использовала свое председательство в АТЭС, чтобы придать новый импульс налаживанию в Азиатско-Тихоокеанском регионе взаимодействия в области экологии. Работа экспертной группы АТЭС в Хабаровске сосредоточилась на пяти основных темах: сохранении биологического разнообразия, "зеленой экономике", устойчивом управлении водными ресурсами, рациональном использовании природных ресурсов, борьбе с трансграничным загрязнением окружающей среды [2].

Бассейны трансграничных рек, каким является Амур, обладают сложными природными условиями, богатым и разнообразным ресурсным потенциалом, значительная часть которого интенсивно осваивается, в связи с чем обозначилась устойчивая тенденция ухудшения экологического состояния природной среды в бассейне. Значительно сокращаются площади лесов, усиливаются эрозионно-дефляционные процессы, ухудшается качество вод, снижаются запасы биоресурсов, что свидетельствует о активизации процессов деградации природных комплексов данного бассейна.

В Сообществе, расположенном в бассейнах трансграничных рек, существуют различные условия и потребности в воде, которые требуют разных специфических решений. Это разнообразие следует учитывать при планировании и реализации мер, направленных на обеспечение охраны и устойчивого использования водных ресурсов в рамках всего трансграничного бассейна, и это должно закрепляться межправительственным Соглашением о рациональном использовании и охране трансграничных вод между сопредельными государствами.

Между КНР и РФ существует более десяти соглашений по разным частным аспектам, проектам и объектам водопользования, было сформировано большое количество комиссий и рабочих групп для разрешения возникающих трансграничных проблем, но в целом эффективность работы групп и комиссий следует признать, из-за несогласованности общей нормативной базы, недостаточной. Показателем низкой эффективности нормативной базы двусторонних отношений и институциональных структур, которые её используют, служат многочисленные проблемы, по-прежнему существующие на общих трансграничных водных объектах России и Китая [3].

В настоящее время, действующим с мая 2008г., является Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о рациональном использовании и охране трансграничных вод [4]. В соответствии с п.8 данного Соглашения предусмотрен порядок информирования сопредельных государств об осуществляемых и планируемых водохозяйственных мероприятиях на трансграничных водах, способных привести к значительному трансграничному воздействию, а также принимать необходимые меры по предотвращению, ограничению и сокращению такого воздействия.

В рамках вышеупомянутого Соглашения созданы совместные Российско-Китайские комиссии и рабочие группы, где особая роль во взаимодействии сторон отводится Росгидромету в части осуществления сотрудничества в сфере гидрологии, предупреждения и сокращения последствий паводков на трансграничных водах, совместных действий по предупреждению чрезвычайных ситуаций и реагированию на них [5].

Несмотря на существующее межправительственное Соглашение, комиссии и рабочие группы, трансграничное взаимодействие между РФ и КНР в области охраны и использования водных ресурсов в бассейне Амура недостаточно, межгосударственный обмен информацией по мониторингу состояния водных объектов ограничен,

информация о проводимых на сопредельных территориях водохозяйственных мероприятиях практически отсутствует. Такая ситуация привела, к примеру, в последние годы к беспрецедентному подъёму уровня воды трансграничного оз. Ханка – самого крупного пресноводного озера на Дальнем Востоке, расположенного в центре Приханкайской низменности на границе с КНР. Последствия подъёма уровня воды в озере в настоящее время уже выразились для российской территории в затоплении и подтоплении населенных пунктов, земель сельскохозяйственного назначения, а также государственного природного биосферного заповедника «Ханкайский» [6].

Особое внимание в Соглашении уделено состоянию качества трансграничных вод. В Соглашении поставлена задача постоянного сокращения сброса вредных веществ в трансграничные водные объекты, а конечной целью - достичь устранения вредных веществ в водном объекте и способствовать достижению уровней их концентрации, близкой к фоновым значениям.

С 2007 г. в бассейне Амура осуществляется совместный российско-китайский мониторинг качества вод и донных отложений, однако до сих пор наблюдается значительное загрязнение водных объектов органическими веществами, тяжелыми металлами, нефтепродуктами и органическими соединениями. Донные отложения загрязнены свинцом, мышьяком и другими тяжелыми металлами. Согласно российским нормам РД.24.643-2002, классификация качества воды с использованием удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) показывает, что практически для всех исследуемых водных объектов в бассейне Амура (с небольшим различием в отдельные годы) класс качества варьирует от «очень загрязненной» (3Б) до «грязной» (4А). В последние годы несколько улучшилось состояние качества воды р. Амур ниже впадения р. Сунгари до класса «слабозагрязненная» (2). Особую тревогу вызывает наличие в воде Амура опасных для человека низкомолекулярных органических соединений и потенциально опасных веществ, законодательно в РФ не нормируемых и действие которых на организм человека и животных до сих пор не изучено [7].

Планы социально – экономического развития Северо-Восточного Китая, направленные на производство продовольствия, требуют увеличения водопотребления. И поэтому КНР в последние десятилетия активно решая водные проблемы, затрагивает интересы соседей. В результате существенно возрастает проблема уменьшения стока с китайской части в реки Аргунь, Уссури, Амур и понижение их общей водности в засушливый период. КНР ускоряет освоение ресурсов трансграничных рек и расширяет огромные оросительные системы по берегам рек Амур, Уссури, включая переброску стока рек, например, р. Мулинхэ в оз. Малая Ханка и оз. Ханка [3,6].

В Российской Федерации законодательно вопросы охраны и использования водных ресурсов определены Водным кодексом, где предусмотрена разработка Схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), в том числе и трансграничных – как инструмента интегрированного управления речными бассейнами [8]. В соответствии с водохозяйственным районированием, российская часть бассейна р. Амур включает 9 гидрографических единиц, 23 водохозяйственных участка [9], 6 из которых суммарной длиной 3432 км, являются пограничными, и по ним расчет водохозяйственных балансов, лимитов и квот на забор и сброс воды, без данных о потреблении воды с сопредельной пограничной территории, не могут быть достоверными и при планировании мероприятий на российской территории уже на ближайшую перспективу могут возникнуть серьёзные проблемы.

Для населения, проживающего в бассейне Амура, главными проблемами, помимо загрязнения водной среды являются: наводнения, русловые деформации, вызванные антропогенной деятельностью, инженерные мероприятия по регулированию и переброске стока в бассейнах рек на сопредельной территории.

Односторонняя несогласованная водохозяйственная деятельность КНР в прибрежной зоне негативно влияет на деформации левого (Российского) берега русла р. Амур. Хозяйственная освоенность сопредельных территорий резко отличается.

Левый (российский) берег Амура мало заселён; редкие населённые пункты, имеющие непосредственный выход на берег реки, расположены фрагментарно. Берегоукрепления инженерного типа здесь практически отсутствуют. За пределами поселков (в пограничной зоне) наблюдается неуправляемый процесс разрушения береговой линии.

Правый (китайский) берег, более высокий, значительно более освоен и обустроен. Береговая линия примерно на 70-80 % своей протяженности спланирована, укреплена каменной отмосткой на высоту паводка 2% обеспеченности (норматив КНР к противопаводковым дамбам и сооружениям) и обустроена. Одностороннее берегоукрепление китайской стороной обеспечивает стабилизацию правого берега и создает благоприятные условия для развития деформаций неукрепленного левого российского берега и смещения к нему фарватера [10].

Происходящий в настоящее время процесс изменения климата проявляется в повышении вероятности возникновения экстремальных значений природных явлений и увеличения их амплитуды. Так, например, наводнения и засухи отмечаются чаще, при этом максимумы паводков и пирогенность (пожароопасность) увеличивается. Для планирования мер по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним необходима разработка общих (совместных) управленческих решений по внедрению плановых мероприятий, которые могут быть оптимизированы только на основе прогнозирования (долгосрочного и сверхдолгосрочного) динамики экстремумов и их амплитуды.

Основой улучшения состояния природной (водной) среды должна стать разработка согласованной межгосударственной стратегии экологически адаптированного управления водно-ресурсным потенциалом данного трансграничного водного объекта.

Для разработки оптимальной стратегии управления водными ресурсами трансграничного водного объекта, каким является Амур, целесообразно выполнить следующее:

- осуществлять обмен информацией о выполняемых и планируемых к выполнению водохозяйственных мероприятий Российской и Китайской сторонами;
- определить реальное состояние загрязнения вод, с выделением основных источников антропогенного загрязнения с определением доли каждого приграничного государства в суммарное загрязнение;
- определить базовое (фоновое) экологическое состояние основных рек бассейна Амура, их целевые показатели, базирующиеся на экологических параметрах;
- разработать экологически обоснованные нормативы качества вод основных водных объектов бассейна; нормативы антропогенного сброса загрязняющих веществ с целью определения квот на сброс сточных вод каждым пограничным государством (с разработкой механизма ответственности за нарушение норм);
- определить тенденции развития русловых процессов в пределах участков трансграничных рек; их влияние на гидроморфологию речной системы, водную флору и фауну с оценкой вклада каждого государства в реализацию мероприятий по улучшению экологической обстановки и стабилизации русловых процессов.

Оценка и прогноз последствий антропогенного воздействия на водную экосистему возможны на основе комплексного изучения динамики состояния водных объектов, в основу которых должны быть положены:

- бассейновый принцип;

- организация совместного трансграничного мониторинга (с единой программой наблюдений), учитывающего реакцию водной экосистемы на все виды антропогенных воздействий;

- единая нормативная и методическая основы (стандарты, методики) для оценки состояния водных объектов;

- открытость и обмен информацией по мониторингу гидрологического режима водных объектов в бассейне, количеству использования водных ресурсов и их качеству.

Следует помнить, что все реки текут в океаны и моря. Загрязнённые речные воды являются главным источником загрязнения морских вод и их прибрежных акваторий, где продуцируются основные водные биоресурсы.

Список литературы

1. Бортин Н.Н., Милаев В.М., Черняев А.М. Бассейн Амура // Вода России. Речные бассейны: РосНИИВХ. Екатеринбург, Из-во «АКВА-ПРЕСС», 2000. С. 180-213.

2. Министры экономик АТЭС подписали Хабаровскую декларацию об охране окружающей среды. Текст: электронный // Российская газета: [сайт]. 2012. URL: <https://rg.ru/2012/07/19/reg-dfo/ministry.html> (дата обращения: 28.04.2021).

3. Каракин В. П. Трансграничное водопользование на Амуре – конкуренция и сотрудничество // Экологические риски российско-китайского трансграничного сотрудничества: от «коричневых» планов к «зеленой» стратегии. - Москва - Владивосток - Харбин: WF, 2010. С. 84–93.

4. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о рациональном использовании и охране трансграничных вод. Дата принятия 29 января 2008г. Дата начала действия – 23 мая 2008 г.

5. Дугина И.О. Российско-китайское сотрудничество по гидрологии и при трансграничных чрезвычайных ситуациях экологического характера / Материалы VII Международной науч.-практ. конф. «Реки Сибири и Дальнего Востока». / Под ред. О. И. Никитиной. WWF России, 2012. С. 82–85.

6. Бортин Н.Н., Горчаков А.М. Причины экстремально высокого уровня воды трансграничного озера Ханка. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. №4. с.62-84.

7. Бортин Н.Н. Проблемы комплексного использования и управления водными ресурсами на территории Амурского бассейна. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. №6. с. 16-33.

8. Водный кодекс Российской Федерации (ред. от 29.07.2017) // Консультант-Плюс: справочно-правовая система.

9. Приказ Федерального агентства водных ресурсов от 31 июля 2008г. № 158 «Об утверждении количества водохозяйственных участков и их границ по Амурскому бассейновому округу».

10. Бортин Н.Н., Милаев В.М. Трансграничные проблемы в бассейне р.Амур. Водное хозяйство России. 2005, Т.7, № 5. С.522-531.

ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БАСЕЙНА РЕКИ АМУР

*Махинов А.Н.¹, Ким В.И.¹, Лю Шугуан², Махинова А.Ф.¹, Матвеев Д.В.¹,
Дугаева Я.Ю.¹*

¹Институт водных и экологических проблем Хабаровского федерального
исследовательского центра ДВО РАН, Хабаровск

²Университет Тунцзи, Шанхай, КНР

E-mail: makhinov@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются основные особенности последствий хозяйственной деятельности в бассейне реки Амур. Показано, что среди геоэкологических проблем наиболее острыми являются изменение водного режима рек, активизация русловых процессов и низкое качество воды, обусловленные трансграничным воздействием. Выделено семь трансграничных природно-хозяйственных территорий с различными последствиями факторов антропогенного воздействия.

Ключевые слова: Амур, геоэкологические проблемы, качество воды.

TRANSBOUNDARY GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF THE AMUR RIVER BASIN

*Makhinov A.N.¹, Kim V.I.¹, Lyu Shuguan², Makhinova A.F.², Matveenko D.V.¹,
Dugaeva Ya.Yu¹*

¹Institute for Water and Environmental Problems of the Khabarovsk Federal Research
Center, FEB RAS, Khabarovsk

²Tongji University, Shanghai, PRC

E-mail: makhinov@mail.ru

Abstract. The main features of the economic activity consequences in the Amur river basin are considered. It is shown that among the geoecological problems the most acute are changes in the water regime of rivers, activation of channel processes and low water quality caused by transboundary impact. Seven transboundary natural and economic territories with different consequences of anthropogenic factors have been identified.

Key words: Amur, environmental problems, water quality.

Введение

Река Амур и её бассейн играют большую роль в социально-экономическом развитии дальневосточного региона России, северных провинций Китая и восточной Монголии. Обширная территория, разнообразие и обилие природных ресурсов и благоприятные климатические условия являются хорошим потенциалом для развития этого региона. Однако этот потенциал используется пока еще недостаточно эффективно и с большим ущербом для природной среды вследствие активно развивающейся хозяйственной деятельности, особенно ярко выраженной на территории Китая [1,2].

Решение существующих геоэкологических проблем в амурском бассейне затруднено его разделением между странами, цели развития которых и подходы к вопросам охраны природы различаются. Это переводит проблемы рационального использования природных ресурсов на уровень межгосударственных отношений, в которых позиции России и Китая согласуются частично и пока только в случае крайней необходимости, как это было в 2005 г. во время аварии на химическом комбинате в Цзилине.

Наиболее освоенными и заселенными в российской части амурского бассейна являются территории, расположенные непосредственно в долине Амура и его крупных

притоков. В конце XX - начале XXI в.в., вследствие интенсивной хозяйственной деятельности в его пределах, обострились различные геоэкологические проблемы, существенно влияющие на условия природопользования на приграничных территориях России и Китая. Решение этих проблем является одной из актуальных задач России не только в экологическом, но и в геополитическом и социально-экономическом отношениях.

Основные геоэкологические проблемы бассейна р. Амур

Экологические проблемы региона особенно наглядно проявились в последние десятилетия и определяются, в основном, антропогенными факторами, среди которых: 1) изменение водного режима реки в результате хозяйственной деятельности (строительство ГЭС, переброска стока и другие мероприятия в руслах рек); 2) физическое, химическое и микробиологическое загрязнение вод р.р. Амур, Аргунь, Сунгари, Уссури, оз. Ханка, в том числе в результате трансграничного воздействия на водные объекты; 3) активизация русловых процессов и перераспределение стока воды между рукавами; 4) негативное воздействие выносимых Амуром веществ на экосистемы Японского и Охотского морей; 5) затяжные пыльные бури, перенос токсикантов воздушным путем; 6) обезлесивание в результате значительных лесных пожаров и хищнической вырубке лесов на больших площадях; 7) сокращение площади и снижение биологической продуктивности пойменных водно-болотных угодий, вследствие их сельскохозяйственного освоения, строительства гидротехнических сооружений, зарегулирования стока плотинами, регулярных пожаров и иных факторов; 8) сокращение рыбных запасов в верхнем и среднем течениях Амура, биоразнообразия растительного и животного мира амурской поймы.

Одной из наиболее важных геоэкологических проблем региона является состояние водных объектов. На основе комплексного анализа природных предпосылок и антропогенных факторов, влияющих на современное состояние экосистем, проведено зонирование приграничных территорий бассейна Амура по условиям формирования водных ресурсов и хозяйственных особенностей их использования. Выделено 7 трансграничных природно-хозяйственных территорий с наиболее острыми водохозяйственными проблемами (табл. 1).

Таблица 1 – Основные трансграничные водохозяйственные территории и геоэкологические проблемы в бассейне реки Амур

Трансграничные водохозяйственные территории	Геоэкологические проблемы
1. Река Аргунь	Химическое загрязнение вод в результате трансграничного воздействия на водные объекты, значительное изъятие воды.
2. Верхнее течение р. Амур	Сокращение площади и снижение биологической продуктивности пойменных и водно-болотных угодий.
3. Среднее течение р. Амур	Сокращение площади поймы в результате строительства берегозащитных дамб, изменение водного режима реки и поймы, размыв берегов.
4. Хинганское ущелье	Негативное влияние наводнений, активизация оползней и селевых потоков.
5. Река Амур в пределах Среднеамурской низменности	Химическое и микробиологическое загрязнение вод, высокая интенсивность русловых процессов, размыв берегов, изменение водного режима вследствие строительства крупных ГЭС, снижение общего объема стока воды за счет интенсивного использования вод р. Сунгари, негативное влияние наводнений.
6. Реки Сунгач и Уссури	Высокая интенсивность русловых процессов, размыв берегов, перераспределение стока воды между рукавами, негативное влияние наводнений.
7. Озеро. Ханка	Колебания уровней воды, абразия берегов, затопление и подтопление территории, химическое и микробиологическое загрязнение вод в результате взаимного трансграничного воздействия на водные объекты.

Изменение водного режима

Многолетний режим р. Амур характеризуется чередованием периодов повышенной и пониженной водности. Выделяется несколько этапов высокой водности – начало 1930-х, конец 1950-х, середина 1980-х гг. Последний такой период наступил в 2009 г. и продолжается до настоящего времени. Он характеризуется наиболее амплитудными изменениями максимальных расходов воды. Несмотря на общее нарастание водности в регионе в XX столетии, эта закономерность нарушилась, начиная с 1970-х гг., что объясняется климатическими изменениями, и антропогенным воздействием – строительством крупных ГЭС на притоках Амура – Сунгари, Зее, Бурее, в значительной степени регулирующих сток реки.

Одним из важнейших по степени влияния на р. Амур антропогенным фактором в настоящее время являются водохранилища крупных ГЭС: 3 действующие ГЭС (Зейская, Бурейская, Фынманьская) существенно перераспределили сток Амура в его среднем и нижнем течениях. Общая площадь бассейна, регулируемая ими, не превышает 10%. Однако в результате их влияния в нижнем течении существенно увеличился сток воды зимой (более чем в 2 раза) и уменьшился летом (до 20 %). Их воздействие проявляется в преобразовании водного режима реки, что изменяет водность и высоту стояния уровней воды в реке в различные сезоны года.

В последний период высокой водности резко увеличилась амплитуда колебаний водности Амура в его нижнем течении (рис. 1). Крупнейшие в истории паводки на Амуре, вызвавшие катастрофические наводнения, произошли в последние годы – 2013, 2019 и 2020 гг. Вместе с тем этот же период отмечался наименьший за весь период наблюдений летний уровень воды в Амуре. Вероятной причиной этих явлений может быть влияние изменений климата на фоне усиления антропогенного воздействия на природную среду.

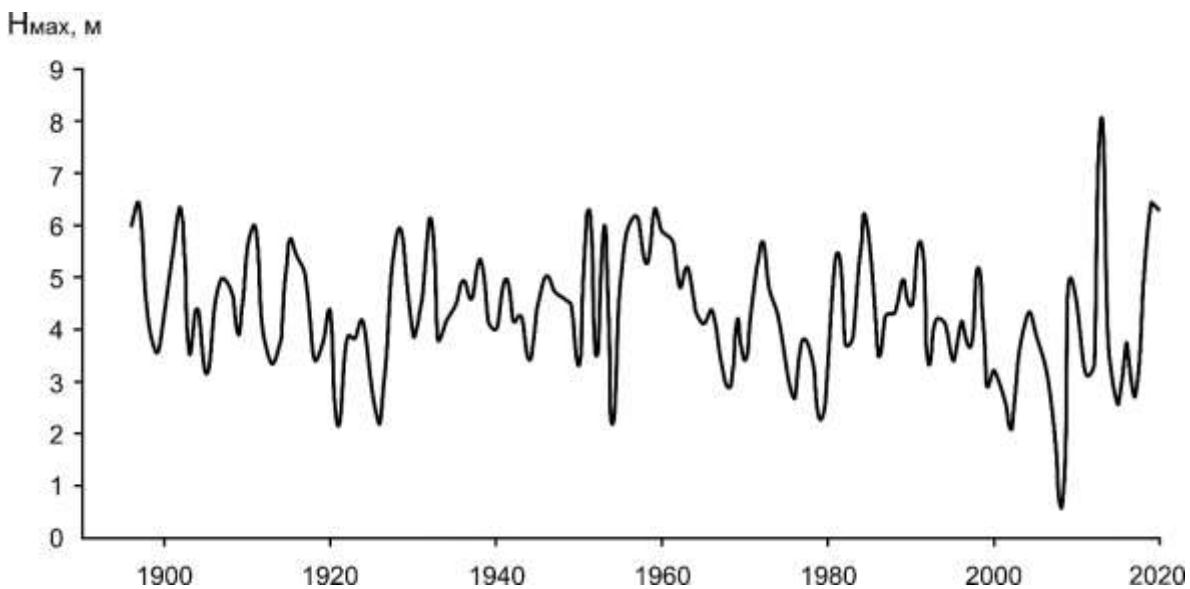


Рисунок 1 – Максимальные уровни воды р. Амур за 1896-2020 гг. у г. Хабаровск

Русловые процессы

Река Амур и его крупные притоки характеризуются высокой динамичностью русловых переформирований, чему способствуют большой сток наносов при слабых уклонах русла и широкое распространение легко размываемых рыхлых отложений. Имеющиеся данные наблюдений, а также сравнения плановых съемок отдельных участков русла Амура за разные годы, свидетельствуют о высокой интенсивности этих процессов. Это проявляется в интенсивном размыве берегов, появлении новых и расширении ранее действовавших рукавов, смещении плесов и перекатов,

возникновении обширных кос и островов [3,4]. Скорость размыва берегов на многих участках составляет 10-20 м/год.

Русла р.р. Амур и Уссури на значительном протяжении формируются в условиях свободного проявления русловых деформаций, образуя сложные пойменно-русловые разветвления с множеством крупных и мелких рукавов. Интенсивные процессы размыва берегов и образование аккумулятивных форм в руслах рек способствуют постоянному активному перераспределению стока воды между рукавами. На некоторых участках рек это развитие приобретает нежелательную направленность, способную с течением времени существенно преобразовать рисунок речного русла.

Экспедиционные исследования, проведенные в ИВЭП ДВО РАН, показали, что в русле р. Амур особенно высокая активность эрозионно-аккумулятивных процессов отмечалась во время крупных наводнений в период 2013-2020 гг. Скорость размыва берегов достигала 20 м в год, обуславливая активное формирование обширных подвижных кос, развитие которых приводило к дальнейшей фуркации рукавов, уменьшению их транспортирующей способности и накоплению в руслах значительного количества наносов [5]. Динамика русловых процессов на этих участках направлена к существенным морфологическим преобразованиям русла, способным привести в будущем к переносу фарватера и постановке вопроса о пересмотре прохождения линии Государственной границы с КНР с отчуждением крупных пойменных островов соседнему государству [6,7]. Общая площадь островов, которые могут отойти Китаю на этом основании, составляет около 150 км² (для сравнения, площадь государства Сингапур - 719,1 км²). Наиболее проблемными являются разветвленные участки Нагибовский, Венцелевский, Сунгарийский и Сахалинский на Амуре, а также Киселёвский и Шереметьевский – на Уссури.

Большую роль в динамике берегов негативной направленности играют вдольбереговые противопаводковые дамбы и берегозащитные сооружения, возведенные на правом китайском берегу Амура и левом берегу Уссури. Их общая протяженность превышает 300 км и строительство новых подобных сооружений продолжается, в том числе в районе переданных Китаю островов у г. Хабаровск. Они обуславливают неустойчивость русла, интенсивные деформации противоположного берега реки, активизацию левобережных рукавов, способствуя уничтожению ценных пойменных земель. Усиливаются процессы дробления русла Амура на рукава и увеличивается скорость размыва берегов.

Качество воды

Среди антропогенных факторов существенное влияние на состояние водных и пойменных экосистем р. Амур оказывают загрязнение вод в результате сброса промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод [8]. Качество воды Амура формируется как на территории Китая, так и на российской части его бассейна. Масштабы загрязнения воды представляют значительную угрозу не только водной экосистеме нижнего течения реки протяженностью около 1300 км, но и обширным акваториям в Амурском лимане и Сахалинском заливе.

Полученные в последние годы в ИВЭП ДВО РАН данные не оставляют сомнений в том, что загрязнение воды р. Амур обусловлено, прежде всего, трансграничным влиянием. Выявлена существенная неоднородность и сложное распределение различных химических ингредиентов в русле Амура, обусловленные влиянием крупных притоков – р.р. Сунгари и Уссури [9] и стоком с урбанизированных территорий [10]. Основным источником поступления в водные экосистемы р. Амур разнообразных, в том числе опасных и токсичных веществ, является р. Сунгари, собирающая воды на обширной территории экономически развитого Северо-Восточного Китая. Она приносит в Амур около 25 % воды и 50-80 % загрязняющих веществ различного состава и происхождения.

Особую опасность представляют техногенные аварии. После взрыва на химическом заводе в г. Цзилинь (КНР) в ноябре 2005 г. в воды р. Сунгари попало более 100 т. бензола и нитробензола, которые быстро распространились вниз по реке. Концентрация нитробензола в низовьях Сунгари в районе г. Тунцзян (последний китайский город перед впадением Сунгари в Амур) достигала 0,2 мг/дм³ [11]. Менее значительные аварии происходили также в 2003 и 2006 гг. Таким образом, нижнее течение реки надежно не защищено от возможного повторения негативных последствий опасных техногенных катастроф.

Заключение

Экологические проблемы особенно остро проявляются и трудно решаются на трансграничных реках, поскольку для их решения необходимы усилия на межгосударственном уровне. Для этого следует учитывать множество факторов, связанных с особенностями национальных подходов к природопользованию, различиями в экономических, социальных и экологических приоритетах разных стран [12].

В последние годы усилились межгосударственные контакты между Россией, Китаем и Монголией, направленные на решение экологических проблем в бассейне Амура. В настоящее время существует российско-китайское соглашение, предусматривающее совместную деятельность по обмену гидрологической информацией, организации комплексного мониторинга окружающей среды, реализации согласованного перечня природоохранных мероприятий, в области природоохранного законодательства, экологического образования и просвещения населения, организации совместных постов гидрохимического мониторинга. Однако, несмотря на прогресс, многие актуальные вопросы пока еще остаются нерешенными или решаются слишком медленно.

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-80022.

Список литературы

1. Бакланов П.Я., Воронов Б.А. Глобальные и региональные риски устойчивого природопользования в бассейне Амура // Изв. РАН. Сер. геогр., 2006, № 3. С. 17-24.
2. Бакланов П.Я., Ганзей С.С. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток: Дальнаука, 2008. 216 с.
3. Махинов, А.Н. Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции. Владивосток: Дальнаука, 2006. 232 с.
4. Лю Шугуан, Махинов А.Н. Русловые процессы на крупных реках Восточной Азии и их негативные последствия (на примере Амура и Янцзы) // Конф. с междунар. участием «Регионы нового освоения: ресурсный потенциал и инновационные пути его использования». Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. С. 53-55.
5. Махинов А.Н., Ким В.И., Аношкин А.В., Лю Шугуан, Махинова А.Ф., Дугаева Я.Ю. Преобразование локальных пойменно-русловых систем рек Амур и Усури как фактор возникновения трансграничных проблем // Региональные проблемы, 2018. Т. 21. № 2. С. 61–68.
6. Завадский А.С. Пограничные проблемы на реках бассейна Амура, обусловленные русловыми процессами, и пути их решения // Водное хозяйство России. 2012. № 3. С. 74-79.
7. Иванов В.В., Завадский А.С. Русловые процессы на пограничном участке р. Амур // Вестник Моск. ун-та. 2012. Сер. 5, геогр. № 3. С. 48-56.
8. Горбатенко Л.В. Геоэкологическая характеристика водопользования в трансграничном бассейне реки Амур: точечное загрязнение и качество вод // Вестник ДВО РАН. 2018. № 2. С. 119-129.

9. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Форина Ю.А., Ри Т.Д. 2007. Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005-2006 гг. // География и природные ресурсы, 2007, № 2. С. 40-44.

10. Махинов А.Н., Лю Шугуан, Махинова А.Ф., Чаомин Даи. Влияние наводнений и урбанизации на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур // Экология и промышленность России, 2020. Т. 24. № 12. С. 32–38.

11. Бердников Н.В., Рапопорт В.Л., Пелых Т.И., Золотухина Г.Ф., Зазулина В.Е., Рыбас О.В. Мониторинг загрязнения экосистемы р. Амур в результате аварии на химическом заводе в г. Цзилинь (КНР): нитробензол // Тихоокеанская геология, 2006, т. 25, № 5, с. 94-103.

12. Ганзей С.С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и северо-востока КНР. Владивосток: Дальнаука. 2004. 229 с.

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕКЕ АМУР И ИХ МИГРАЦИЯ В ПЕРИОД НАВОДНЕНИЙ

Махинова А.Ф.¹, Махинов А.Н.¹, Ким В.И.¹, Liu Shuguang²

¹Институт водных и экологических проблем Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН, Хабаровск

²Университет Тунцзи, Шанхай, КНР

E-mail: mahinova@ivep.as.khb.ru

Аннотация: Дана количественная характеристика содержания тяжелых металлов в р. Амур в период наводнений. Выявлено влияние трансграничного переноса и урбанизированных территорий на загрязнение р. Амур. Описаны геохимические преобразования и условия накопления тяжелых металлов в пойменных почвах, определены уровни их концентраций. Показана роль гумусовых веществ в миграционной активности элементов.

Ключевые слова: наводнение, тяжелые металлы, урбанизация, массоперенос.

THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE AMUR RIVER AND THEIR MIGRATION DURING FLOODS

Makhinova A.F.¹, Makhinov A.N.¹, Kim V.I.¹, Liu Shuguang²

¹Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS, 680000 Khabarovsk, Russia,

²Tongji University, Department of Hydraulic Engineering, Shanghai, China

E-mail: mahinova@ivep.as.khb.ru

Abstract: A quantitative characterization of the heavy metals content in the Amur River during floods is given. The influence of transboundary transport and urbanized areas on the pollution of the Amur River is revealed. The geochemical transformations and conditions for the accumulation of heavy metals in floodplain soils are described, the levels of their concentrations are determined. The role of humic substances in the migration activity of elements is shown.

Key words: flood, heavy metals, urbanization, mass transfer.

Введение

Катастрофические наводнения на Амуре относятся к числу стратегических рисков России и Китая. Река Амур обладает неустойчивым водным режимом, а частые наводнения способствуют трансграничному переносу терригенного материала и различных химических веществ в больших объемах. В настоящее время Амур находится в фазе высокой водности, что обеспечивает регулярность высоких паводков

на реке, во время которых скорость течения воды возрастает в 2,5—3,0 раза [1, 2]. Высокий подъем воды обуславливает затопление обширной территории в бассейне Амура, что создает условия для поступления в реки загрязнений из разных источников (рис. 1).



Рисунок 1 – Начало паводка 2019 г. (Фото А.Н. Махинова)

Поверхностный смыв с урбанизированных территорий – одна из важнейших составляющих промышленного загрязнения воды р. Амур и его наиболее крупных притоков [3]. В эти периоды терригенный и химический сток и возрастают в 2 - 4 раза, что приводит к загрязнению воды, донных и пойменных отложений. Наибольшие концентрации загрязнителей отмечаются в окрестностях крупных городов. Однако влияние урбанизации на гидрохимический сток Амура остается все еще слабо изученным.

Активность русловых процессов во время крупных наводнений оказывает большое влияние на миграцию химических компонентов в водном потоке, при перемещении донных отложений в русле и в почвенном пространстве на пойме. Перераспределение элементов и их концентрирование контролируются процессами растворения микроэлементов в почвах и особенностями их миграции. Пойменные наилки активизируют процессы сорбции, поскольку представляют собой высокодисперсные полукolloидные системы, насыщенные катионами.

Большое влияние на геохимические потоки оказывают заболоченные территории, широко распространенные в бассейне Амура. Подтопление болот паводковой волной способствует выносу большого количества органических веществ в водотоки и на затопляемые территории. Болотные воды, обогащенные фульвокислотами, способствуют процессам растворения и миграции элементов в почвах. Выявление механизмов перераспределения концентраций элементов в почвенном пространстве при наводнениях позволит оценить условия их миграционной активности и концентрирования, а также определить зоны миграции загрязняющих веществ в долинах рек.

Цель работы – оценить влияние урбанизации трансграничного переноса на загрязнение воды и донных отложений р. Амур тяжелыми металлами в период наводнений.

Результаты исследований

Содержание и распределение тяжелых металлов в поперечном сечении р. Амур в районе г. Хабаровск неоднородно, что связано с условиями растворения и перемешивания водных масс в условиях значительной ширины потока при относительно небольшой глубине, соотношение между которыми составляет 250-300. Анализ концентраций тяжелых металлов по ширине русла свидетельствует, что их показатели между максимальными и минимальными значениями как в растворенной, так и во взвешенной формах в поперечном сечении русла изменяются существенно [4].

В период наводнений самые высокие концентрации растворенных Fe_p и Mn_p отмечаются в створе русла выше г. Хабаровск (702,21; 511,48 и 489,48 мкг/дм³) вдоль его правого берега. Отмечаются также повышенные концентрации растворенных форм ряда других элементов (Zn в 3,2; Cu в 2,6; Ni в 2,1 раза), что связано с трансграничным влиянием за счет их поступления из р. Сунгари (табл. 1).

Таблица 1 - Содержание элементов в р. Амур в районе Хабаровска в период наводнения

Место отбора проб	мкг/дм ³								
	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Выше г. Хабаровск:	Растворенная форма, 2020 г.								
Левый берег 400 м	489,48	8,45	0,68	0,09	1,78	2,20	13,48	0,01	0,20
Середина реки	511,48	9,66	0,70	0,10	1,19	5,19	21,55	0,01	0,20
Правый берег 400 м	702,21	14,86	1,02	0,21	1,97	4,72	14,03	0,01	0,60
Выше г. Хабаровск:	Взвешенная форма*, 2013 г.								
Левый берег 400 м	906,09	12,05	–	–	55,2	2,9	–	40,3	10,3
Правый берег 400 м	1105,09	8,35	–	–	3,2	65,4	–	6,2	4,0
*Средние значения									

Известно, что высокие концентрации загрязняющих веществ, поступающих в р. Амур из больших притоков, прослеживаются на расстоянии нескольких сотен км. Так, полное растворение в р. Амур нитробензола, поступившего из р. Сунгари после аварии на химическом заводе в г. Цзилинь (Китай, 2005 г.), произошло лишь через 550 км [3].

Причиной высоких концентраций металлов в воде являются органоминеральные комплексы, образующиеся на заболоченных территориях и характеризующиеся аномально высокой подвижностью. Подтопление болотных вод, содержащих взвеси и органические коллоиды, способствует осаждению фоновообразующих элементов Fe-Mn с образованием органоминеральных соединений [5]. В паводковых водах, обогащенных кислородом, гуминовые кислоты быстро окисляются, что является причиной их деполимеризации с образованием фульвокислот. Увеличение фульвокислот в паводковых водах способствует растворению химических соединений, их аномально высокой подвижности в составе органоминеральных соединений [8]. Длительность наводнений (более 10 дней) снижает прочность органоминеральных соединений и приводит к образованию комплексных катионов $[FeHSO_4]^+$, $[FeHSO_4]^{2+}$, $[CuHSO_4]^+$, а также к процессам ионного обмена многих элементов и их концентрированию на органических коллоидах, способствуя миграции тяжелых металлов в взвешенной форме.

Высокая мутность реки в паводки обусловлена значительной активностью русловых процессов [6, 7]. Интенсивный размыв берегов приурочен к многорукавным участкам реки, а также к местам возведения берегозащитных и противопаводковых дамб. В результате в водный поток поступает и переносится водой большое количество тонкодисперсного материала. На качество воды оказывают влияние не только размыв берегов, но и сток с урбанизированных территорий, сельскохозяйственных земель и промышленных объектов, расположенных в бассейне Амура [9].

Высокие концентрации органоминеральных соединений железа поддерживают буферность раствора, что способствует интенсификации процессов растворения соединений, содержащих медь, цинк, свинец, с образованием катионов Cu^{+2} , Zn^{+2} , Pb^{+2} . Доля взвешенных форм железа преобладает над растворенными почти в 1,5-2 раза. С небольшой вариабельностью их концентрации сохраняются и ниже по течению от Хабаровска до Комсомольска-на-Амуре. Высокое содержание Zn и Ni во взвешенной форме обусловлено мутностью воды и коррелирует с их растворимостью. Концентрация свинца во взвешенной форме составляет 10,3-4,0 мкг/дм³, что значительно превосходит их растворенные концентрации - 0,20-0,6 мкг/дм³.

Большой вклад в загрязнение р. Амур и его донных отложений вносят малые водотоки, дренирующие городскую территорию г. Хабаровск. Для них характерно высокое содержание тяжелых металлов. В паводки важную роль в загрязнении р. Амур играет также ливневой сток с городских территорий. По сравнению с малыми городскими водотоками, он превышает их показатели по содержанию цинка в 2,5 раза, меди – в 3,6 раза, свинца – в 1,7 раза, никеля – в 2,7 раза.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить содержание, закономерности распределения и формы миграции тяжелых металлов в воде р. Амур в период высоких наводнений. Неоднородность их распределения по ширине потока проявляется на участках выше урбанизированных территорий, что обусловлено трансграничным влиянием.

Показано, что промышленность и городские водотоки, особенно ливневые сточные воды, оказывают большое влияние на поступление тяжелых металлов в русло р. Амур и влияет на качество воды, в основном, вблизи городов. Наводнения способствуют переносу загрязняющих веществ на значительное расстояние, выравниванию их концентраций по ширине русла и сорбции тяжелых металлов на принесенное органическое вещество пойменных наилоков.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-55-80022.

Список литературы

1. Махинов А.Н., Liu Shuguan. Катастрофические наводнения на крупных реках Восточной Азии и их влияние на русловые процессы // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность. Севастополь, СевГУ, 2017. С. 868-871.
2. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н. Экстраординарное наводнение в бассейне реки Амур // Вестник РАН. 2014. Т. 84. № 9. С. 817-825.
3. Левшина С.И. Растворенное и взвешенное вещество вод Амура и Сунгари // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 6. С.745-753.
4. Махинов А.Н., Лю Шугуан, Махинова А.Ф., Чаомин Даи. Влияние наводнений и урбанизации на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур // Экология и промышленность России, 2020. Т. 24. № 12. С. 32–38.
5. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток, Дальнаука, 2002. 392 с.

6. Pokrovsky O.S., Shott J. Iron colloids/organic matter associated transport of major and trace elements in small boreal rivers and their estuaries (NW Russia) // Chem. Geol. 2002. V. 190. № 1-4. P. 141-179.

7. Senesi N., Loffredo E. Metal Iron Complexation by Soil Humic Substance. Chemical Processes in Soils. Madison, Soil Science Society of America, 2005. P. 563-617.

8. Makhinova A.F., Makhinov A.N., Kuptsova V.A., Ermoshin V.V. Geochemical Differentiation of Soils in the Amur Basin (Russian Part) // Journal of Geochemical Exploration. 2013. Vol. 132. P. 140-148.

9. Махинов А.Н., Лю Шугуан. Формирование рельефа русел и берегов рек. Хабаровск, ДВО РАН, 2013. 174 с.

ОСОБЕННОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫМИ РЕКАМИ В КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Митина Н.Н.^{1,2}, Дроздова Е.А.¹, Чаоин Чжюу¹, Се Цэнь¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

²Институт водных проблем Российской академии наук, Москва

E-mail: natalia.mitina@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлен анализ подходов правительства Китайской Народной Республики в использовании ресурсов трансграничных водных объектов на примере рек Амур и Меконг. Обозначены позитивные тенденции совместного российско-китайского использования водной артерии р. Амур. Обоснована отрицательная позиция Российской Федерации в части основных механизмов использования водных ресурсов трансграничных рек китайской стороной. Даны рекомендации по сбережению внутренних водных ресурсов Китая. Охарактеризованы меры, предпринимаемые китайской стороной по рациональному использованию и восстановлению национальных деградированных водных ресурсов.

Ключевые слова: водные ресурсы, трансграничные водные объекты, стратегия водопользования, международное сотрудничество, Китайская Народная Республика.

FEATURES OF STATE MANAGEMENT OF TRANSBOUNDARY RIVERS IN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

Mitina N.N.^{1,2}, Drozdova E.A.¹, Chaoying Zhou¹, Xie Tsen¹

¹. Lomonosov Moscow State University, Moscow

²Institute of Water Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. This article presents an analysis of the approaches of the China People's Republic Government in the use of resources of cross-border input facilities on the example of the Amur and Mekong Rivers. Positive trends in the joint Russian-Chinese use of the Amur River waterway are outlined. The negative position of the Russian Federation in terms of the main mechanisms for the water resources use of transboundary rivers by the Chinese side is justified. Recommendations for the conservation of China's inland water resources are given. The measures taken by the Chinese side for the rational use and restoration of the national degraded water resources are described.

Keywords: water resources, transboundary water bodies, water use strategy, international cooperation, People's Republic of China.

На данный момент одной из основных проблем Китайской Народной Республики является проблема пересмотра стратегии водопользования в сторону экономного расходования национальных внутренних вод и повышения качества сбрасываемых в водоемы коммунально-бытовых и промышленных стоков. Решение данной проблемы и, в том числе, проблемы нехватки земельных ресурсов – не только

залог успешного и стабильного развития Китая в будущем, но и гарантия поддержания продовольственной безопасности его многомиллиардного населения. Кроме того, от того, насколько Китай будет способен эффективно использовать имеющиеся водные ресурсы зависит достижение основных стратегических целей середины XXI века, а именно, построение общества сяокан или среднезажиточного общества, а также реализация социалистической модернизации. В то же время повышенная загрязненность внутренних вод, неравномерность их распределения и острый дефицит вынуждают Китай ориентироваться на внешние водные ресурсы соседних стран, что вызывает неоднозначную реакцию граничащих с Китаем государств, имеющих с ним трансграничные водные объекты, тем самым определяя актуальность темы исследования.

Цель работы – анализ методов и подходов китайской стороны в использовании ресурсов трансграничных рек. Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- дать характеристику количества и качества национальных водных ресурсов и проблем их использования в КНР;
- провести анализ геополитических взглядов КНР на освоение крупнейших трансграничных рек;
- провести анализ стратегии КНР, направленной на водопользование трансграничными реками (Меконгом и Амуром);
- разработать рекомендации по рациональному водопользованию в КНР.

Китай – одна из богатейших стран по уровню обеспеченности водными ресурсами, однако расход данных ресурсов среди китайского населения очень велик. Кроме того, стране регулярно приходится сталкиваться с различными стихийными бедствиями: наводнениями, засухами, страдают и многие водотоки, для стока которых характерна ярко выраженная сезонность. Потребление внутренних вод КНР на хозяйственные нужды к 2016 г. достигло 604 млрд. м³/год, то есть около 80% от экологически доступного объема изымаемых ресурсов. К началу XXI в. большинство водных бассейнов северной части Китая было освоено больше чем на 50%, а некоторые из них почти на 90%, несмотря на общепринятый в международном сообществе уровень – не более 40%. Экстенсивный подход к использованию внутренних водных ресурсов был, в первую очередь, обусловлен требованиями стремительного экономического развития Китая, что на сегодняшний день привело к повышенному уровню загрязнённости рек и озер, чрезмерному водозабору, изменению гидрологического режима рек как результат строительства ГЭС, водохранилищ и каналов, переброске стоков рек с юга на север. При этом активная хозяйственная деятельность в отношении водных ресурсов, расположенных на территории КНР, вызывает серьезную обеспокоенность не только за судьбу водных экосистем Китая, но и государств-соседей, в том числе Российской Федерации. Среди территорий, которые привлекают КНР как источники значительных запасов водных ресурсов, значится Российский Дальний Восток.

Общая гидрологическая характеристика р. Амур. «Общая площадь водосбора р. Амур составляет 1855 тыс. км² (десятый по размеру речной бассейн в мире), в том числе в пределах РФ – 1003 тыс. км² (54%), КНР – 820 тыс. км² (44%) и Монголии – 32 тыс. км² (2%)» [1] (рис. 1), при этом 90% населения водосбора сосредоточено на территории Китая.

Амур – многоводная река: среднегодовой расход воды в устьевой зоне реки составляет около 12800 м³/с, а среднемноголетний объем стока – более 400 км². 65% стока р. Амур формируют впадающие в него крупнейшие притоки – р.р. Зея, Буряя, Сунгари и Уссури. В то же время, в зависимости от сезона, данный показатель может серьезно меняться. Так, зимой около 90% стока р. Амур формируется тремя зарегулированными р.р. Сунгари, Зея и Буряя. Сток Амура на 10% зарегулирован 3

мощными гидроэлектростанциями – Бурейской ГЭС, Зейской ГЭС и Фэнмань на Сунгари. Общая площадь водосбора, регулируемая ими, составляет около 10%.

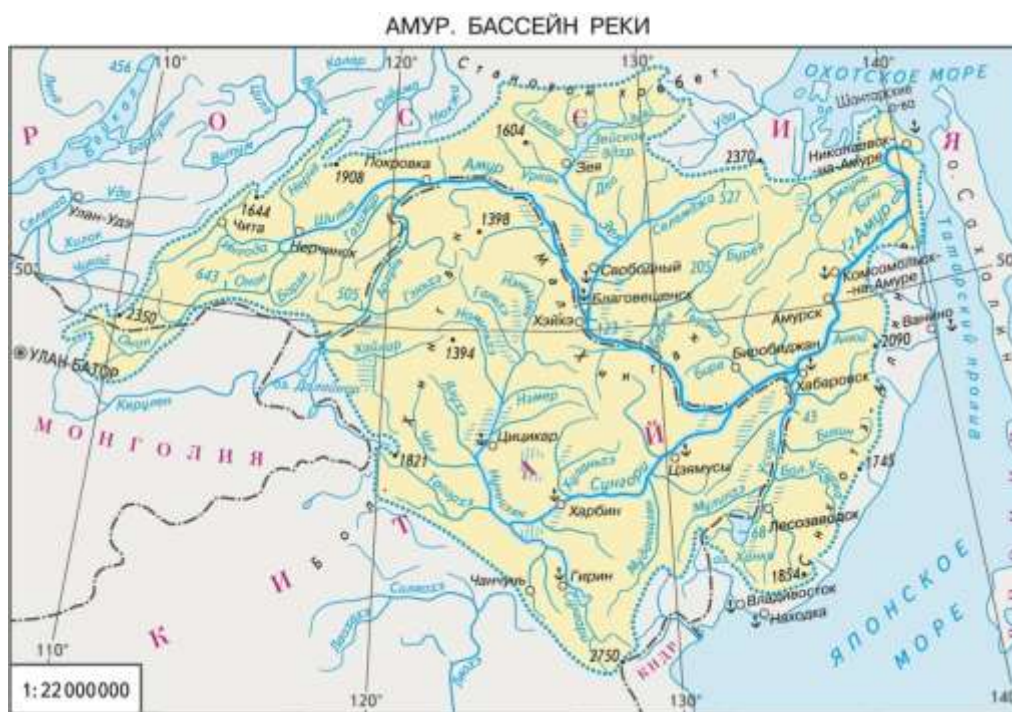


Рисунок 1 - Бассейн р. Амур

Совместные российско-китайские проекты по использованию р. Амур. Энергетический потенциал р. Амур огромен и до сих пор не использован в полной мере, хотя строительство планируемого каскада на притоках реки сослужит двойную службу: необходимых в современных условиях противопаводочных мер и получения дополнительной экологически чистой электроэнергии. Несмотря на то, что российские регионы Приамурья в настоящее время являются энергоизбыточными, есть вероятность продажи энергии в Китай, Монголию и Северную Корею. В связи с этим, интерес китайской стороны в импорте электроэнергии с российских ГЭС весьма значителен, вплоть до строительства ими дополнительных линий электропередач. Вопрос стоит о согласовании закупочных цен и проблемы потерь электроэнергии при транспортировке в сетях, хотя, согласно последним данным, РусГидро и китайская компания «Три ущелья» близки к договоренности.

Помимо заинтересованности Китая в энергетическом сотрудничестве с Россией, в настоящее время активно растет взаимодействие в сфере речного транспорта, в том числе реализация совместных инвестиционных проектов, что в последние годы привело к значительному росту грузоперевозок по р. Амур. Основу российского экспорта в Китай составляет продукция топливно-энергетического комплекса, лесной отрасли и продукты сельского хозяйства. В структуре экспорта КНР в Россию входят такие группы товаров как текстиль, обувь, машины и оборудование.

Одной из задач в рамках внешнеэкономической стратегии Китая, учитывая замедляющиеся темпы экономического развития, является задача обеспечения энергетической безопасности как основы стратегической безопасности страны. В последнее время поставки сырья на территорию КНР осуществляются из все большего числа стран, что, по мнению экспертов, значительно снижает зависимость Китая от российских топливно-энергетических ресурсов в будущем, однако несырьевая неэнергетическая корзина экспорта России в Китай из года в год неуклонно увеличивается.

Программа комплексных исследований предполагает осуществление экспедиционных работ научными подразделениями ДВО РАН с возможным привлечением к участию в них отраслевых НИИ и ВУЗов. Их целью является комплексное изучение наиболее динамичных составляющих природных ландшафтов бассейна р. Амур. ЮНЕП, совместно с Тихоокеанским институтом географии ДВО РАН и Дальневосточным отделением Всемирного фонда дикой природы, разработали международный проект «Комплексное управление бассейном Амура», который рассматривается Министерством природных ресурсов Российской Федерации и Глобальным экологическим фондом (GEF).

Основные механизмы использования водных ресурсов трансграничных рек китайской стороной. Китайский народ уделяет особое внимание ранее существовавшим догосударственным формам территориальной собственности и владения природными объектами. В то же время Китай активно разрабатывает собственные методы достижения открытости мира и отсутствия государственных границ, развивая концепцию «общего занимаемого пространства. Китай пытается усилить свое региональное влияние на соседних территориях в рамках освоения природных, в том числе и водных ресурсов, тем самым стимулируя формирование общего пространства хозяйствования. В данной области политика КНР сходна с древней концепцией Мира всеобщего единения (Датун шицзе, IV-I вв. до н.э.)» [2]. Тут важно отметить, что данная концепция не является допустимой для Российской Федерации. Китай всячески поддерживает взгляды наших западных партнеров на водные ресурсы оз. Байкал как общечеловеческое достояние. Российская сторона придерживается другой позиции: воды оз. Байкал являются суверенным достоянием народа РФ. Всемирный фонд дикой природы не рекомендует строительство ГЭС на главных водотоках крупных реках, что не препятствует планам КНР в деле данного строительства. При осуществлении таких планов на крупных притоках р. Амур китайской стороной водный режим реки в среднем и нижнем течении может претерпеть заметные негативные изменения.

Строительство Китаем гидроэнергетических объектов уже оказало сильное влияние на состояние водного режима другой трансграничной реки – р. Меконг, которая протекает по территории шести государств и берет свое начало в Китае.

Река Меконг является самой большой на полуострове Индокитай, площадь ее бассейна составляет 810 000 км [3]. Река является не только источником жизни для жителей, прилегающих районов, но и обладает огромным гидроэнергетическим потенциалом - более 60 000 МВт, половина из которого приходится на Китай, активно его использующего.

Первую плотину в верховьях р. Меконг Китай построил в 1990-х гг. Сегодня на реке в общей сложности возведены 11 китайских мегаплотин, что периодически приводит к катастрофическому падению уровня реки. Помимо этого, Китай активно предлагает помощь в строительстве ГЭС странам нижнего течения р. Меконг [4]. В 2019 году, в том числе и из-за гидроэнергетических сооружений КНР, крупнейшая река Юго-Восточной Азии обмелела до рекордных значений за более чем 100 лет наблюдений, что поставило под угрозу жизни более чем 60 млн. чел., проживающих в государствах нижнего Меконга и обеспечивающих себя за счет рыболовства и заливного рисоводства.

Таким образом, оценивая стратегию трансграничного взаимодействия Китая со странами бассейна р. Меконг можно отметить, что китайские власти рассматривают водные ресурсы р. Меконг скорее как суверенные, нежели чем общедоступные. Такое отношение отражено и в факте того, что Китай никогда не присоединялся к конвенциям, которые ставили бы под угрозу его право поддерживать абсолютный контроль над Меконгом на его территории.

В то же время, на данный момент происходит трансформация традиционных взглядов китайцев по направлению к объединению водных объектов различных водосборов, в том числе российских и китайских, что отличается от принятого международного принципа бассейнового управления. Кроме того, отдельные аспекты китайской политики в отношении водных ресурсов вызывают озабоченность российской стороны, например, желания КНР осуществлять проекты переброски воды в Китай из некоторых водных объектов РФ или объединения их с гидрографической сетью КНР. Перехват существенных объемов водных ресурсов в таежной зоне среднего и нижнего течений р. Амур может спровоцировать понижение уровня грунтовых вод, что увеличит пожароопасность в регионе и приведет к истощению и общей деградации природы юга Дальнего Востока РФ.

Кроме того, торговлю водой нельзя, например, сравнить с торговлей нефтью. Водные рынки всегда будут являться только региональными рынками, поэтому дефицит воды в странах, в которых он уже существует и усиливается, как в Китае, может быть уменьшен либо за счет водосберегающих технологий, либо за счет сокращения производства водоемких продуктов и замены их импортом. По мнению В.И. Данилова-Данильяна [5], «под давлением угрозы глобального водного кризиса перестройка мировой экономики создала чрезвычайно благоприятные условия для водообеспечения таких стран, как Россия, поскольку рост цен и объема спроса на водоемкие продукты неизбежны. Экспортеры водоемкой продукции окажутся в таком же положении, как и сегодняшние экспортеры углеводородов. Воспользоваться этим шансом можно будет только при условии серьезной подготовки к развитию экспортных водоемких производств. Таким образом, одной из стратегических задач управления экономическим развитием России является выявление:

- 1) наиболее перспективных в этом отношении отраслей промышленности;
- 2) создание благоприятных условий для их развития с параллельной синхронизацией с неизбежными изменениями, ожидаемыми на мировом рынке.

Экономический рост России необходимо обеспечить, ориентируясь на объективные преимущества России как великой водной державы перед другими странами. В «постнефтяной» период «производство водоемкой продукции может стать доминирующим направлением российской экономики. Эти отрасли и должны стать «заказчиками» на высокие технологии, специалистов, инфраструктуру и пр.» [5]

Всячески пытаюсь удовлетворить свои водные проблемы за счет природных ресурсов сопредельных государств, в последние годы Китай активно занимается внедрением политики строгой экономии собственных водных ресурсов и восстановлением деградированных водных объектов. В агропромышленных предприятиях внедряется система капельного орошения. Правительство КНР увеличивает инвестиции на создание опреснительных установок, сбережение водопотребления в городах, внедряя разработанный китайскими учеными оригинальный проект «город-губка», одновременно проводя политику урбанизации страны и прослеживая увеличение водопотребления на нужды экологии. Остается надеяться, что потраченные усилия затормозят процесс истощения водных ресурсов КНР, усиливающийся за счет изменений климата.

Список литературы

1. Калугин А.С., Мотовилов Ю. Г. Модель формирования стока для бассейна реки Амур // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 2. С. 121–132.
2. Прохорова, Н.В. Основные тенденции развития водохозяйственного комплекса КНР: 1949-2016 гг. Диссертация ... канд. экон. наук: 08.00.14. М., 2019.
3. Борисова Е.А. Трансграничные реки в политике Китая / Е. А. Борисова // Восток. Афро-Азиатские общества: история и современность. 2015. № 2. С. 121-131.

4. How China Turned Off the Tap on the Mekong River // <https://www.stimson.org/>
URL: <https://www.stimson.org/2020/new-evidence-how-china-turned-off-the-mekong-tap/>
(дата обращения: 02.04.2020).

5. Данилов-Данильян В.И. Глобальный дефицит пресной воды и пути его преодоления. В сб.: Общество, экономика, природа: актуальные проблемы развития России. Под ред. К.В. Папенова, С.В. Соловьева, С.М. Никанорова. М.: Экон. фак. МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. С 117-139.

ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА ВОДОСБОРЕ И ПОГРАНИЧНЫЙ ТРАНЗИТ СТОКА РЕКИ УРАЛ

Нестеренко Ю.М., Соломатин Н.В., Халин А.В.

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, отдел геоэкологии,
г. Оренбург
e-mail: geoecol-onc@mail.ru

Аннотация: Рассмотрено формирование водного стока на угодьях водосбора пограничной р. Урал. Определены фильтрационные свойства мерзлых и талых почв под различными сельскохозяйственными угодьями и их влияние на формирование водного стока реки. Установлены зависимости поверхностного стока и инфильтрации талых вод от влажности и температуры почвы на пахотных землях, целине и под лесной полосой. Наибольшие изменения в формировании водного стока происходят в степной части водосбора р. Урал при смене соотношения на нем сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: степная зона, антропогенные изменения на водосборе, поверхностный водный сток, инфильтрация в почву, Южный Урал.

ECONOMIC ACTIVITIES AT THE CATCHMENT AND TRANS BOUNDARY TRANSIT OF THE URAL RIVER

Nesterenko Yu.M.¹, Solomatin N.V.¹, Khalin A.V.¹

¹Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Department of Geoecology, Orenburg
e-mail: geoecol-onc@mail.ru

Abstract: The article considers the formation of water flow in the catchment areas of the transboundary Ural River. The filtration properties of frozen and thawed soils under various agricultural lands and their influence on the formation of the river water flow have been determined. Dependences of surface runoff and melt water infiltration on moisture and soil temperature on arable lands, virgin lands and under the forest belt have been established. The greatest changes in the formation of water flow occur in the steppe part of the catchment area of the Ural River when the ratio of agricultural land on it changes.

Key words: steppe zone, anthropogenic changes in the catchment area, surface water runoff, soil infiltration, South Urals.

Антропогенное воздействие на водосборы рек увеличивается, изменяются водно-физические свойства земной поверхности, ее фильтрационные показатели. В соответствии с интенсивностью воздействия изменяется соотношение между составляющими водного баланса территории, величина и режим поверхностного и подземного водного стоков и, как его результирующий – речной сток. Водосбор пограничной р. Урал и режим его стока интенсивно антропогенно изменяются, что часто приводит к напряжениям во взаимоотношениях между регионами и странами. На водосбор р. Урал воздействует комплекс промышленного, селитебного и сельскохозяйственного его использования. Сельскохозяйственные агрономические мероприятия по выращиванию продукции растениеводства сохраняют почвенный слой, менее интенсивно воздействуют на земную поверхность, чем промышленные объекты

и поселения, но изменяя ее фильтрационные свойства на больших площадях водосбора, существенно влияют на формирование водного стока.

Верховья водосбора р. Урал в Башкортостане и Челябинской области, в которых располагается 15% водосбора его российской части с лесистостью около 40%, имеют относительно стабильные в многолетии условия формирования естественного водного стока с меньшими антропогенными изменениями, в сравнении с южнее расположенными 80% его водосбора в степях Оренбургской области, на 90% занятого сельскохозяйственными угодьями. В результате распашки более 50% степной части водосбора и разрушения водопоглощающей дернины степных биоценозов интенсивной пастьбой скота и сенокосением на остальной его части значительно изменились формирующие сток факторы с соответствующим изменениями в речном стоке. На рис. 1 показана динамика интенсивности впитывания воды в почву сельскохозяйственных угодий и их коэффициенты фильтрации.

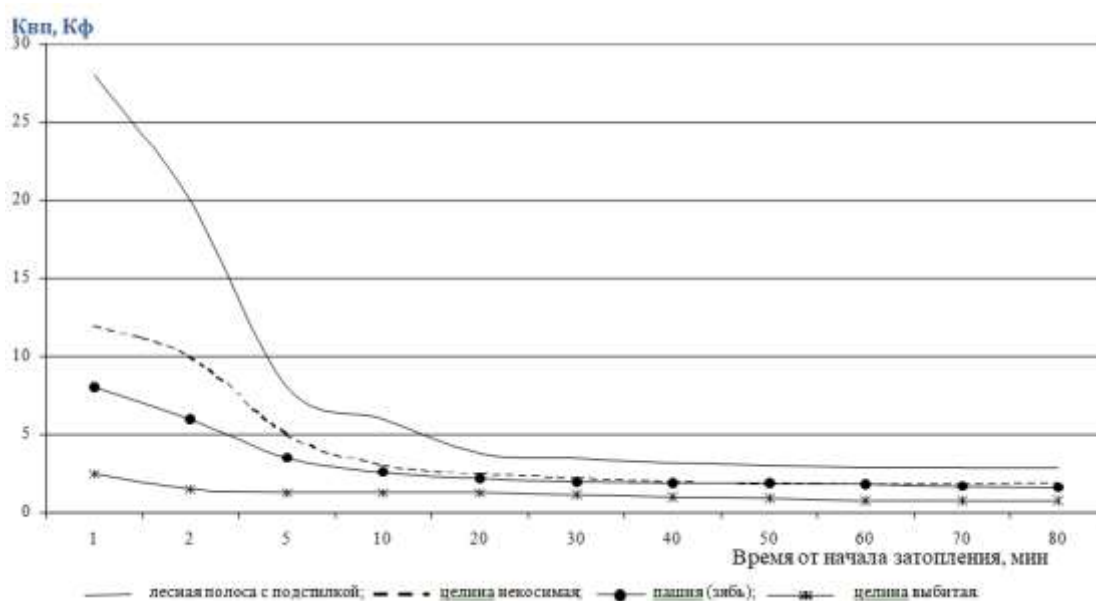


Рисунок 1 - Динамика впитывания воды в почву и коэффициент фильтрации тяжелосуглинистых южных черноземов Предуралья в зависимости от угодья

Наибольшая начальная скорость впитывания в лесной полосе в 2 раза меньше в некосимой целине, в 3 раза меньше на пашне и в 10 раз меньше на выбитой целине с уничтоженной дерниной интенсивной пастьбой скота. Аналогичное соотношение установившейся скорости впитывания на них – коэффициента фильтрации.

В условиях континентального климата Южного Урала, характеризуемого засушливым летним периодом со значительным превышением испаряемости над количеством атмосферных осадков, 90–98 % водного стока формируется весной талыми водами снега, накапливаемого на водосборах в холодный зимний период. На их инфильтрацию в землю большое влияние оказывают температура и льдистость почвы. Исследования В.Д. Комарова [1, 2], И.Л. Калюжного, К.И. Павловой [3], Ю.Б. Виноградова [4], А.М. Глобуса [5], а также наши опыты [6, 7] показывают, что тепловые свойства почв, талой и замерзшей в ней воды в ходе инфильтрационного процесса изменяются, уменьшая или увеличивая живое сечение потока при соответствующем увеличении или уменьшении льдистости.

Уменьшение льдистости суглинистых почв Южного Урала при инфильтрации талых вод, имеющих близкую к нулю температуру, происходит при малых отрицательных температурах и малой влажности почв, а её увеличение – при превышении суммарной хладоемкости мерзлых почв и льда в них над выделением

тепловой энергии при замораживании инфильтрующейся воды. Количество выделяемой тепловой энергии определяется произведением объема инфильтрующейся талой воды на скрытую теплоту ее плавления (79,4 кал/г). Суммарная хладоемкость мерзлых почв зависит от удельной теплоемкости почв (0,2 кал/г. град.) и величины их отрицательных температур.

Наши исследования [6, 7], исследования И.А. Кузника [8], Н.А. Мосиенко [9] выявили существенные различия в скорости впитывания талых вод в мерзлую почву под различными угодьями. Но экспериментальных определений этой величины пока мало, что объясняется сложностью проведения соответствующих полевых опытов в условиях непостоянства состояния почвы, ее температуры, влажности в весенний период. Для уменьшения зависимости результатов исследований от погодных условий нами разработан лабораторный метод определения скорости впитывания талых вод в мерзлую почву ($K_{вп}$) [6] на основе широко применяющегося в полевых условиях метода Нестерова. В табл. 1 и графически на рис. 2 представлены результаты определения скорости впитывания талых вод на различных угодьях водосбора р. Урал.

Таблица 1 - Скорость впитывания талых вод в мерзлые суглинистые южные черноземы Южного Предуралья на различных угодьях в зависимости от влажности и температуры, мм/мин

Угодье	Температура почвы °С			Коэффициент фильтрации**
	0 *	-5	-10	
Естественная влажность (15-16%)				
Зябрь	1,2	0,4	0,06	1,7
Лесная полоса	1,0	0,2	0,1	2,8
Целина не выбитая	0,9	0,1	0,03	1,8
Целина выбитая	0,5	0,5	0,01	0,8
Стерня яровой пшеницы	0,7	0,1	0,04	1,2
Плужная подошва	0,2	0,05	0,004	0,3
Наименьшая влагоемкость (27-28%)				
Зябрь	1,2	0,02	0,004	1,7
Лесная полоса	1,0	0,05	0,04	2,8
Целина не выбитая	0,9	0,03	0,01	1,8
Целина выбитая	0,5	0,01	0,005	0,8
Стерня яровой пшеницы	0,7	0,01	0,005	1,2
Плужная подошва	0,2	0,01	0,002	0,3

* Установившаяся скорость после оттаивания монолита;

** Коэффициент фильтрации определен в поле прибором Нестерова при температуре 20 °С.

Анализ табл. 1 и рис. 2 показывает, что в степной зоне на зяби при сухой почве и температуре не ниже -5 °С весной возможная скорость впитывания не меньше максимально возможной скорости водоотдачи снега, равной 0,14 мм/мин. По данным Гидрометслужбы, на Южном Урале температуры поверхности почвы и на глубине до 20 см не опускается ниже -7 °С. Следовательно, в этих условиях с сухой зяби сток талых вод отсутствует. С увеличением влажности почвы скорость впитывания в мерзлую почву быстро уменьшается. При средней температуре -3 °С в пахотном слое перед таянием снега, согласно рис. 2, скорость впитывания при НВ составляет 0,15 мм/мин, а при температуре -5 °С – только 0,009 мм/мин. Поэтому с влажной зяби сток талых вод может быть при часто наблюдаемой температуре почв ниже -3 °С.

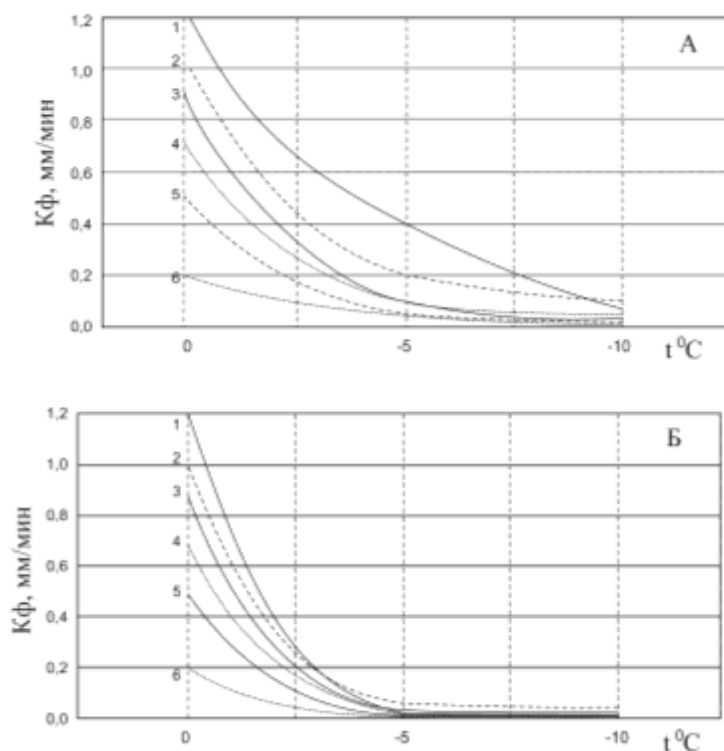


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента фильтрации (K_f) от температуры (t) мерзлых суглинистых почв на различных угодьях с исходной влажностью 15-16 % (А) и 27-28 % (Б): 1 – зябь; 2 – лесная полоса; 3 – целина мало выбитая; 4 – стерня; 5 – целина выбитая (дернина на поверхности почвы отсутствует); 6 - плужная подошва ($r = 0,87$)

При дальнейшем понижении температуры почвы вероятность стока быстро увеличивается, и уменьшается доля инфильтрации. Под пахотным горизонтом часто имеется плужная подошва. После насыщения водой пахотного горизонта, в связи с малой скоростью впитывания в плужную подошву, возможно увеличение стока талых вод. При $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость впитывания в плужную подошву в 8 раз меньше, чем в пашню и в 2 раза меньше, чем в стерню зерновых культур. На увлажненной до НВ некосимой и невыбитой целине скорость инфильтрации уменьшается в 3 раза, но остается в 2-3 раза больше, чем с выбитой целины и стерни. Дерновый покров увеличивает шероховатость поверхности, уменьшает скорость стока, повышает температуру почвы, и в результате создаются благоприятные условия для инфильтрации талых вод. Анализ инфильтрационных свойств мерзлых почв под выбитой целиной, изменения режимов их влажности и температуры, накопления снега показывает значительное ухудшение условий для впитывания талых вод. При температуре почвы $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, на выбитой целине при влажности 17% скорость впитывания уменьшается до величины возможной интенсивности водоотдачи снега, а при НВ - уже при $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Невспаханная с осени пашня со стерней зерновых культур имеет среднее значение скорости впитывания в мерзлую почву между выбитой и не выбитой целиной.

Состав угодий на водосборе р. Урал, изменения в них определяют объем и режим водного стока на пограничном створе с Республикой Казахстан.

Список литературы

1. Комаров В.Д. Лабораторные исследования водопроницаемости мерзлой почвы. Тр. ЦИП, 1957, вып. 54, С 142-148.

2. Комаров В.Д., Макарова Т.Т. О влиянии льдистости, температуры и глубины промерзания почвы на инфильтрацию талых вод. Тр. Гидрометцентра СССР 1973, вып. 113. С. 76-85.
3. Калюжный И.Л., Павлова К.К. Формирование потерь талого стока. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 160 с.
4. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 312 с.
5. Глобус А.М. Физика неизотермического внутрпочвенного влагообмена. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 279 с.
6. Нестеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон: экологическое и хозяйственное значение. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 287 с.
7. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю. Природные воды Южного Урала: формирование и использование. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. 244 с.
8. Кузник И.А. Воздействие агрономических, лесохозяйственных и мелиоративных мероприятий на гидрологический режим Нижнего Поволжья. Саратов, 1963, 101 с.
9. Мосиенко Н.А. Водопроницаемость мерзлых почв в условиях Кулундинской степи // Вести сельхоз. науки, 1958. №2. С.92-99.

ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЕ РОССИИ И КАЗАХСТАНА

Падалко Ю.А.

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург
E-mail: yuradalko@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены проблемы пограничных водных объектов на примере государственной границы России и Республики Казахстан. По результатам предварительного анализа были определены и классифицированы участки государственной границы двух стран, проходящие по водным объектам. Приведен ретроспективный анализ русловых деформаций рек на пограничных участках на основе анализа архивных данных спутниковой съёмки с 1984 по 2020 гг. Выявлен пограничный участок р. Урал со значительным проявлением русловых деформаций за период исследования.

Ключевые слова: пограничные водные объекты, русловые деформации, государственная граница.

TRANSBOUNDARY WATER BODIES ON THE STATE BORDER OF RUSSIA AND KAZAKHSTAN

Yu.A. Padalko

Institute of Steppe of Ural Branch RAS, Orenburg

Abstract. The problems of border water bodies are considered on the example of the state border between Russia and the Republic of Kazakhstan. Based on the results of the preliminary analysis, the sections of the state border between the two countries passing through water bodies were identified and classified. A retrospective analysis of river channel deformations in key areas is presented based on the analysis of archived satellite imagery data from 1984 to 2020. Is revealed the border section of the Ural river with significant manifestation of channel deformations during the study period.

Key words: border water bodies, channel deformations, border of the Russian Federation.

Трансграничные водные объекты и их водосборы разделяются государственной границей. В некоторых случаях поверхностные водные объекты служат естественным

рубежом при определении положения государственной границы. Как правило, по руслам рек границу проводят по фарватеру, если река судоходна. На несудоходных реках рубежом служит середина реки. Граница по озерам проходит прямолинейно и делит водный объект в различных соотношениях между государствами. В ранней редакции Водного кодекса Российской Федерации присутствовало определение «трансграничный водный объект» и оно отождествлялось с пограничным водным объектом. В новую редакцию Водного кодекса (2006 г.) это понятие внесено не было.

На границе России насчитывается свыше тысячи трансграничных водных объектов, общая протяженность участков государственной границы, проходящей по рекам, составляет 7141 км [1]. Самые протяженные участки границы с Республикой Казахстан, Китаем, Монголией, Украиной и Финляндией. По длине участков границы, проходящей по рекам, занимают рубежи с Китаем, Казахстаном и Монголией. В частности, самыми протяженными пограничными реками являются Аргунь и Амур на границе с Китаем. Часто русловые деформации приводят к изменению государственной границы и переходу части территории под юрисдикцию соседнего государства. Такие ситуации отмечены на границе России с Китаем, Норвегией и др.

Общая протяженность государственной границы Российской Федерации и Республики Казахстан, проходящей по рекам, составляет свыше 1,5 тысяч км или 21 % от общей протяженности речных участков границы. Особенность этого участка границы в том, что здесь отмечается значительное разнообразие водных рубежей как типу водных объектов, так и высокой дифференциации водных объектов по гидрологическому режиму и морфодинамическим типам русел.

На реках выделяют три основные группы естественных типов русел: 1) врезанные – формируются в ограниченных условиях развития русловых деформаций; 2) адаптированные – развиваются в переходных условиях; 3) широкопойменные – вырабатываются в свободных условиях широкой поймы. Отдельно выделяют русла искусственно измененные, которые подверглись антропогенным преобразованиям [2, 3]. На крупных реках преобладают свободные излучины широкопойменной группы. Малые и средние степные реки обладают, в основном, врезанными и адаптированными руслами вследствие отражения руслом структуры залегания коренных пород и влияния хозяйственной деятельности.

Особенностью озёр на российско-казахстанской границе является их высокая амплитуда изменений площади водного зеркала. Поэтому многие озера не постоянные и их водное зеркало на части территории одного государства может сокращаться. Такие случаи часто происходят на озерных участках Западной Сибири. Одним из примеров, когда гидрологический режим озёра послужил причиной общественного резонанса, ситуация с оз. Сладкое на границе Новосибирской области с Республикой Казахстан.

По Договору о делимитации границы Российской Федерации и Республики Казахстан и согласно приложению к договору, описание положения государственной границы осуществлено на карте масштаба 1:100000, и все расстояния, указанные в описании, измерены с точностью до 0,1 км. Для установления границы на местности, подготовки проектов документов демаркации правительства двух государств образуют на паритетных началах Совместную российско-казахстанскую демаркационную комиссию.

Пограничные участки, описанные в Договоре, сопоставлялись с крупномасштабными спутниковыми снимками и топографическими картами для уточнения их положения. Для исследования возможных изменений положения участков границы, проходящей по водным объектам, анализировались русловые деформации рек с применением данных дистанционного зондирования (ДДЗ) - архивных спутниковых снимков среднего разрешения с 1985 по 2020 гг. (Landsat 5, 8). Данные по динамике русловых процессов получены по результатам использования

методов анализа ДДЗ с помощью многоканальных водных индексов MNDWI, AWEI [4] в программном свободном геоинформационном программном обеспечении QGIS 2.16:

$$\text{MNDWI} = \frac{b_2 - b_5}{b_2 + b_5}, \quad (1)$$

где b_2, b_4 - спектральные каналы Landsat (TM, ETM+).

$$\text{AWEI}_{\text{nsh}} = 4.0(b_2 - b_5) - (0.25b_4 + 2.75b_7), \quad (2)$$

где b_2, b_4, b_5, b_7 - спектральные каналы Landsat (TM, ETM+, OLI)

Полученные результаты анализировались по средствам геоинформационного инструментария MapInfo Professional 11.5 и SAGA GIS 2.3.1.

По результатам предварительного анализа нами были определены и классифицированы участки государственной границы, проходящие по водным объектам (рис 1).



Рисунок 1 – Карта-схема расположения участков пограничных водных объектов на государственной границе Российской Федерации и Республики Казахстан

Граница между Российской Федерацией и Республикой Казахстан определяется межгосударственным «Договором между Российской Федерацией и Республикой Казахстан о российско-казахстанской государственной границе» от 18 января 2005 г. и ратифицированным обеими Сторонами. Согласно документу, делимитация российско-казахстанской границы по руслу р. Урал проходит посередине реки. Протяженность водной границы по отрезкам делимитации, указанным в приложении к договору, составляет 128,6 км на участке пограничной линии Оренбургская область-Западно-Казахстанская область, и 64,8 км – на отрезке границы Оренбургская область – Актюбинская область.

На участке пограничного течения р. Урал между Российской Федерацией и Республикой Казахстан уклон реки, по данным уреза воды, составляет 6,5 м. Пойма реки на этом участке изобилует озёрами-старицами от сомкнутых излучин. Значительные перемещения реки формируется в результате русловых переформирований прорыва и спрямления излучин. Наибольшие изменения в плане русла на пограничном участке р. Урал произошли в двух излучинах: первая у с. Иртек (к юго-востоку от села) и вторая – у посёлка Бумаколь (к северо-востоку от села). В первой излучине прорыв основания проходил в период 1960-1975 гг., по данным доступных спутниковых снимков за 1976 г. [5]. В дальнейшем, в процессе размыва берега старого русла к 1999 г., что привело в 2006 г. к спрямлению участка и

отчленению верхней части. Во второй излучине у пос. Бумаколь прорыв основания появился в 1985 г. а в 1996 г. отчленился от реки участок старого русла, полное спрямление сформировалось к началу 2000 г.г. [6] (рис 2).

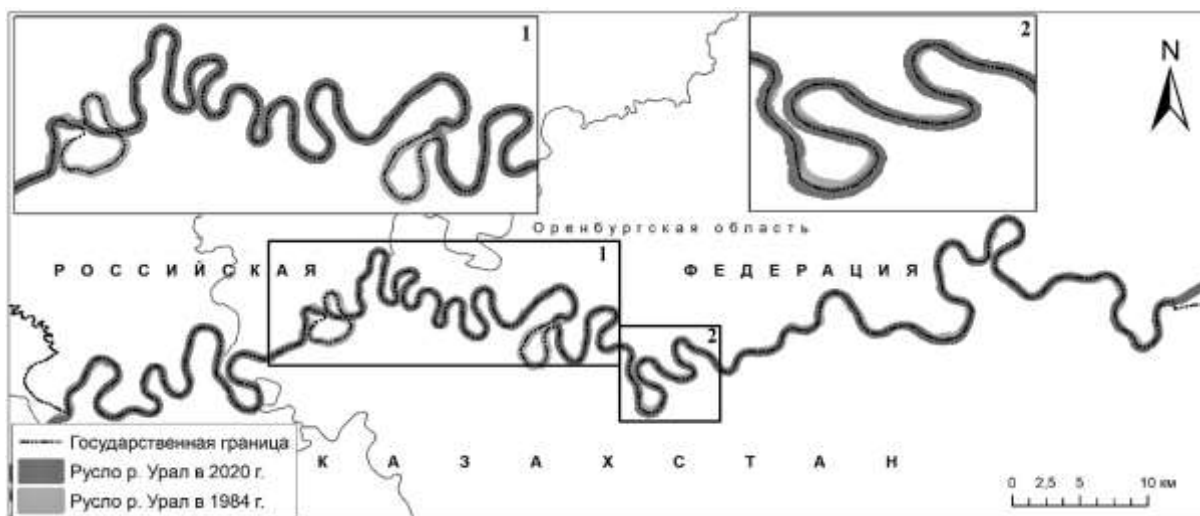


Рисунок 2 – Карта-схема русловых деформаций р. Урал в пограничной зоне Российской Федерации и Республики Казахстан

За период с 1990 по 2015 гг. значительное смещение береговой линии наблюдалось у с. Облавка Западно-Казахстанской области (рис 2, карта-врезка 2) до постройки берегоукрепительных сооружений. Глубина разрушения берега составила около 200 м (6,6 м/год), у автодороги, в пределах - 400 м (более 7 м/год). В целом, отмечается левобережное смещение русла с разрушением коренных берегов. Интенсивное смещение русла и разрушение коренных берегов объясняется легкоразмываемыми породами и руслоформирующими расходами реки в весенний период [5].

В ст. 4 Договора отмечается, что естественные изменения русла пограничной реки не влечет за собой изменений в положении государственной границы, если государства не договорились об ином. Отсюда следует, что обособленная в результате русловых деформаций территория в долине реки переходит под юрисдикцию государства, в чью сторону от середины реки этот участок отделён. Долина реки на данных участках находится в условиях невысокой хозяйственной освоенности, что не вызывает значительных территориальных претензий в настоящее время. Однако русловые процессы на некоторых участках представляют угрозу для селитебных и инфраструктурных объектов государств. Одной стороной уже проведены работы по инженерной защите своей территории. Однако односторонние действия по строительству защитных сооружений в дальнейшем могут привести к значительным перестройкам как русла реки, так и водного режима.

В результате размыва оснований излучин наблюдается отход русла в правую сторону. Так как граница двух государств была демаркирована по руслу р. Урал, то из-за русловых переформирований фактически от РФ отделилось около 10 км² территории. Процесс переформирования русла продолжается, вследствие чего площадь приграничных территорий двух государств будет изменяться.

В настоящее время проблемы водных объектов на пограничных участках менее актуальны, по сравнению с проблемами вододеления и качества воды в трансграничных реках Российской Федерации и Республики Казахстан. Но около 20 % общей длины государственной граница между странами привязаны к середине русла пограничных рек. В результате русловых переформирований образовались спорные участки на пойменной территории. Эти территории мало затронуты хозяйственной

деятельностью, но имеют уникальную флору и фауну. В частности, пойменные озера играют большую роль для воспроизводства рыбных ресурсов р.р. Волга, Урал, Тобол, Иртыш. Учитывая уникальные ландшафтно-ботанические особенности долины рек, необходимо осуществить межгосударственный комплекс мероприятий по сохранению его природного разнообразия.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания: "Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем" (АААА-А21-121011190016-1).

Список литературы

1. Дёмин А.П., Болгов М.В., Шаталова К.Ю. Проблемы и решения для управления водными ресурсами трансграничных рек России / Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, центральной Азии и Сибири. / Под ред. В.Г. Сычева, Л. Мюллера. Т. I. Ландшафты в XXI веке: анализ состояния, основные процессы и концепции исследований / М.:ВНИИ Агрохимии, 2018. С. 109-114.
2. Беркович К.М., Завадский А.С., Чернов А.В. Анализ и учет русловых процессов при разработке СКИОВО // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 6. С. 83-95.
3. Чалов Р.С. О классификации речных русел // Геоморфология. 1996. № 1. С. 3-15.
4. Feyisa G. L., Meilby H., Fensholt R., Proud S. R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment, 2014, №. 140, pp. 23-35.
5. Сергалиев Н.Х., Ахмеденов К.М. Русловые процессы на реке Урал // Новости науки Казахстана. 2013. №3 (117). С.201-205.
6. Падалко Ю.А., Чибилёв А.А. Проблемы развития русловых процессов в бассейне р. Урал // Докл. Акад. Наук, 2017. Т. 475, № 6, с. 702–705.

ЧУДСКО-ПСКОВСКОЕ ОЗЕРО – КРУПНЕЙШИЙ ТРАНСГРАНИЧНЫЙ ВОДОЁМ ЕВРОПЫ: ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А., Голосов С.Д., Шмакова М.В., Зверев И.С., Коробченкова К.Д.

Институт озероведения РАН – обособленное структурное подразделение ФГБУН Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН» (ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН)

E-mail: lake@limno.org.ru

Аннотация. С использованием методов математического моделирования рассчитаны годовые слои стока с водосбора, средние нагрузки общим фосфором и общим азотом, а также значения для многоводных (обеспеченностью 1 и 5%) и маловодных (обеспеченностью 95 и 99%) лет. Выполнены прогностические оценки возможных изменений температурного и кислородного режимов озера в условиях изменяющихся климатических и антропогенных воздействий на период по конец 2100 г. Проведено 3-D моделирование формирования полей течений в озере, его термических характеристик, распространения растворенных примесей, взмучивания донных отложения, внутренней биогенной нагрузки, а также развития фитопланктона.

Ключевые слова: Чудско-Псковское озеро, математическое моделирование, эвтрофирование.

CHUDSKO-PSKOVSKOYE (PEIPSI) LAKE – THE LARGEST TRANSBOUNDARY WATER BOOBY IN EUROPE: EXPERIENCE OF MODELLING (SIMULATION)

Pozdnyakov Sh.R., Kondratiev S.A., Golosov S.D., Shmakova M.V., Zverev I.S., Korobchenkova K.D.

Institute of Limnology RAS, detached structural unit of FSBIS «St. Petersburg Federal Research Centre RAS» (INOZ – SPb FITS RAS)

Abstract. Using simulation methods, annual layers of runoffs from a catchment, mean loads of general phosphorus and nitrogen, as well as the values for both highwater years (with 1% and 5% probability) and the low water ones (95% and 99% probability) were calculated. Prognostic estimations of possible changes in temperature and oxygen rates of the lake under the conditions of climate and anthropogenic impacts for the period up to the end 2100 were made. 3-D modeling for forming current fields in the lake, its thermal parameters, spreading dissolved admixtures, making turbid bottom sediments, as well as for internal biogenic load and phytoplankton development was carried out.

Key words: Chudsko-Pskovskoye (Peipsi) Lake, simulation, eutrofication.

Чудско-Псковское озеро – четвертый по величине пресноводный водоем Европы и крупнейший Европейский трансграничный водоемом, расположенный на границе между Россией и Эстонией [1, 2]. Общая площадь озера составляет 3555 км², из них 1985 км² относится к России и 1570 км² - к Эстонии. Водоем делится на три основные части: Чудское озеро с площадью акватории 2 611 км², Псковское озеро - 708 км² и соединяющее их Теплое озеро - 236 км². Общий объем водной массы Чудско-Псковского озера составляет 25.07 км³, из них объем водной массы Чудского озера - 21.79 км³, Псковского озера - 0.60 км³, Теплового озера – 2.68 км³. Средняя глубина Чудского озера – 8.3 м, Псковского озера - 3.8 м, Теплового озера – 2.5 м [1-3]. Схема водоема приведена на рис.1.

Общая водосборная площадь составляет ~ 44000 км², из которой 26% находится в Эстонии, 67% - в России и 7% - в Латвии. Российская часть водосбора Чудско-Псковского озера включает территорию Псковской области, незначительно затрагивая Сланцевский, Лужский и Кингисеппский районы Ленинградской области. Основной приток озера – р. Великая, водосбор которой занимает около 59 % всей площади водосбора. Значимыми притоками озера на российской части водосбора также являются р.р. Желча, Пиуза и Гдовка. Наиболее крупный приток с Эстонской стороны – р. Эмайыги с водосбором, составляющим 22% общей площади. Озеро играет существенную роль в экономике Эстонии и северо-запада России, поэтому рациональное использование его биоресурсов и сохранение условий для их воспроизводства является приоритетной задачей обеих стран.

Современные требования водной рамочной директивы ЕС (Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г.) указывают на необходимость разработки более детальной совместной Российско-Эстонской программы рационального использования и охраны водных ресурсов Чудско-Псковского озера. Кроме того, Чудско-Псковское озеро и его водосборный бассейн – один из источников формирования нагрузки на Финский залив Балтийского моря, уровень которой регламентируется Планом Действий по Балтийскому Морю – ПДБМ [4, 5].

В настоящее время особое беспокойство вызывает процесс эвтрофирования водоема, сопровождающийся «цветением» воды и ухудшением ее качества. Важнейшим фактором, определяющим интенсивность эвтрофирования Чудско-Псковского озера, является обеспеченность водной массы биогенными элементами, прежде всего, фосфором. При решении задачи детерминированно-стохастической (ДС) оценки стока и выноса биогенных элементов с Российской части водосбора Чудско-Псковского озера использовалась система моделей *SWM – ILHM – ILLM* [6].



Рисунок 1 – Схема Чудско-Псковского озера

Моделирование проводилось по следующим основным этапам:

1. Оценка параметров стохастической модели погоды для наблюдаемых рядов метеорологических элементов в изучаемом регионе (среднесуточная температура воздуха, суточные слои осадков, факт выпадения осадков), по данным наблюдений на метеостанции Псков.

2. Генерирование рядов метеорологических элементов требуемой длины с параметрами, соответствующими современным климатическим условиям.

3. Пересчет суточных значений метеорологических элементов в среднемесячные значения.

4. Моделирование месячных слоев стока с водосбора р. Великая по детерминированной модели формирования стока *ILLM*.

5. Построение кривой распределения значений слоя стока с изучаемого водосбора в современных климатических условиях. Оценка параметров распределения слоя стока (среднего значения, среднего квадратичного отклонения и значений различной обеспеченности превышения).

6. Пересчет среднемесячных значений слоя стока в среднегодовые значения.

7. Моделирование среднегодового выноса биогенных веществ с Российской части водосбора Чудско-Псковского озера (с учетом составляющих) по детерминированной модели формирования нагрузки *ILLM*.

8. Построение кривой распределения значений выноса биогенных веществ с изучаемого водосбора. Оценка параметров распределения среднегодового выноса биогенных веществ с водосбора (среднего значения, среднего квадратичного отклонения и значений различной обеспеченности превышения).

Итогом ДС моделирования в данном случае является набор кривых распределения и их параметров (среднего значения, среднего квадратичного отклонения и значений различной обеспеченности превышения) для суточных слоев осадков, среднемесячных слоев стока и среднегодового выноса биогенных веществ с Российской части водосбора Чудско-Псковского озера в современных условиях. Результаты расчетов стока и выноса биогенных веществ с водосбора представлены в табл. 1, где приведены параметры распределения рассчитанных годовых слоев стока с водосбора, средние значения нагрузки общим фосфором и общим азотом (400 тР/год, 8549 тN/год) и ее природной составляющей (269 тР/год, 3573 тN/год) на Чудско-Псковское озеро с Российской части водосбора. Представлены также их средние квадратичные отклонения, а также значения, рассчитанные для многоводных (обеспеченностью 1 и 5%) и маловодных (обеспеченностью 95 и 99%) лет. Нетрудно видеть, что изменчивость стока, в зависимости от метеорологических параметров более существенна, по сравнению с изменчивостью биогенной нагрузки. Сказанное объясняется тем, что не все источники биогенной нагрузки напрямую зависят от водности года.

Таблица 1 – Параметры распределения рассчитанных годовых слоев стока H , рассредоточенной (LP_{np} и LN_{np}) и природной (LP_{nat} и LN_{nat}) составляющих биогенной нагрузки на Чудско-Псковское озеро с Российской части водосбора: среднее – X_{cp} , среднее квадратичное отклонение – σ , значения обеспеченностью 1, 5, 25, 75, 95 и 99% - $X_{\%}$

	X_{cp}	σ	$X_{1\%}$	$X_{5\%}$	$X_{25\%}$	$X_{75\%}$	$X_{95\%}$	$X_{99\%}$
H , мм/год	242.41	57.02	375	336	281	204	148	110
LP_{np} , т/год	400	81.52	590	535	455	345	265	210
LP_{nat} , т/год	269	50.67	387	353	303	235	185	151
LN_{np} , т/год	8549	2013	13239	11870	9898	7200	5228	3859
LN_{nat} , т/год	3573	841	5533	4961	4136	3010	2185	1613

С использованием одномерной модели *Flake* [7] выполнены расчеты с целью получения прогностической оценки возможных изменений температурного и кислородного режимов Псковского и Чудского озер в условиях изменяющихся климатических и антропогенных воздействий на период по конец 2100 г. Основой для оценки изменения регионального климата служил сценарий А2 (модель ECHAM5_MRI-OM). Из результатов расчета следует, что температура воды в Чудском озере будет иметь тенденцию к возрастанию, которое составит 2.2 °С для поверхности и всего лишь 0.5 °С – для придонной области. В Псковском озере температура поверхности и в придонной области вырастут одинаково – на 2.2 °С. Различный рост придонной температуры в изучаемых озерах объясняется тем, что Псковское озеро ввиду меньшей глубины практически всегда является перемешанным от поверхности до дна, что приводит к более эффективному прогреву придонной области. Продолжительность ледостава на Чудском озере уменьшится практически вдвое – с 150-160 до 80-85 дней (рис.2а), будет также уменьшаться и толщина ледового покрова с 20 см в начале XXI века до 40 см – в его конце. В Псковском озере продолжительность ледостава уменьшится с 160 до 100 дней, а толщина льда – с 60-70 см до 20-30 см.

В Чудском озере ожидаются отрицательные тренды в динамике концентрации РК как в поверхностных слоях, так и у дна (рис. 2b). Скорее всего, такое развитие событий будет вызвано уменьшением поступления растворенного кислорода из

атмосферы вследствие снижения растворимости газа при повышении температуры воды. В Псковском озере отрицательный тренд будет наблюдаться только в поверхностных слоях. В придонном слое можно ожидать слабовыраженный положительный тренд концентрации РК, вызванный изменениями в условиях перемешивания озера и аэрации придонной области.

Как следует из результатов 3-D моделирования с использованием трехмерной модели внутреннего моря [8], адаптированной к условиям Чудско-Псковского озера, формирование полей течений в Чудско-Псковской озерной системе характерно для больших мелководных озер умеренных широт (рис. 3а).

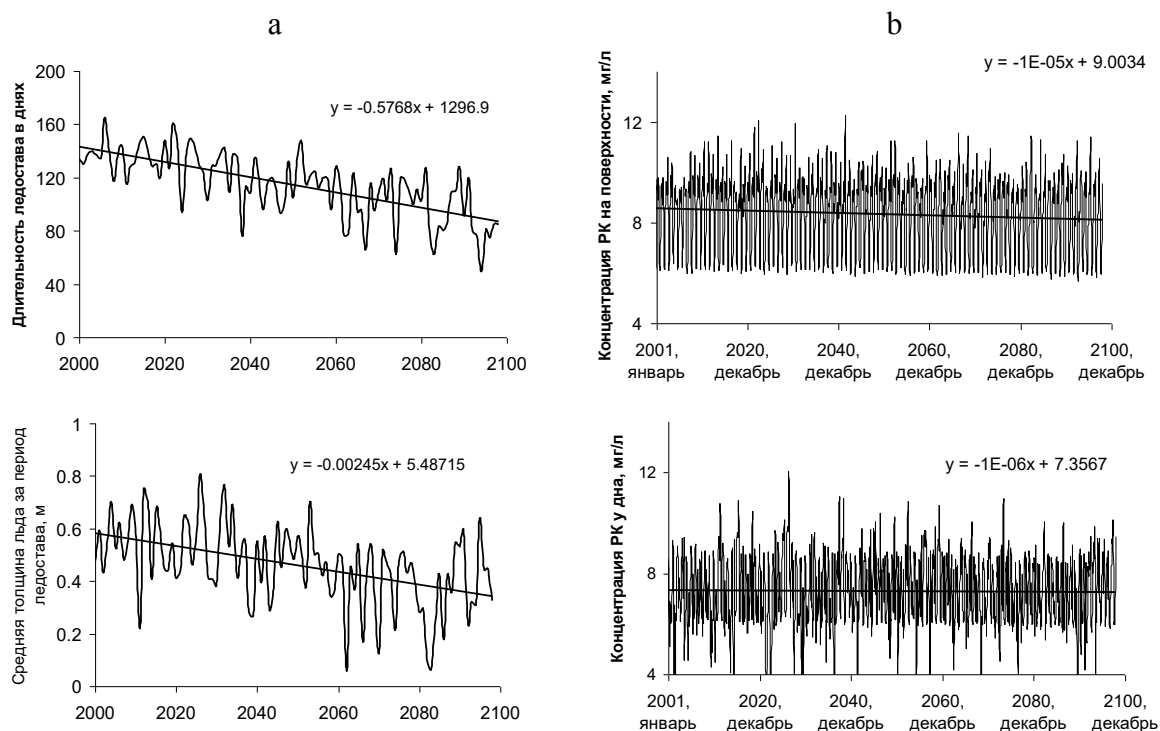


Рисунок 2 – Продолжительность периода ледостава и динамика толщины ледового покрова на поверхности (а) и динамика концентрации РК (б) в Чудском озере, в XXI веке в соответствии со сценарием А2

В подледный период течения в обоих озерах, в основном, носят бароклинный характер, обусловленный неравномерным распределением плотности воды по пространству. Максимальные скорости невелики – до 3 см/с в наиболее мелководных прибрежных районах. С окончанием периода ледостава в апреле – мае основным влияющим на течения фактором становится ветер. В озерах (особенно в Чудском) наблюдается частая смена антициклонической циркуляции на циклоническую и наоборот. Скорости при этом возрастают до 5 -6 см/с. Характер течений и их скорости остаются таковыми в течение всего периода открытой воды до начала ледостава, когда основным фактором, определяющим циркуляцию водных масс снова становится бароклинность, вызванная неравномерным по пространству теплообменом между водной массой и донными отложениями.

Пространственное распределение фосфора в Псковском озере определяется двумя процессами – циркуляцией водной массы в Чудском озере и «разбавляющим» влиянием стока р. Великая (рис. 3б). Эти процессы прослеживаются в течение всего года. Первый процесс проявляется в том, что более холодная, а, следовательно, более плотная вода Чудского озера блокирует водообмен с Псковским озером с севера. Кроме того, концентрация фосфора в Чудском озере меньше, чем в Псковском, поэтому в зоне смешения двух водных масс на границе озер наблюдается уменьшение концентрации фосфора в Псковской водной массе. Второй процесс проявляется в том, что концентрация фосфора в воде р. Великая также меньше, чем в центральной части

Псковского озера, поэтому в течение всего года в юго-восточной части Псковского озера наблюдаются минимальные в озере концентрации фосфора.

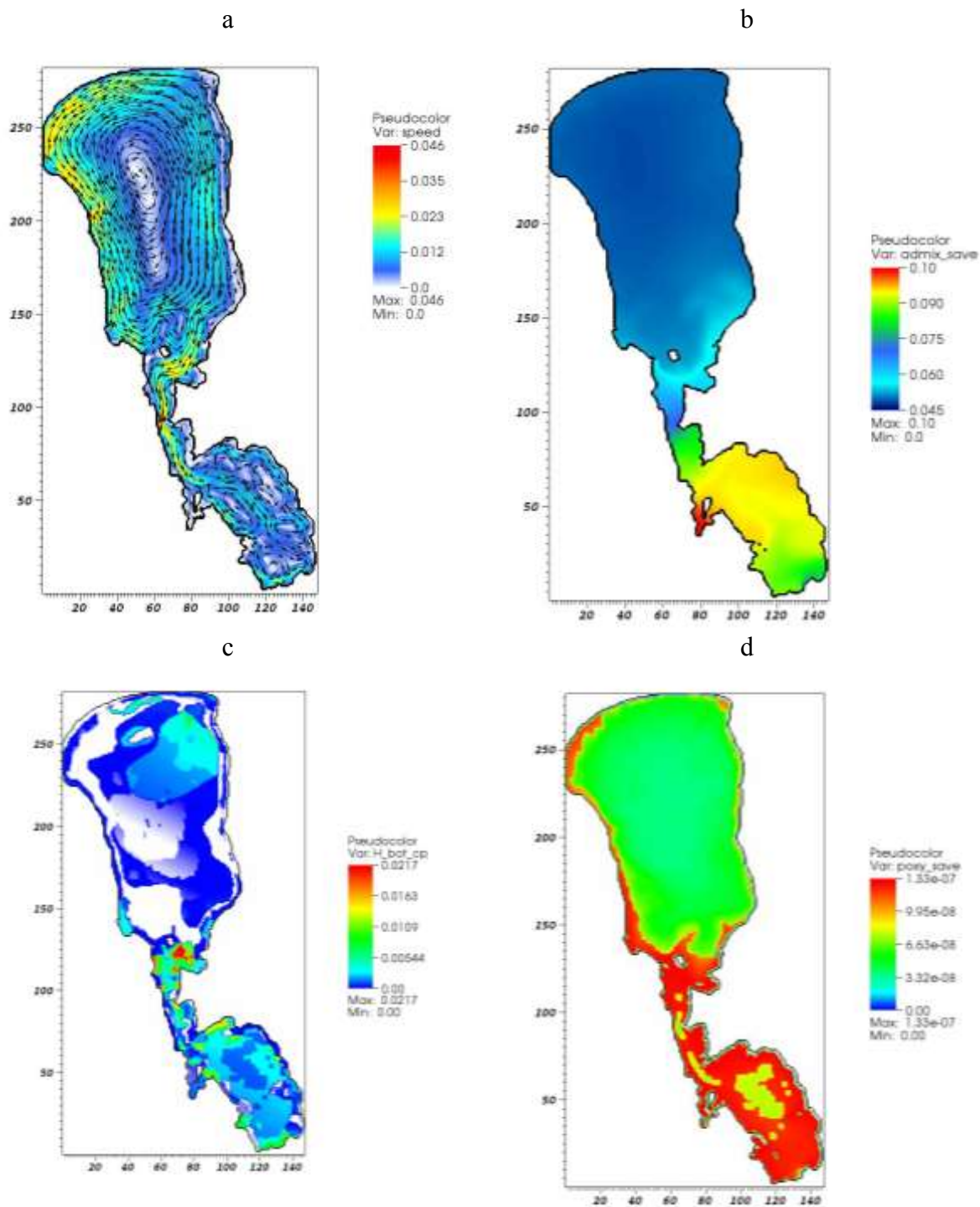


Рисунок 3 – Результаты 3-D моделирования: а - поле скоростей течений в середине апреля; б - пространственное распределение концентрации общего фосфора в середине июля; с - пространственное распределение концентрации частиц донных отложений в середине июля; д - пространственное распределение первичной продукции фитопланктона в середине июля

В таких условиях максимальные концентрации фосфора в Псковском озере сосредоточены в центральной и особенно в западной частях акватории. Пространственное распределение фосфора в Чудском озере носит выраженный

зональный характер. Максимальные значения наблюдаются в южной части озера в зоне смешения с водной массой Псковского озера, минимальные – в северной. Иногда при смене ветровой ситуации происходит проникновение водной массы Псковского озера в восточные и центральные районы Чудского озера. В этих случаях в Чудском озере возникают локальные максимумы концентрации фосфора в соответствующих районах акватории. Пространственное распределение общего азота не имеет таких особенностей и носит зональный характер в течение всего года. Концентрация увеличивается от истока р. Великая в северном направлении.

В период ледостава взмучивание донных отложений практически отсутствует. Это объясняется тем, что в отсутствие волнения напряжение трения в придонной области, создаваемое бароклинными течениями, не достигает критического значения, необходимого для отрыва частиц донных отложений от поверхности. В период открытой воды процесс ресуспензии верхнего слоя донных отложений протекает активно, обеспечивая поступление биогенных веществ во всех формах в придонную область, откуда они переносятся в водную массу посредством турбулентных вихрей и течений. Взмучивание начинает активно развиваться в Псковском озере в мае, тогда как водная масса Чудского озера в это время еще устойчиво стратифицирована после схода ледового покрова. Наиболее активно ресуспензия донных осадков протекает в летний период, когда оба озера достаточно часто перемешиваются до дна (рис. 3с). В период осеннего охлаждения процесс ресуспензии теряет свою интенсивность, что особенно заметно в Чудском озере. С установлением в первой половине ноября ледового покрова взмучивание донных осадков в Псковском озере прекращается. В Чудском озере ресуспензия также протекает до начала периода ледостава.

Процессы первичного продуцирования (ПП) в Чудско-Псковском озере так же, как и ресуспензия лимитируются продолжительностью ледостава. Лимитирование ПП обусловлено недостатком фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР), которая полностью либо отражается, либо поглощается снежно-ледовым покровом в зимний период. Сразу после вскрытия Псковского озера резко возрастает поток ФАР на поверхность озера. В условиях отсутствия биогенного лимитирования в нем начинает активно развиваться фитопланктон. В Чудском озере процессы ПП протекают с гораздо меньшей интенсивностью, а на севере озера интенсивность фотосинтеза близка к нулю. В летние месяцы свой вклад в интенсификацию ПП вносит прогрев водных масс обоих озер. Фотосинтез водорослей возрастает практически на порядок величины, по сравнению с весенним периодом (рис. 3d). Характер пространственного распределения ПП меняется. К максимальным значениям фотосинтеза в Псковском озере добавляются зоны с фотосинтезом такой же интенсивности в прибрежных районах Чудского озера. До конца лета характер пространственного распределения ПП не меняется. В осенний период, в связи с естественным уменьшением прихода ФАР, интенсивность фотосинтеза закономерно снижается и практически сводится к нулевым значениям к началу периода ледостава.

Таким образом, представленные в настоящей работе результаты свидетельствуют о том, что к настоящему времени разработан и успешно используется на практике моделирующий комплекс, являющийся инструментом для принятия управленческих решений в области охраны и рационального использования ресурсов Чудско-Псковского озера – крупнейшего трансграничного водоема Европы. Перспективы развития работ в области совершенствования моделирующего комплекса состоят, прежде всего, в совершенствовании детерминировано-стохастического моделирования процессов стока, выноса взвешенных частиц и растворенных примесей с водосбора и в русловом потоке, а также расширению спектра детерминированных моделей, описывающих комплекс биотических и абиотических внутриводоемных процессов. Прогресс в этом вопросе зависит от существенной перестройки и совершенствования системы мониторинга водных объектов, а также проведения

специальных натуральных исследований с целью уточнения параметров моделей. Перспективы практического расширения области внедрения разработанного моделирующего комплекса связаны с созданием автоматизированных информационно-управляющих систем охраны и рационального использования ресурсов водных объектов с применением ГИС-технологий, а также средств обработки и анализа аэрокосмической информации об акваториях и подстилающей поверхности водосборов.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по теме № 0154-2019-0001 (№ госрегистрации АААА-А19-119031890106-5)

Список литературы

1. Кондратьев С.А., Голосов С.Д., Зверев И.С., Рябченко В.А., Дворников А.Ю. Моделирование абиотических процессов в системе водосбор-водоем (на примере Чудско-Псковского озера) СПб.: Нестор-История, 2010. 116 с.
2. Lake Peipsi. Meteorology, Hydrology, Hydrochemistry. Ed. T Nõges Tartu: Sulemees Publ. 2001. 163 p.
3. Nutrient loads to Lake Peipsi. Environmental monitoring of Lake Peipsi/Chudskoe 1998- 1999. Norwegian Centre for Soil and Environmental Research Jordforsk, 1999. Report 4(01). p 66.
4. HELCOM Baltic Sea Action Plan. Helsinki Commission Publ. Helsinki, 2007. 103 p.
5. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration: Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan - Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea Copenhagen, Denmark, 2013. 19 p.
6. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор - водоток водоем. СПб.: Нестор-История, 2019. 246 с.
7. Golosov S., Zverev I., Terzhevik A. Modelling Thermal Structure and Heat Interaction between a Water Column and Bottom Sediments. Lund, Sweden, 1998. Report № 3220.
8. Голосов С.Д., Зверев И.С., Шипунова Е.А. Моделирование термогидродинамических процессов и экосистем Ладожского и Онежского озер на основе 3D модели гидродинамики Внутреннего моря (МГВМ) - Диагноз и прогноз термогидродинамики и экосистем великих озер России / под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. С. 166–196.

ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКИ ИРТЫШ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ ДО 2030 ГОДА

***Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Рыбкина И.Д., Зиновьев А.Т., Кошелева Е.Д.,
Ловицкая О.В.***

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул
E-mail: puzanov@iwep.ru

Аннотация. В статье дана краткая характеристика современного состояния водных ресурсов и водохозяйственного комплекса бассейна р. Иртыш. Сделан анализ основных трансграничных проблем в бассейне. Приведен прогноз водности, водопользования и экологического состояния р. Иртыш до 2030 г. В ближайшее десятилетие вероятно сохранение или углубление трансграничных экологических проблем в бассейне. Предложены основные пути их решения, связанные с усилением межгосударственного сотрудничества России, Казахстана и Китая в области охраны водных ресурсов.

Ключевые слова: водные ресурсы, водохозяйственный комплекс, Иртыш, экологические проблемы.

TRANSBOUNDARY PROBLEMS OF THE IRTYSH RIVER: CURRENT STATE AND FORECAST UNTIL 2030

*Puzanov A.V., Bezmaternykh D.M., Rybkina I.D., Zinoviev A.T., Kosheleva E.D.,
Lovtskaya O.V.*

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul

Abstract. The article presents a brief description of current water resources and the water management complex of the Irtysh River basin. We have made the analysis of major transboundary problems in the basin as well as the forecast of water availability, water use and ecological state of the Irtysh River up to 2030. It is expected that in the following decade the transboundary environmental problems of the basin may worsen. In this paper, the effective ways for their solution through strengthening interstate cooperation between Russia, Kazakhstan and China in the field of water resources protection are proposed.

Keywords: water resources, water management complex, Irtysh, environmental problems.

Иртыш – крупнейший приток Оби. Площадь его бассейна – около 1,65 млн км², длина – более 4,2 тыс. км, включая р. Черный Иртыш (Кара-Иртыш) [1]. Река берет начало на территории Китая, далее пересекает границы Казахстана и России. При этом небольшая часть водосборного бассейна в истоках реки приходится на Монголию. Протяженность реки в пределах Российской Федерации составляет 48% от ее общей длины. Верховья бассейна находятся в Алтайской горной стране в условиях высотной поясности. Большая часть бассейна расположена в степной и лесостепной зонах, и только небольшая часть нижнего течения приходится на лесную зону.

В ежегодных изданиях «Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество» Росгидромета приводятся одни и те же значения среднемноголетнего стока рек России, несмотря на то, что расчетный ряд удлиняется от года к году. Так, по данным ежегодника за 2018 г., среднемноголетний сток р. Иртыш в районе г. Омск составляет 30,3 км³, наименьшего значения он достигал в 1933 г. (16,3 км³), а наибольшего – в 1947 г. (47,0 км³). В районе устья зафиксированы следующие значения стока: среднемноголетний – 86,0 км³, наименьший – 16,2 км³ (1947 г.) и наибольший – 141 км³/год (1971 г.) [2]. При этом под влиянием климатических изменений у всех рассмотренных нами 35 речных постов Иртышского бассейна среднемноголетний сток имеет линейные тренды в большей или меньшей степени выраженности [1, 3]. Выделив в пределах бассейна 6 зон увеличения или уменьшения стока, было установлено, что в реках таежной области Иртышского бассейна водность увеличивается, а в лесостепной и степной зон – уменьшается. Сравнение внутригодового распределения за периоды 1979–2000 гг. и 1958–1978 гг. показало, что происходит рост стока в период осенне-зимней межени на 11–76 % и уменьшение стока в апреле на 5–40%, а на некоторых реках левобережья Иртыша и в мае – сентябре (рек Шиш, Туй, Тара) [1]. В работах [4, 5] выполнена оценка произошедших и ожидаемых изменений объема стока рек Обь-Иртышского бассейна к 2020 и 2030 гг.

Пересчет объемов водных ресурсов и повторный анализ трендов на 2020 г. для 5 постов р. Иртыш с учетом удлинения расчетного ряда показал уменьшение скорости изменения стока в сравнении с 2010 г. У ряда постов р. Иртыш прогнозируется уменьшение стока на 0,03–0,4% и увеличение на 2,52–3,51% (табл. 1). Средний объем стока за 10 лет р. Иртыш в районе г. Омск с 2001 по 2010 гг. составил 25,9 км³, а за 2011–2020 гг. – 31,7 км³. Это объясняет трудности с водообеспечением г. Омск в 2001–2010 гг. Ожидаемый средний объем стока за десятилетие 2021–2030 гг. будет меньше, чем сток за 2011–2020 гг.

Таблица 1 – Среднегодовой объем стока р. Иртыш к 2010, 2020 гг. и его прогноз на 2030 г. по линейному тренду среднегодовых расходов, км³

Пост	Расчет		Прогноз		
	2010 г.	2020 г.	2030 г.	изменения за 10 лет	
				км ³	%
Новая Станица	24,42	25,31	26,17	+0,77	+3,05
Омск	27,38	27,72	27,61	-0,11	-0,40
Екатерининское	28,52	29,69	30,85	+1,04	+3,51
Тобольск	68,17	68,15	68,13	-0,02	-0,03
Ханты-Мансийск	88,96	91,54	94,11	+2,31	+2,52

В результате интенсивного роста численности населения, развития промышленности и сельского хозяйства в китайской части бассейна в последние десятилетия наблюдается острый дефицит водных ресурсов. В Синьцзян-Уйгурском автономном районе КНР, особенно в его северной части, динамично развиваются промышленность, добыча полезных ископаемых и сельское хозяйство (включая орошаемое земледелие); реализуются проекты по переброске водного стока [6]. В казахской части бассейна, помимо сельского хозяйства и промышленности, существенное влияние на изменение водных ресурсов Иртыша оказывают гидроэлектростанции. Здесь с советских времен функционирует каскад крупных водохранилищ (Бухтарминское, Усть-Каменогорское, Шульбинское и др.). На российской части бассейна Иртыша крупных ГЭС нет, но создано большое количество мелких прудов и водохранилищ [7]. Помимо традиционного для бассейна Иртыша аграрного и индустриального природопользования, которое сосредоточено, в основном, в южных регионах российской части бассейна, в северной части распространена добыча полезных ископаемых, главным образом, горючих [8].

В результате хозяйственной деятельности на значительной части бассейна р. Иртыш наблюдается снижение качества поверхностных вод. В Казахстане в 2020 г. качество вод реки на различных участках менялось от 1 класса («очень хорошего качества») в Павлодарской области до 4 («плохого качества») в Восточно-Казахстанской области, где основными загрязнителями были взвешенные вещества, железо и марганец [9]. На отдельных участках реки (в районе г. Усть-Каменогорск) качество воды отнесено к 5 классу («наихудшего качества») по 5-бальной шкале Казгидромета. При этом, по сравнению с 2019 г., качество воды значительно не изменилось.

На территории России качество воды Иртыша в 2018 г. относилось к 3–4 классу по 5-бальной шкале Росгидромета [10]. В 2018 г. качество воды (с. Татарка) на границе России с Казахстаном ухудшилось, вода характеризовалась как «загрязненная» (в 2017 г. – «слабо загрязненная»). В районе г. Омск вода р. Иртыш во всех створах оценивалась как «загрязненная». На участке г. Тобольск – г. Ханты-Мансийск вода оценивалась как «грязная». Характерными загрязняющими веществами р. Иртыш были соединения меди, в некоторых створах к ним добавлялись соединения марганца и органические вещества (по ХПК); реже фенолы, аммонийный азот, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), соединения железа и цинка [11]. Вода р. Ишим в это же время отнесена к 3 классу качества (основные загрязнители – органические вещества), а р. Тобол – к 4 классу (соединения марганца, железа, органические вещества).

Трансграничный характер Иртыша и его притоков Ишима и Тобола в значительной мере определяет экологическую ситуацию в Обь-Иртышском бассейне. Остаются нерешенными вопросы институционального регулирования водопользования в межнациональных и межрегиональных сегментах водохозяйственной системы

бассейна. Нет согласованных лимитов вододеления, что особенно актуально в маловодные годы и сезоны; нет и жестко согласованных графиков пусков вод с учетом безопасного функционирования имеющихся гидротехнических сооружений и водохозяйственных систем; низка технологическая дисциплина водопользования на предприятиях – основных потребителях водных ресурсов и в жилищно-коммунальных хозяйствах крупных городов; велики потери водных ресурсов в открытых водоемах и каналах. Периодически происходит возврат к рассмотрению ряда проектов внутрибассейновой и межбассейновой переброски. В настоящее время однозначного мнения по этим проектам не существует [12].

Иртыш имеет первостепенное значение в трансграничном переносе загрязняющих веществ в Россию с речными водами [11]. В 2018 г. из Казахстана в Россию со стоком р. Иртыш поступило: минерального азота 20,3 тыс. т, общего фосфора 1,13 тыс. т, меди 81,9 т, цинка 121 т, органического вещества 379 тыс. т, фенолов 27,6 т и нефтепродуктов 0,249 тыс. т. Ишим за этот же период принёс: минерального азота 0,5 тыс. т, фосфора 0,04 тыс. т, меди 4,92 т, цинка 5,57 т, органического вещества 35,8 тыс. т, фенолов 3,00 т и нефтепродуктов 0,146 тыс. т. С р. Тобол поступило: минерального азота 1,13 тыс. т, фосфора 0,104 тыс. т, меди 4,73 т, цинка 8,15 т, органического вещества 10,6 тыс. т, фенолов 1,00 т и нефтепродуктов 0,103 тыс. т.

Прогнозируемое изменение количества и качества ресурсов речного стока Иртыша в ближайшее десятилетие ставит под сомнение планы социально-экономического развития приграничных регионов России. В первую очередь, это касается главного промышленного центра – г. Омск и прилегающего к нему Омского муниципального района, которые расположены в пределах Западно-Барабинской лесостепной ландшафтной провинции. На их долю приходится 80% общего забора водных ресурсов и 90% объема использованных вод в регионе. В структуре промышленного производства города уже сейчас (данные 2017 г.) лидируют водоемкие производства, которые производят более 85% товаров и услуг, в том числе 70,7% кокса и нефтепродуктов, 6,5% химических изделий, 5,1% пищевых продуктов, 2,8% резины и пластмасс [15].

Согласно Стратегиям развития Омской области (до 2020 г. и до 2025 г.) [13, 14] и г. Омск (до 2030 г.) [15], именно в Центральном экономическом районе региона планируется создание промышленно-производственной особой экономической зоны, организация новых высокотехнологичных производств, дальнейшее развитие нефтехимического, машиностроительного, биотехнологического и других производственных комплексов. Для осуществления намеченных планов потребуются дополнительные объемы водных ресурсов. Данные потребности станут возможным удовлетворить, главным образом, за счет транзитного стока Иртыша, который при пересечении российско-казахстанской границы до г. Омск практически не принимает притоков. При этом следует отметить, что водообеспеченность в 2012 г., по нашим расчетам, здесь составляла 20,5 тыс. м³/чел. в год при нагрузке на местный сток почти в 100% [16]. По данным за 2020 г., она увеличилась до 21,8 тыс. м³/чел. в год, что также согласуется с представленным прогнозом стока Иртыша. При условии последующего сокращения стока на этом участке в перспективе до 2030 г. и с учетом предполагаемой численности населения, которая также будет сокращаться, согласно прогнозу Росстата [17], водообеспеченность даже может немного увеличиться и достигнуть значений 24,0 тыс. м³/чел. в год.

Однако, учитывая планы по росту сельскохозяйственного и промышленного производства, добычи полезных ископаемых в Китае, Казахстане и России, можно ожидать повышение объемов загрязнителей, образуемых в бассейне р. Иртыш, что также отразится на водообеспеченности регионов. Причем прогнозируемое незначительное увеличение водности и водообеспеченности к 2030 г. в бассейне, по

всей вероятности, будет перекрыто повышением забора водных ресурсов для безвозвратного потребления (орошения) и перераспределением стока в другие водные бассейны как в Китае из р. Кара-Иртыш, так и в Казахстане по каналу «Иртыш – Караганда – Нур-Султан» для увеличения водоснабжения активно растущей новой казахстанской столицы.

Таким образом, прогнозируемое увеличение поступления сточных вод и сокращение водного стока на отдельных участках может привести к уменьшению физического потенциала самоочищения (разбавляющей способности) и повышению загрязненности воды р. Иртыш. При этом наблюдаемое сильное загрязнение поверхностных вод легкоокисляемыми органическими веществами приводит к уменьшению содержания растворенного кислорода и, как следствие, к снижению химического потенциала самоочищения, а загрязнение токсичными тяжелыми металлами снижает потенциал биологического самоочищения водных экосистем. Всё это может обуславливать деградацию водных экосистем, снижение их биологической продуктивности и ухудшение качества водных ресурсов [18].

Для решения вышеперечисленных экологических проблем необходимо углублять межгосударственное сотрудничество Китая, Казахстана и России в сфере охраны и восстановления водных ресурсов, а также внедрять новые технологии оборотного водоснабжения промышленных предприятий и очистки сточных вод. При этом в последние годы уже наблюдается усиление сотрудничества России и Казахстана в области охраны и рационального использования водных ресурсов, регулярно проходят заседания межправительственной рабочей группы по этим вопросам, в которых принимают участие представители различных ведомств, а также научных организаций. Китайская сторона, по всей вероятности, к такому уровню сотрудничества пока не готова.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИВЭП СО РАН (рег. № 121031200177-1, 121031800042-6, 121031200178-8).

Список литературы

1. Винокуров Ю.И. Галахов В.П., Голубева А.Б. и др. Экологические риски в трансграничном бассейне реки Иртыш. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 161 с.
2. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. 2018 год. СПб: Росгидромет, 2019. 153 с.
3. Zinoviev, A.T., Galakhov, V.P., Kosheleva, E.D., Lovtskaya, O.V. Influence of global climate changes on hydrological regime of rivers in South West Siberia / Zinoviev, A.T., Galakhov, V.P., Kosheleva, E.D., Lovtskaya, O.V. // Eurasian journal of mathematical and computer applications. 2016. Vol. 4. Is. 1. P. 47–54.
4. Зиновьев А.Т. Кошелева Е.Д. Произошедшее и ожидаемое изменение объема стока рек Обь-Иртышского бассейна под влиянием природно-климатических факторов // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. М.: Издат. дом «Кодекс», 2018. С. 77–88
5. Zinoviev A.T., Kosheleva E.D., Galakhov V.P. et al. Current State of Water Resources and Problems of Their Use in Border Regions of Russia (The Ob-Irtysh Basin as a Case Study) // Water Resources Management in Central Asia. The Handbook of Environmental Chemistry. Switzerland: Springer Nature, 2020. Vol. 105. P. 163–188. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-57986-9>.
6. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Рыбкина И.Д. и др. О проекте переброски водных ресурсов по трубопроводу из бассейна Верхней Оби в Китай // XV междунар. науч. - практ. симпоз. и выставка «Чистая вода России», 23–27 сентября 2019 г., г. Екатеринбург: Сб. материалов Екатеринбург: РосНИИВХ, 2019. С. 280–285.

7. Вода России. Речные бассейны / Под науч. ред. А.М. Черняева. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2000. 536 с.
8. Винокуров Ю.И., Пузанов А.В., Безматерных Д.М. и др. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 236 с.
9. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. Нур-Султан: РГП «Казгидромет», 2020. Вып. 03 (29). 319 с.
10. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (приложение к ежегоднику). Ростов-на-Дону: ФГБУ "Гидрохимический институт", 2019. 145 с.
11. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
12. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И. и др. Современное состояние и экологические проблемы Обь-Иртышского бассейна // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 6. С. 106–118.
13. Стратегия социально-экономического развития города Омска до 2030 года. Утв. Решением Омского городского совета от 19.12.2018 г. № 101.
14. Стратегия социально-экономического развития Омской области до 2020 года. Утв. Указом губернатора Омской области от 13.02.2006 г. №18.
15. Стратегия социально-экономического развития Омской области до 2025 года. Утв. Указом губернатора Омской области от 24.06.2013 г. № 93 (в ред. Указов Губернатора Омской области от 24.09.2015 № 167, от 30.11.2017 № 197, от 07.05.2018 № 53).
16. Рыбкина И.Д. Оценка и прогноз водообеспеченности Омской области // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 1. С. 115-122.
17. Предположительная численность населения Российской Федерации до 2035 года. М.: Росстат, 2020. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13285>.
18. Остроумов С.А. Загрязнение, самоочищение, восстановление водных экосистем. М.: МАКС Пресс, 2005. 100 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ САЙМА-ВУОКСИНСКОГО ВОДОСБОРА

Расулова А.М.

Институт озероведения РАН – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (ИНОЗ РАН – СПбФИЦ РАН), г. Санкт-Петербург

E-mail: ARasulova@gmail.com

Аннотация. В статье оценивается эвапотранспирация, транспирация с растительности, испарение с почвы и испарение осадков, перехваченных растительностью на территории Сайма-Вуоксинского водосбора. Расчеты выполнены по модели Пенмана-Монтейта-Леунинга в облачной платформе анализа и обработки геопространственных данных Google Earth Engine. На основе модели получены карты геопространственного распределения компонент эвапотранспирации с разрешением 500 м. Рассчитано годовое изменение эвапотранспирации и ее компонент на всей исследуемой территории, показано, что основной вклад в эвапотранспирацию в вегетационный период вносит транспирация с растительности. Данные, полученные по модели, хорошо согласуются с натурными наблюдениями испарения на трех пунктах мониторинга Финляндии, находящихся в пределах водосбора.

Ключевые слова: модель Пенмана-Монтейта-Леунинга, Google Earth Engine, эвапотранспирация, транспирация растительности, испарение с почвы.

MODELING OF EVAPORATION PROCESSES SAIMAA-VUOKSINSKIE CATCHMENT

Rasulova Anna M.

Institute of limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract. The article evaluates evapotranspiration, vegetation transpiration, soil evaporation, evaporation of precipitation intercepted with vegetation canopy in the Saimaa-Vuoksinsky catchment area. The calculations are based on the Penman-Monteith-Leuning model and performed in a cloud platform for the analysis and processing of geospatial data Google Earth Engine. Based on the model, maps of the geospatial distribution of the evapotranspiration component with a resolution of 500 m were obtained. The annual change in evapotranspiration and its components over the entire study area was calculated; it was shown that transpiration from vegetation makes the main contribution to evapotranspiration during the growing season. The model data are in reasonably good agreement with evaporation observations at three Finnish observation points that are within the catchment.

Keywords: Penman-Monteith-Leuning model, Google Earth Engine, evapotranspiration, vegetation transpiration, soil evaporation.

Введение

Озерная система Сайма находится на юго-востоке Финляндии, вблизи российских границ. Площадь бассейна оз. Сайма (Сайма-Вуоксинский водосбор) составляет 61 054 км², которая располагается на территориях Финляндии и России (республика Карелия и Ленинградская область), являясь трансграничным водным объектом. Озеро Сайма имеет единственный сток – р. Вуоксу, втекающую в Ладожское озеро. Южная часть Саймы активно используется в хозяйственных целях – на данной территории расположены целлюлозно-бумажные и деревообрабатывающие предприятия. Антропогенное воздействие и изменение климата влияет на водный баланс и его компоненты, требуя постоянного мониторинга, что затруднено в силу большой площади трансграничной территории Сайма-Вуоксинского водосбора. В связи с этим становятся актуальными оценки природных ресурсов и их экологического состояния с помощью дистанционного зондирования Земли и математического моделирования.

В упрощенном виде уравнение водного баланса включает в себя атмосферные осадки, поверхностный и подземный стоки, эвапотранспирацию. В данной работе рассматривается моделирование эвапотранспирации (ET) на территории Сайма-Вуоксинского бассейна. В общем случае эвапотранспирация складывается из транспирации растительности (E_c), испарения с почвы (E_s) и испарения осадков, задержанных растительностью (E_i). Компоненты эвапотранспирации зависят от типа подстилающей поверхности, растительного покрова и климатических характеристик. Для учета этих факторов при определении эвапотранспирации и ее компонент в данной работе использовалась модификация метода Пенмана-Монтейта [1, 2].

Целями данного исследования являются: количественная оценка эвапотранспирации и ее компонент на основе модели Пенмана-Монтейта-Леунинга для территории Сайма-Вуоксинского водосбора; получение карт геопространственного распределения компонент эвапотранспирации; расчет средних многолетних значений эвапотранспирации и ее компонент для всей территории водосбора.

Описание модели

Для оценки эвапотранспирации существуют различные модельные методы. В отечественной литературе наиболее часто используются методы теплового и водного балансов [3], позволяющие оценивать эвапотранспирацию без вычленения отдельно ее компонент и учета дифференциации типов почв на исследуемой территории. Помимо данных методов зачастую используют биофизические модели, включающие в себя

отклик растительности на климатические факторы [3–6]. В западных исследованиях наиболее часто оценки эвапотранспирации строят на модели Пеймана-Монтейта (модель PM или FAO-56), которая основывается на уравнении теплового баланса и массопереноса с открытой водной поверхностью, при этом она является биофизически устойчивой, учитывает неоднородности подстилающей поверхности и климатические параметры.

В 2008 г. модель Пенмана-Монтейта была модифицирована Р. Леунигом включением в нее поверхностной проводимости, которая учитывает физические характеристики растительного покрова и потерю влаги почвой (модель PML) [7]. В 2016 г. Чжан и др. добавили в модель PML испарение осадков, перехватываемых растениями, и разделили компоненты суммарной эвапотранспирации на E_s , E_c и E_i (модель PML_V1) [8]. В 2018 г. модель PML_V1 была дополнена биофизической проводимостью полого, (модель PML_V2) [9].

Подробная схема работы модели Пенмана-Монтейта-Леунига приведена в [8], здесь описаны ее основные блоки. Входными данными модели являются:

1. Спутниковые снимки MODIS с разрешением 500 м с интервалом 1-4 дня и с разрешением 1 км и с интервалом 8 дней;
2. 3-часовые климатические данные с модели реанализа GLDAS [10] с разрешением $0,25^\circ$. К климатическим данным относятся: максимальная, минимальная и средняя температуры, атмосферное давление, скорость ветра, удельная влажность воздуха, атмосферные осадки, длинноволновая и коротковолновые составляющие солнечной радиации.

На основе дешифрирования спутниковых снимков получают данные об индексе поверхности листа, альбедо «белого неба» и радиации. С обработанных спутниковых снимков получают также биофизические параметры. Типы подстилающей поверхности получаемые при дешифрировании спутниковых снимков, классифицированы по международной системе IGBP [11]. Биофизические параметры, поступающие на вход модели, после обработки спутниковых снимков: тангенс угла наклона кривой светового отклика к скорости ассимиляции, тангенс угла наклона кривой реакции на CO_2 , в зависимости от скорости ассимиляции, коэффициент устьичной проводимости, максимальная каталитическая емкость RuBisCO на единицу площади листа при 25°C , дефицит давления водяного пара в воздухе, коэффициент экстинкции PAR, коэффициент затухания доступной энергии, удельная емкость накопления дождевых осадков в навесе на единицу площади листьев, удельное отношение средней скорости испарения к средней интенсивности дождя во время штормов на единицу растительного покрова.

Расчетные формулы эвапотранспирации и ее компонент приведены в приложении к статье [8]. Модель PML_V2 доступна через пользовательский интерфейс Google Earth Engine (GEE) [12]. Код модели находится в открытом доступе на GitHub [13]. Обращение к модели происходит за счет выполнения запросов, написанных в редакторе кода в GEE [14].

Приложение модели и ее верификация

В рамках применения модели Пенмана-Монтейта-Леунига к Сайма-Вуоксинскому бассейну разработан скрипт для GEE. Работа программы происходит по следующему алгоритму:

1. Обращение к файлу с выделенной площадью, полученной на цифровой модели рельефа и загруженной в пользовательский каталог GEE;
2. Обращение к каталогу данных PML_V2, с учетом исследуемой территории и определенного временного интервала, который ограничен доступным непрерывным рядом спутниковых снимков MODIS (с 4 июля 2002 г. по 27 декабря 2017 г.);
3. Вызов выходных данных модели PML_V2 – E_c , E_s , E_i ;

4. Геопространственная визуализация средних многолетних значений переменных E_c , E_s , E_i за период с 4 июля 2002 г. по 27 декабря 2017 г. (рис. 1);

5. Динамическая визуализация переменных из п.3 (рис. 2).

Результаты расчета по модели PML_V2 для Сайма-Вуоксинского водосбора приведены на рис. 1–2. Из рис.1 видно, что средние многолетние значения транспирации растительности имеют максимальные значения на территории России (республика Карелия), а минимальные – на северо-востоке Сайма-Вуоксинского водосбора. Аналогичное геопространственное распределение видно для испарения осадков, перехваченных растительностью (рис.1b). Максимальное испарение с почвы достигается на северо-востоке Сайма-Вуоксинского бассейна (рис.1c). Средние многолетние годовые изменения эвапотранспирации представлены на рис.2, из которого видно, что испарение с почвы достигает своих максимальных значений в апреле, транспирация растительности имеет выраженные значения в вегетационный период (с апреля по сентябрь), внося основной вклад в эвапотранспирацию. На транспирацию растительности приходится 55-64% от общего испарения в вегетационный период. В то же время испарение осадков, перехваченных растительностью, не имеет ярко выраженного максимума и вносит вклад в общее испарение в течение всего года.

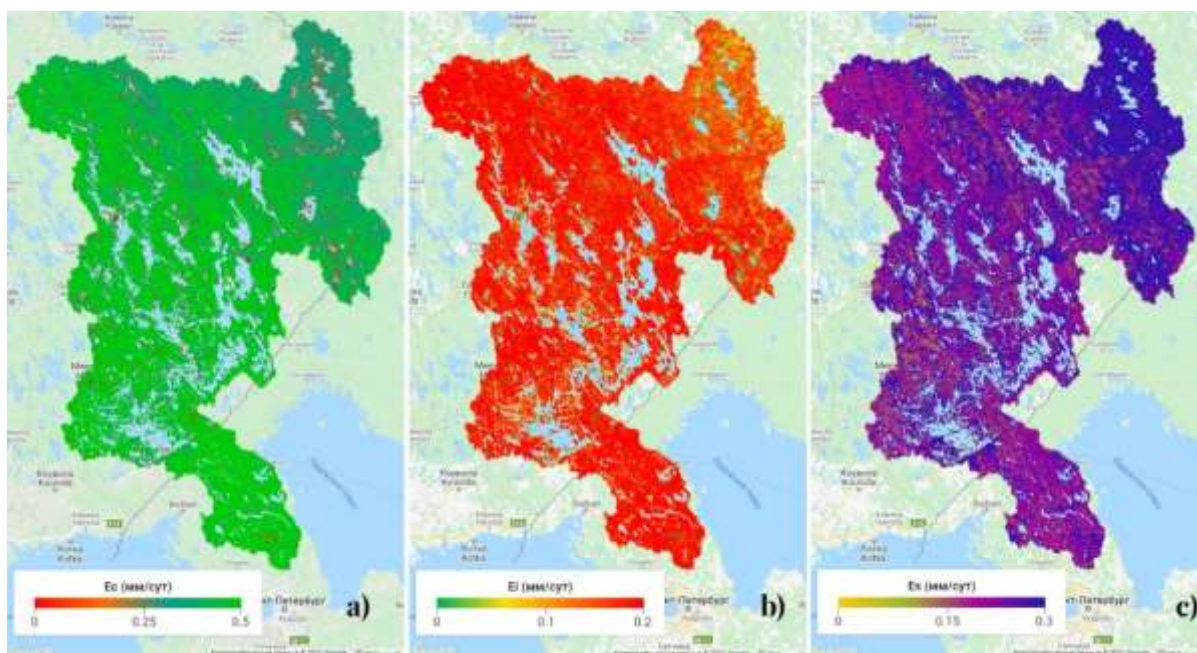


Рисунок 1 – Карты геопространственного распределения средних значений компонент эвапотранспирации на территории Сайма-Вуоксинского бассейна с 4 июля 2002 г. по 27 декабря 2017 г., построенных по модели PML_V2: (a) – транспирация растительности (E_c), (b) – испарение осадков, перехваченных растительностью (E_i), (c) – испарение с почвы (E_s).

Верификация модели PML_V2 для Сайма-Вуоксинского водосбора проводилась на основе годовых гидрологических отчетов Управления окружающей среды Финляндии [15]. Архив отчетов содержит натурные данные по испарению с 2006 по 2013 гг. на станциях 14012 Jyväskylä, Tikkakoski, 04011 Maaninka, Halola, 59011 Suomussalmi, Pesjö Standard, входящих в территорию Сайма-Вуоксинского бассейна, и средние за период 1971–2000 гг. За 2013 г., согласно натурным наблюдениям, суммарное испарение с поддонов класса А за май-сентябрь составило 350-500 мм в южной и центральной Финляндии. В течение большей части лета испарение в этих районах было, как правило, близко или ниже средних сезонных значений, которые составляют 335–520 мм (1971–2000 гг.). Испарение из слоев почвы за 2013 г. в южной Финляндии составляло до 400 мм. В то же время, согласно модели, среднее

многолетнее (с 2002 по 2017 гг.) значение эвапотранспирации за май-сентябрь на всей площади Сайма-Вуоксинского водосбора составило 394 мм. По модельным расчетам за май-сентябрь 2013 г. на исследуемой территории среднее значение эвапотранспирации составило 300 мм, медианное – 327 мм, максимальное – 481 мм. Несколько заниженные данные модели связаны с учетом в ней растительного покрова, классификации почвы и распределенных значений по всему водосбору.

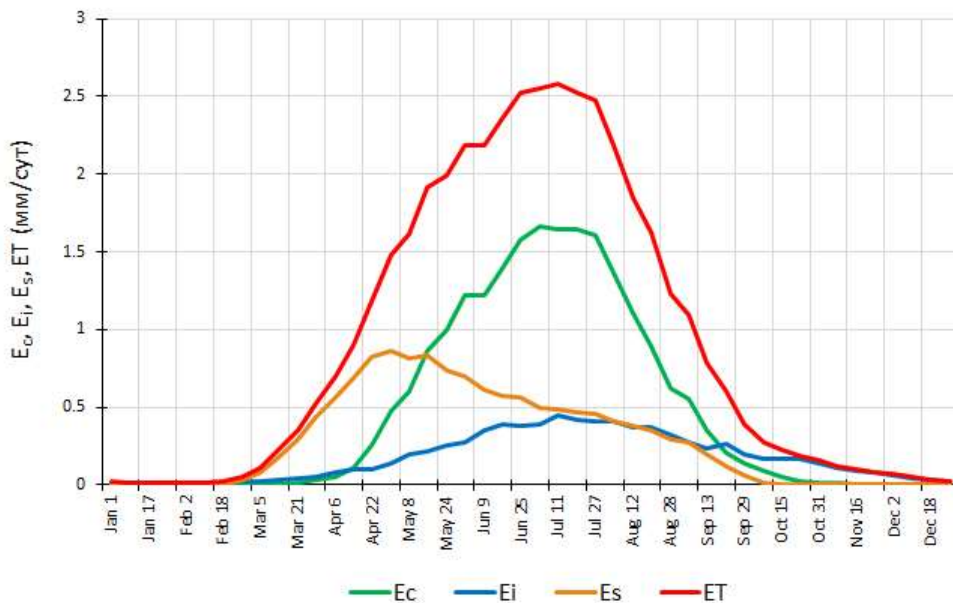


Рисунок 2 – Средние многолетние (2002 – 2017 гг.) годовые изменения транспирация растительности (E_c), (b) – испарение осадков, перехваченных растительностью (E_i), (c) – испарение с почвы (E_s). эвапотранспирации (ET) на территории Сайма-Вуоксинского бассейна, построенных по модели PML_V2

Заключение

В статье проводится расчет эвапотранспирации и её компонент на территории Сайма-Вуоксинского водосбора модели Пенмана-Монтейга-Леунинга за период с 2002 по 2017 гг. Впервые получено разделение компонент эвапотранспирации для исследуемой территории и построены карты их геопространственного распределения. На основе модельных расчетов за 2002-2017 гг. получена годовая динамика эвапотранспирации, транспирации растительности, испарения осадков, перехваченных растительностью и испарения с почвы на всем пространстве Сайма-Вуоксинского водосбора. Показано, что основной вклад в эвапотранспирацию в вегетационный период вносит транспирация с растительности. Данные, полученные по модели, достаточно хорошо согласуются с натурными исследованиями испарения на трех станциях Финляндии в пределах водосбора.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета в рамках темы № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

Список литературы

1. Penman H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass // Proc. R. Soc., London (A). 1948. Vol. 193. P. 120–145.
2. Monteith J. Evaporation and environment // 19th Symposia of the Society for Experimental Biology. 1965. Vol.19. P. 205–234.

3. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 168 с.
4. Штойко Д. А. Нормативы проектирования режимов орошения сельскохозяйственных культур и гидромодуля в условиях интенсивного использования орошаемых земель // Орошаемое земледелие в ЕЧ СССР. М.: Колос. 1965. С. 171–185.
5. Шаров И. А. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М.: Сельхозгиз, 1959. 448 с.
6. Черемисинов А. А., Черемисинов А. Ю. Обзор расчетных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей // Науч. Журн. Рос. НИИ Проблем Мелиорации. 2016. № 1(21). С. 113–133.
7. Leuning R., Zhang Y.Q., Rajaud A., Cleugh H., Tu K. A simple surface conductance model to estimate regional evaporation using MODIS leaf area index and the Penman-Monteith equation // Water Resources Research. – 2008. – 44. – W10419. <http://dx.doi.org/10.1029/2007WR006562>
8. Zhang Y., Kong D., Gan R., Chiew F. H. S., McVicar T. R., Zhang Q., Yang Y. Coupled estimation of 500 m and 8-day resolution global evapotranspiration and gross primary production in 2002–2017 // Remote Sensing of Environment. 2019. Vol. 222. P. 165–182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.031>
9. Gan R., Zhang Y. Q., Shi H., Yang Y. T., Eamus D., Cheng L., Chiew F. H. S., Yu Q. Use of satellite leaf area index estimating evapotranspiration and gross assimilation for Australian ecosystems // Ecohydrology. 2018. Vol. 11. e1974. <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1974>
10. Land Data Assimilation System [Электронный ресурс]. URL: <https://ldas.gsfc.nasa.gov/> дата обращения: 05.05.2021).
11. Forest Resources Assessment Programme // Working Paper 29, Rome 2000 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/forestry/4031-0b6287f13b0c2adb3352c5ded18e491fd.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
12. PML_V2: Coupled Evapotranspiration and Gross Primary Product [Электронный ресурс]. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/CAS_IGSNRR_PML_V2 (дата обращения: 05.05.2021).
13. GitHub [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/gee-hydro/gee_PML (дата обращения: 05.05.2021).
14. Earth Engine API Reference [Электронный ресурс]. URL: https://developers.google.com/earth-engine/api_docs (дата обращения: 05.05.2021).
15. Finland's environmental administration [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ymparisto.fi/en-US> дата обращения: 05.05.2021).

МЕТОДЫ ПОИСКА АНОМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДОЕМОВ

Расулова А.М.¹, Измайлова А.В.¹

Институт озераведения РАН – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (ИНОЗ РАН – СПбФИЦ РАН), г. Санкт-Петербург

E-mail: ARasulova@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена возможности выявления уникальных по своим морфометрическим характеристикам озер с помощью алгоритма машинного обучения «изолированный лес» (Isolation Forest). В качестве выборки озер с их морфометрическими характеристиками и происхождением озерной котловины использовались базы HydroLAKES и WORLDLAKE. Выборка строилась на основе принадлежности озера к трансграничному речному бассейну 4 уровня базы HydroLAKES (система кодирования Pfafstetter). Озера, интерпретированные алгоритмом Isolation Forest, как аномалии, проверялись с помощью экспертной оценки и сверялись с базой WORLDLAKE.

Экспертная оценка показала, что многие аномальные объекты принадлежат особо охраняемым природным территориям или подверглись существенному антропогенному влиянию.

Ключевые слова: поиск аномалий, выбросы, изолированный лес, уникальные озера, особенности озерных экосистем.

METHODS OF SEARCHING FOR ANOMALOUS CHARACTERISTICS OF LAKE ECOSYSTEMS ON THE EXAMPLE OF TRANSBOUNDARY WATER BODIES

Rasulova Anna M., Izmailova A.V.

Institute of limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract. The article is devoted to the possibility of identifying lakes that are unique in their morphometric characteristics using the machine learning algorithm «Isolation Forest» (iForest). The sample of lakes with their morphometric characteristics and origin of the lake basin was taken from the HydroLAKES and WORLDLAKE databases. The sample was based on the fact that the lake belongs to the transboundary river basin of 4th level of the HydroLAKES database (Pfafstetter coding system). The lakes, which were interpreted by the Isolation Forest algorithm as anomalies, were checked using peer review and checked against the WORLDLAKE database. The expert assessment showed that many anomalous objects belong to specially protected natural territories or were subjected to significant anthropogenic influence.

Keywords: search for anomalies, outlier, Isolation Forest, unique lakes, characteristics of ecosystems.

Введение

Любая озерная экосистема характеризуется множеством параметров – морфометрических, гидрохимических, гидробиологических и других. Большинство озер характеризуются сходством этих параметров, тем не менее среди них встречаются и резко выпадающие из общих совокупностей объекты, с уникальными особенностями озерной котловины или показателями среды, а также с редкими видами флоры и фауны и т.п. Некоторые такие лимнологические системы, основываясь на экспертных оценках, вошли в сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Но большая часть остается незамеченными для экспертной оценки, т.к. не существует четких объективных условий отбора уникальных озерных экосистем [1]. В рамках природоохранных мероприятий, прежде всего, следует выявить, какие озера в этом особо нуждаются. В связи с этим становится актуальным поиск математически обоснованных методов идентификации уникальных озер. Математически данная задача сводится к поиску аномальных значений в выборке. В [2–3] рассмотрена возможность применения статистических методов выделения аномальных значений для морфометрических параметров озер вулканического происхождения. Там же для аномальных объектов показана взаимосвязь морфометрических параметров с уникальными гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками. Целью настоящей работы является проверка возможности применения метода машинного обучения «изолированный лес» (от англ. Isolation Forest или iForest) для выявления аномальных морфометрических значений озер трансграничных бассейнов, принадлежащим разным физико-географическим странам.

Описание объектов исследования

Для выделения групп озерных экосистем использовалась база данных HydroBASINS [4]. Она представляет собой многослойную карту, содержащую границы водоразделов и полигоны бассейнов рек различной иерархической вложенности (12 уровней). Границы водоразделов в базе строились на основе цифровой модели рельефа с разрешением 15 угловых секунд. Первый уровень иерархии представляет собой континенты (1-Африка; 2-Европа; 3-Сибирь; 4-Азия; 5-Австралия; 6-Южная Америка; 7-Северная Америка; 8-Арктика Северной Америки; 9-Гренландия), второй - физико-географические страны, третий - крупнейшие речные бассейны. Начиная с 4-го уровня применяется выделение речных бассейнов на основе цифровой модели рельефа. Последующие уровни получают путем деления бассейна верхнего уровня на 9 меньших

единиц, 4 из которых являются основными притоками. Поскольку выше 60° широты точность цифровой модели рельефа падает, то выделение трансграничных водосборов основывалось на 4-м уровне базы данных HydroBASINS. Результат выделения трансграничных водосборов приведен на рис. 1.



Рисунок 1 – Карта трансграничных водосборов, полученная на основе базы HydroBASINS (Level 4)

На полигоны, представленные на рис. 1, наложена карта озерности базы данных HydroLAKE [5]. На трансграничные бассейны рек приходится 72 877 озерных экосистем с площадью зеркала больше 0,1 км². Для дальнейших расчетов из базы HydroLAKE были взяты следующие морфометрические характеристики: площадь зеркала озера (S , км²), длина береговой линии (ℓ , км), коэффициент изрезанности береговой линии озера, представляющий собой отношение длины береговой линии к длине окружности круга той же площади ($ShLD$), объем озера (V , км³), средняя глубина (H_{avg} , м), высота озера над уровнем моря (Z_{asl} , м), площадь водосбора (C , км²).

Озера одного генетического типа обладают, в большинстве своем, схожими морфометрическими параметрами. В пределах одной физико-географической страны, характеризующейся геологическим единством, обычно встречаются озера нескольких генетических типов с преобладанием какого-либо конкретного. Поэтому озера из получившейся выборки были сгруппированы с учетом физико-географического районирования, представленного в работе [6]. С учетом физико-географических стран, выборка озер была разбита на 11 кластеров, представленных в табл.1.

Алгоритм Isolation Forest

Идея алгоритма iForest предложена в 2008 г. Ф. Лю, К.М. Тингом и Ч-Х. Чжоу. [7] и основывается на методе Монте-Карло. Принцип работы алгоритма iForest заключается в рекурсивном разбиении многомерного пространства признаков случайным образом, что реализуется с помощью построения ансамбля бинарных решающих деревьев (iTree). Дерево решения представляет собой связанный ациклический граф, т.е. в нем не должно быть циклов, и две его любые вершины можно соединить единственной простой цепью. Рекурсивное разбиение дерева решений происходит до тех пор, пока не получатся множество с экземплярами одного класса. Поиск аномалии основан на предположении, что она изолируется меньшим количеством итераций, чем нормальный экземпляр, т.е. алгоритм iForest признает аномалией вершины графа (листья) имеющие наиболее короткий средний путь от корня дерева.

Таблица 1 – Распределение аномальных значений морфометрических характеристик озер по физико-географическим странам

Принадлежность озера к физико-географической стране	Кол-во озер	Аномалии	% аномалий
озера Алтайско-Саянской горной страны	2866	70	2.44%
озера Восточно-Европейской равнины	10358	321	3.10%
озера Западно-Сибирской равнины	25881	1022	3.95%
озера Казахского мелкосопочника	2930	90	3.07%
озера Приамурско-Корейской страны	4481	116	2.59%
озера Байкальской горной страны	688	20	2.91%
озера Прикаспийско-Туранской страны	4683	135	2.88%
озера Центрально-Азиатской страны	1658	25	1.51%
озера Уральско-Новоземельской горной страны	602	21	3.49%
озера Фенноскандии	18343	669	3.65%
озера Среднесибирского плоскогорья	301	10	3.32%

Для каждого экземпляра рассчитывалась оценка аномалий:

$$\eta(x, n) = 2 \cdot \frac{-E(h(x))}{c(n)}$$

где x – экземпляр, $h(x)$ – количество ребер дерева решений, n – размер данных, $c(n)$ – нормализующая константа, $E(h(x))$ – среднее значение количества ребер из ансамбля изолирующих деревьев. В данной работе экземпляр признавался аномальным при $\eta > 0,6$. При обработке массивов данных максимальное количество предполагаемых аномальных экземпляров ограничивали 1024, размер леса ограничивался 256 деревьями решений.

На аномалии оценивались такие морфометрические характеристики как: S (км²), ℓ (км), $ShLD$, V (км³), H_{avg} (м), Z_{asl} (м), C (км²). Дополнительно для оценки аномалий были рассчитаны:

- безразмерная средняя глубина $H_{avg}^* = \frac{H_{avg}}{H_{avgB}}$, где $H_{avgB} = 170$ м – средняя глубина оз. Байкал;

- безразмерная площадь озера $S^* = \frac{S}{S_{KS}}$, где $S_{KS} = 3.86 \cdot 10^5$ км² – площадь Каспийского моря;

- безразмерный объем озера $V^* = \frac{V}{V_{KS}}$, где $V_{KS} = 7.87 \cdot 10^5$ км³ – объем Каспийского моря;

- показатель открытости, равный отношению площади к средней глубине $\frac{S}{H_{avg}}$;

- коэффициент «глубинности» озера $\alpha = \frac{H_{avg}}{S^{1/3}}$;

- удельный водосбор озера $dC = \frac{C}{S}$.

Результаты и заключение

Экспертная оценка аномальных значений, полученных на основе алгоритма iForest, показала, что на аномалии приходится от 1.51 до 3.95% общего количества озер конкретной физико-географической страны (табл. 1). При этом алгоритм четко

определяет водохранилища, водные объекты полностью искусственного происхождения и озера-старицы.

Среди аномальных значений часто встречаются особо охраняемые природные объекты (ООПТ). Для некоторых физико-географических стран (Байкальской горной страны) на озера, находящиеся на территории ООПТ (или сами являющимися ООПТ, гидрологического значения), приходится до 80% от всех аномальных экземпляров. В среднем на объекты ООПТ приходится порядка 30% от количества выявленных аномалий. Представляется, что процент озер, входящих в ООПТ от всех аномальных значений, может быть выше при наличии исходных данных на территориях Внутренней Монголии (КНР), Финляндии и Норвегии об ООПТ местного уровня.

Алгоритм iForest показал также хорошую способность детектировать аномалии озер, подвергшихся сильному антропогенному воздействию. Например, среди озер Восточно-Европейской равнины были выделены оз. Лукомское (Беларусь), оз. Старое (Крымский полуостров) и отстойник-кислотонакопитель завода «Титан» в заливе Сиваш (Крымский полуостров). Оз. Лукомское представляет собой водоем подпрудного типа, который служит охладителем тепловой электростанции Лукомской ГРЭС. Превышение ПДК по содержанию NH_4^+ в озере составляет 2-2.5 раза, концентрации сульфатов и хлоридов – 16,73 мг/дм³ и 17,7 мг/дм³, соответственно. На оз. Старое выстроена ограждающая дамба шлаконакопителя ПАО «Бром», который занимается производством бромида кальция и бромида натрия.

Таким образом, алгоритм iForest предоставляет возможность его применения для поиска аномальных значений среди морфометрических параметров озер, находящихся в трансграничных бассейнах крупных рек и озер. Показано, что среди аномальных значений много озер, входящих в ООПТ, искусственных водных объектов и природных водных объектов, подвергшихся сильному антропогенному воздействию. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 20-05-00303\20 «Выявление критериев уникальности озёрных экосистем».

Список литературы

1. Поздняков Ш.Р., Измайлова А.В., Расулова А.М. Уникальные озёра как объект научного интереса // Изв. РГО. 2020. Т. 152. №3. С. 17–31.
2. Измайлова А.В., Расулова А.М. Возможности применения математического аппарата при анализе озер на предмет уникальности // Геология, геоэкология, эволюционная география: [Коллективная монография] Т. XIX. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С.263-266
3. Измайлова А.В., Расулова А.М., Шмакова В.Ю. Выделение озер, обладающих уникальными свойствами, статистическими методами // Гидрометеорология и экология. 2021. № 62. С. 27-51.
4. Lehner B., Grill G. Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems // Hydrological Processes. 2013. 27(15). P. 2171–2186. Data is available at www.hydrosheds.org.
5. Messenger M.L., Lehner B., Grill G., Nedeva I., Schmitt O. Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach // Nature Communications. 2016. 13603. doi: 10.1038/ncomms13603
6. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Ландшафты. М.: Мысль, 1989. 504 с.
7. Liu F. T., Ting K. M., Zhou Z.H. Isolation Forest // Data Mining, 2008. ICDM'08. Eighth IEEE International Conference on. IEEE, 2008. С. 413-422.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ И СОСТОЯНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА РЕКИ СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ (В ПРЕДЕЛАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Решетняк О.С.^{1,2}

¹ ФГБУ «Гидрохимический институт» Росгидромета, г. Ростов-на-Дону

² Институт наук о Земле ЮФУ, г. Ростов-на-Дону

E-mail: olgarel@mail.ru

Аннотация: Представлены многолетние данные по изменчивости химического состава и качества воды на различных участках р. Северский Донец (в пределах Ростовской области). Показано, что качество воды по гидрохимическим показателям на исследуемых участках соответствует 3-4 классам качества («очень загрязненная» и/или «грязная» вода). Динамика развития фитопланктона р. Северский Донец характеризуется высокой внутри- и межгодовой изменчивостью. Уровень загрязненности речных вод по индексу сапробности соответствует категории «умеренно загрязненные». Эффект антропогенного воздействия и отклик фитопланктона на внешнее воздействие проявляется в усилении процесса эвтрофирования на устьевом участке реки.

Ключевые слова: Северский Донец, химический состав, качество воды, фитопланктон, эвтрофирование.

SPATIAL-TIME VARIABILITY OF WATER QUALITY AND THE PHYTOPLANKTON STATE IN THE SEVERCKY DONETS RIVER (WITHIN THE ROSTOV REGION)

Reshetnyak O.S.^{1,2}

¹ FSBI "Hydrochemical Institute" of Roshydromet, Rostov-on-Don

² Institute of Earth Sciences SFedU, Rostov-on-Don

E-mail: olgarel@mail.ru

Abstract: Long-term data on the variability of the chemical composition and quality of water in different parts of the Seversky Donets River (within the Rostov region) are presented. It is shown that the quality of water in terms of hydrochemical indicators in the areas studied corresponds to 3-4 quality classes ("very polluted" and / or "dirty" water). The dynamics of phytoplankton development in the Seversky Donets River is characterized by high intra- and interannual variability. The level of river water pollution according to the saprobity index corresponds to the category "moderately polluted". The effect of anthropogenic impact and the response of phytoplankton to external impact is manifested in the intensification of the eutrophication process at the river mouth.

Key words: Seversky Donets, chemical composition, water quality, phytoplankton, eutrophication

Введение

Северский Донец – крупный приток р. Дон, интенсивно используется в хозяйстве, является трансграничным водным объектом. Водосбор реки загрязняется сточными водами промышленных предприятий черной и цветной металлургии, шахтными водами, а также хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками. Основные экологические проблемы в бассейне реки хорошо известны: ухудшение качества поверхностных и подземных вод (в ряде случаев до уровня, делающих их непригодными для хозяйственно-питьевого, а иногда и технического водоснабжения), и уменьшение водности реки при ограниченности водных ресурсов и безвозвратном изъятии водного стока в регионе (до 20 % стока). Последствиями высокой антропогенной нагрузки являются также изменчивость состояния гидробиоценозов, проявляющаяся в снижении видового разнообразия, выходе на доминирующее положение отдельных видов водных организмов, чаще всего, представителей загрязненных вод, и «цветении» воды, вследствие усиления процессов эвтрофирования речной экосистемы [1-4].

По данным режимных наблюдений Росгидромета, осуществляемых в рамках выполнения комплекса работ по оценке загрязнения трансграничных участков рек, вода в бассейне р. Северский Донец оценивается как «загрязненная» и «грязная» [2]. Качество воды определяется не только большим объемом водоотведения предприятий и высокой долей загрязненных вод в общем объеме сброса, но и диффузными источниками загрязнения, среди которых основную роль играет сельское хозяйство.

Цель исследования – рассмотреть пространственно-временную изменчивость качества воды и уровня развития фитопланктонных сообществ р. Северский Донец с целью оценить эффект антропогенного воздействия и отклик гидробионтов.

Химический состав и качество воды р. Северский Донец

Река Северский Донец принимает воды средних и малых рек Ростовской области (Кундрючья, Большой Несветай, Калитва и др.), подверженных влиянию объектов угольной промышленности. Основным источником загрязнения в бассейне являются высокоминерализованные шахтные воды (от 3,6 г/дм³ до 61,6 г/дм³) с аномально высоким содержанием сульфатов, соединений железа и марганца (до десятков ПДК), магния, алюминия, меди, стронция и других микроэлементов [5, 6]. Все эти опасные вещества попадают в реки и значительно ухудшают их экологическое состояние.

Одним из последствий влияния техногенных шахтных вод на речные воды бассейна р. Северский Донец является засоление малых рек, которое вызвано увеличением минерализации речной воды и концентрации солеобразующих компонентов, в первую очередь, сульфатов, ионов Na⁺ и Mg²⁺ [5,6]. Приоритетными загрязняющими веществами для данной территории являются соединения тяжелых металлов и алюминий, повторяемость превышений ПДК, по которым в воде малых рек бассейна р. Северский Донец превышает 50%. Соединения Fe, Al, Mn и Sr присутствуют в речной воде в достаточно высоких концентрациях, нередко достигающих высокого (10-50 ПДК), а иногда и экстремально высокого уровня загрязнения воды (более 50 ПДК) [5, 6]. Для рек бассейна, в целом, загрязнение соединениями тяжелых металлов представляет наибольшую опасность, т.к. носит устойчивый характер.

Основные тенденции в изменчивости химического состава воды р. Северский Донец (в пределах Ростовской области) проявляются в эпизодическом снижении содержания растворенного в воде кислорода до значений менее 5 мг/дм³ (хут. Поповка, на границе с Украиной) [2]; накоплении биогенных элементов на всех участках реки – азота нитритного (до 7-10 ПДК) и фосфора фосфатного (до 20-25 ПДК)). Вниз по течению реки, за счет разбавления происходит снижение концентраций нитратов, соединений тяжелых металлов и нефтепродуктов, а также трансформация ионного состава за счет увеличения доли сульфатов и ионов магния в речных водах [2]:

Качество воды по гидрохимическим показателям на исследуемых участках р. Северский Донец соответствует 3 «Б» и/или 4 «А» классам качества («очень загрязненная» и/или «грязная» вода) (табл. 1). Наблюдается тенденция ухудшения качества воды и стабилизация степени загрязненности речных вод на уровне категории 4 «А» («грязная» водная среда). Это обусловлено, в первую очередь, высокими концентрациями сульфатов, азота нитритного, соединений меди и железа.

Ранее, на основе анализа многолетней гидробиологической информации, было показано, что характерной особенностью развития фитопланктона р. Северский Донец является высокая внутри- и межгодовая изменчивость его развития, что говорит о неустойчивом состоянии сообщества. В периоды максимального развития фитопланктона на доминирующее положение выходят α -сапробные диатомовые водоросли [4].

Таблица 1 – Пространственно-временная изменчивость степени загрязненности воды р. Северский Донец (в пределах Ростовской области)

Пункт наблюдений	Показатель	2000-2004	2005-2009	2010-2014
хут. Поповка	класс качества воды	3 «Б» (очень загрязненная)	4 «А» (грязная)	4 «А» (грязная)
	приоритетные ЗВ*	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Cu	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Fe, фенолы	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Fe, фенолы
г. Каменск-Шахтинский	класс качества воды	4 «А» (грязная) – 3 «Б» (очень загрязненная)	3 «Б» (очень загрязненная) – 4 «А» (грязная)	4 «А» (грязная)
	приоритетные ЗВ	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Cu, Fe	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Cu, Fe	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Fe
г. Белая Калитва	класс качества воды	4 «А» (грязная) – 3 «Б» (очень загрязненная)	3 «Б» (очень загрязненная) – 4 «А» (грязная)	4 «А» (грязная)
	приоритетные ЗВ	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Cu, Fe, нефтепродукты	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Cu, Fe	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Cu, Fe
р.п. Усть-Донецкий	класс качества воды	3 «Б» (очень загрязненная)	3 «Б» (очень загрязненная) – 4 «А» (грязная)	4 «А» (грязная)
	приоритетные ЗВ	SO ₄ ²⁻ , Cu, Fe	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Cu, Fe	SO ₄ ²⁻ , N(NO ₂ ⁻), Fe

Примечание:* Приоритетные ЗВ – загрязняющие вещества, содержание которых превышает ПДК по среднегодовым значениям практически ежегодно.

Уровень развития сообщества значительно варьирует по длине водотока. Так, диапазон значений общей численности фитопланктона изменялся от 0,08-12,5 тыс. кл/см³ в пункте наблюдения у хут. Поповка до 0,31-31,8 тыс. кл/см³ – в устье реки (р.п. Усть-Донецкий). В составе фитопланктона р. Северский Донец на изучаемых участках обнаружено от 10 до 39 видов и разновидностей водорослей (табл. 2).

Таблица 2 — Изменчивость показателей развития фитопланктона р. Северский Донец (2002-2011 гг.)

Пункт наблюдений	Показатель развития		
	общая численность, тыс. кл./см ³	число видов	доминирующий вид в период максимального развития (относительная численность)
хут. Поповка	0,08-12,5 (2010)*	12-39 (2009, 2011)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (6-16 %) <i>Melosira islandica s. helvetica</i> (15- 23 %) <i>Melosira granulata</i> (27 %)
г. Каменск-Шахтинский	0,21-14,5 (2004)	15-31 (2002)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (11-18 %) <i>Melosira islandica s. helvetica</i> (10-31 %)
г. Белая Калитва	0,07-22,5 (2005)	10-36 (2011)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (61-65 %) <i>Melosira islandica s. helvetica</i> (69-91 %) <i>Melosira granulata</i> (43-67 %)
р.п. Усть-Донецкий (устье)	0,31-31,8 (2008)	12-36 (2011)	<i>Melosira islandica s. helvetica</i> (20-89 %) <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (17-44 %)

Примечание: *в скобках приведен год, в который зафиксировано максимальное значение показателя.

Как было показано ранее [4], за период с 2000 по 2011 гг. (далее гидробиологические наблюдения стали крайне нерегулярными) состав доминирующего комплекса существенно не менялся, и основу фитопланктона составляли диатомовые и зеленые водоросли. При этом фиксируемые максимальные значения общей численности сообщества (12,5-31,8 тыс.кл./см³) были связаны с массовым развитием весной α -сапробной диатомовой водоросли *Stephanodiscus hantzschii* (с относительной численностью в мае-июне 44-65 %) и β -сапробной диатомовой водоросли *Melosira islandica s.helvetica* (с относительной численностью в мае и июле 69-91 %).

На границе с Украиной, в пункте наблюдений хут. Поповка доминирующий комплекс фитопланктона составляли диатомовые водоросли, число видов менялось в пределах 12-39. Уровень загрязненности воды на данном участке Северского Донца по индексу сапробности (2,03-2,56) соответствует категории «умеренно загрязненная». При этом экологическая ситуация существенно не менялась и состояние фитопланктона соответствовало модификации «антропогенное экологическое напряжение» [4].

На участке реки от г. Каменск-Шахтинский до г. Белая Калитва в составе фитопланктона чаще всего доминировали диатомовые и зеленые водоросли с тенденцией выхода на доминирующее положение зеленых водорослей в 2009-2011 гг. В сезонной изменчивости отмечено преобладание зеленых водорослей весной и летом, а диатомовых – осенью. На данном участке реки число видов фитопланктона варьировало в пределах 10-36. Уровень загрязненности воды Северского Донца по индексу сапробности (2,05-2,56) здесь также соответствует категории «умеренно загрязненная», и фитопланктон функционирует в состоянии «антропогенного экологического напряжения» [4].

Ниже по течению р. Северский Донец, в створе выше устья у р.п. Усть-Донецкий в составе фитопланктона доминировали зеленые или диатомовые водоросли. За исследуемый период происходила смена видового состава доминирующего комплекса. Так, в период с 2000 по 2005 гг., преобладали диатомовые водоросли, которые в период с 2006 по 2008 гг. сменили зеленые, а в последние годы диатомовые и зеленые водоросли являлись содоминантами [4]. На устьевом участке р. Северский Донец индекс сапробности варьировал от 2,01 до 2,18, что соответствует III классу и позволяет оценить качество воды как «умеренно загрязненные» и состояние сообщества фитопланктона также характеризуется как «антропогенное экологическое напряжение» [4].

Значительная техногенная, сельскохозяйственная (биогенная) и демографическая нагрузки на водосборе реки и усиление антропогенного воздействия на экосистему реки могут приводить к изменениям в развитии сообществ водных организмов, что может проявляться как в сторону развития процессов эвтрофирования, так и в сторону усиления процессов экологического регресса [3, 4].

Статистический анализ многолетних данных об уровне развития фитопланктона позволяет оценить тенденцию развития сообщества. Для фитопланктона р. Северский Донец эффект антропогенного воздействия проявляется в формировании состояния «антропогенное напряжение с элементами экологического регресса» на протяжении реки от хут. Поповка до г. Белая Калитва и в усилении эвтрофирования на устьевом участке, где состояние экосистемы характеризуется как «антропогенное напряжение с элементами эвтрофирования» [4].

Заключение

Одной из важных задач в области рационального природопользования и охраны водных ресурсов является исследование экологической обстановки на водосборах трансграничных рек, что является чрезвычайно важным, с точки зрения устойчивого развития соседних регионов и обеспечения экологической безопасности. Экологическое состояние водосборной территории Северского Донца остается

напряженным за счет высокой антропогенной и демографической нагрузок, что может привести к нарушению экологического равновесия в водных экосистемах.

По гидрохимическим показателям качество воды на различных участках р. Северский Донец (в пределах Ростовской области) соответствует 3-4 классам качества («очень загрязненная» и/или «грязная»). Приоритетными загрязняющими веществами являются сульфаты, азот нитритный и соединения тяжелых металлов.

Динамика развития фитопланктона р. Северский Донец характеризуется высокой внутри- и межгодовой изменчивостью. В составе сообщества фиксировалось от 10 до 39 видов, основу доминирующего комплекса составляли диатомовые и зеленые водоросли. Воды реки в пределах Ростовской области оцениваются по гидробиологическим показателям как «умеренно загрязненные». Экологическая ситуация существенно не менялась на протяжении всего периода исследований. Водные экосистемы по уровню развития фитопланктона находятся в состоянии «антропогенного экологического напряжения». Эффект антропогенного воздействия на различных участках р. Северский Донец проявляется в том, что речные экосистемы находятся в состоянии «антропогенного напряжения с элементами экологического регресса», а на устьевом участке – «с элементами эвтрофирования».

Таким образом, необходимы регулярные наблюдения за изменением качества воды (в условиях его тенденции незначительного ухудшения) и состоянием гидробиоценозов для оперативного реагирования в случае ухудшения экологической ситуации и разработки научно обоснованных рекомендаций по её улучшению. Управление водными ресурсами и качеством воды трансграничной р. Северский Донец должно носить комплексный характер, сохраняя ключевые экономические показатели хозяйственной деятельности на водосборной территории и учитывая возможные глобальные климатические изменения и снижение водности рек в регионе.

Список литературы

1. Водная экосистема Нижнего Дона: многолетние изменения качества воды / Под. ред. чл.-кор. РАН А. М. Никанорова, д-ра биол. наук Т. А. Хоружей, канд.хим. наук Л. И. Мининой. СПб.: Гидрометеиздат, 2006. 307 с.
2. Решетняк О. С., Лаврищев А. С. Оценка изменчивости экологического состояния реки Северский Донец (в пределах Ростовской области) // Эколого-биологические проблемы вод и биоресурсов; пути решения: Сб. науч. тр. заоч. Всерос. конф. с междунар. участием, Ульяновск, 2012. С. 109-111.
3. Васта Ахмед Х.А., Решетняк О.С., Закруткин В.Е. Комплексная оценка современного состояния речных экосистем в бассейне Северского Донца (в пределах Ростовской области) // Известия высш. учеб. завед. Сев.-Кавк. регион. Сер.: Естеств. науки. 2019. № 2 (202). С. 47-54.
4. Решетняк О.С. Пространственно-временная изменчивость состояния фитопланктона реки Северский Донец // Живые и биокосные системы. 2013. № 4. С. 18.
5. Закруткин В.Е., Иваник В.М., Гибков Е.В., Скляров В.В. Оценка влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса на гидрохимический состав воды малых рек бассейнов Северского Донца // Извю ВУЗов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки, 2010. № 3. С.84-87.
6. Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Бакаева Е.Н., Решетняк О.С. и др. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 172 с.
7. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. - СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
8. Никаноров А. М., Брызгалов В. А. Пресноводные экосистемы в импактных районах России. - Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2006. 275 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ТРАНСГРАНИЧНОГО РЕЧНОГО СТОКА С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ ИХ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Румянцева Э. А., Бобровицкая Н. Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный гидрологический институт», Россия, Санкт Петербург
bobrovi@ggi.nw.ru

Аннотация. На восемнадцати трансграничных реках России показано, что при использовании факторного анализа состав главных факторов (72% дисперсии) выражен через пространственную изменчивость долей объёмов речного стока воды, загрязнённой единичными компонентами (характеристика качества стока 1). По численным значениям этих факторов реки разделились в соответствии с физико-географическими регионами, в пространстве которых сгруппировались по принадлежности к водной системе, в соответствии со средними расходами воды, площадями водосборов и величиной модуля стока. По частичным объёмам стока воды, загрязнённой **совокупностью** химических веществ (характеристика 2), произведена оценка загрязнённости стока воды по классам и разрядам, в соответствии с РД 52.24.643-2002. Показано, что сток грязной и очень грязной воды четвертого класса разрядов «а», «б» и «в» поступает только в сторону России из сопредельных государств Украины и Казахстана. Изучение пространственной и межгодовой изменчивости характеристик качества речного стока показало, что она в наибольшей степени зависит от изменчивости расходов воды и соответственно природных и антропогенных факторов, влияющих на них.

Ключевые слова: автоматизированный программный комплекс; режимные наблюдения; загрязнённый сток; факторный анализ; характеристики качества стока

AUTOMATED CALCULATION OF THE QUALITY CHARACTERISTICS OF THE TRANSBOUNDARY RIVER RUNOFF WITH THE PURPOSE OF STUDYING THEIR VARIABILITY

E.A. Romyantseva, N.N. Bobrovitskaya

Federal State Budgetary Institution "State Hydrological Institute", Russia, St. Petersburg,
bobrovi@ggi.nw.ru

Abstract. On eighteen trans boundary rivers of Russia, it is shown that when using factor analysis, the composition of the main factors (72% of the variance) is expressed through the spatial variability of the shares of river runoff volumes of water polluted by single components (characteristic of runoff quality 1). According to the numerical values of these factors, the rivers were divided into physical-geographical regions, in which they are grouped according to their belonging to the water system, taking into account the average water discharge, catchment areas and the magnitude of the runoff modulus. Partial volumes of water runoff contaminated with a combination of chemicals (characteristic 2) were used to assess the water runoff contamination by classes and categories in accordance with GD 52.24.643-2002. It is shown that the runoff of dirty and very dirty water of the fourth class of categories "a", "b" and "c" comes only towards Russia from the neighboring states of Ukraine and Kazakhstan. The study of the spatial and inter annual variability of the characteristics of the river runoff quality has shown that it depends to the greatest extent on the variability of water discharge and, accordingly, the natural and anthropogenic factors affecting them.

Key words: automated software complex; regime observations; contaminated runoff; factor analysis; runoff quality characteristics

В условиях изменяющейся антропогенной нагрузки на водные объекты и изменения климата необходимы новые автоматизированные характеристики качества стока воды. Разработка таких характеристик особенно актуальна при ухудшении качества трансграничного стока в сторону России.

В данной работе использованы две характеристики качества стока, разработанные в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»). Во-первых, это доли объёма стока воды, загрязненной единичным компонентом ($V_{\text{заг}}$, %). [1, 2]. Во-вторых, это относительные величины частичных объёмов ($V_{\text{заг}}$ %) стока воды, загрязнённой совокупностью химических компонентов, оценённые по классам и разрядам, в соответствии с РД 52.24.643-2002 [3, 4]. Расчёты обеих характеристик проведены с помощью автоматизированного программного комплекса (АПК), разработанного в ФГБУ «ГГИ» [5] по гидрологическим и гидрохимическим данным режимных наблюдений ряда Управлений гидрометеорологической службы (УГМС) Росгидромета для 18 трансграничных рек (табл. 1) за период с 1993 по 2013 гг. [6].

Таблица 1 - Действующие гидрологические и гидрохимические трансграничные посты Росгидромета на трансграничных реках России

Трансграничные реки	Пункт гидрологического поста	Код гидрологического поста	Пункт гидрохимического поста	Пограничное государство
Западная Двина	г. Велиж	73110	г. Велиж	Беларусь
Днепр	г. Смоленск	79011	г. Смоленск	
Сож	д. Ускосы	79244	п.т.г. Хиславичи	
Ипать	с. Ущерпье	79324	д. Добродеевка	
Десна	г. Брянск	80118	п. Белая Березка	Украина
Судость	г. Погар	80172	г. Погар	
Сейм	г. Рыльск	80204	р.п. Тёткино	
Оскол	сл. Ниновка	78393	п.г.т. Волоконовка	
Ворскла	с. Козинка	80442	с. Козинка	
Псёл	г. Обоянь	80405	г. Обоянь	
Северский Донец	с. Кружиловка	78326	х. Поповка	Казахстан
Миус	с. Куйбышево	83061	с. Куйбышево	
Малый Узень	с. Малый Узень	19008	с. Малый Узень	
Большой Узень	г. Новоузенск	19016	г. Новоузенск	
Илек	п. Весёлый	19197	п. Весёлый	
Тобол	с. Звериноголовское	12010	с. Звериноголовское	
Уй	с. Усть-Уйское	12631	с. Усть-Уйское	
Иртыш	с. Татарка	11634	В черте с. Татарка	

Для рассмотрения с помощью факторного анализа пространственной изменчивости качество стока в ряду восемнадцати рек использованы **характеристики $V_{\text{заг}}$, % для двенадцати единичных компонентов**, обобщённые за весь период наблюдений (далее переменные) (табл. 2). Мерой сходства между сравниваемыми реками явилась корреляционная матрица, которая обрабатывалась по методу главных компонент, в результате чего была получена матрица главных факторов. В ряду восемнадцати рек фактор 1 составил более 60%, а фактор 2 – более 12% суммарной дисперсии. Они выражены через объёмы стока воды, загрязнённой единичными компонентами, имеющими в факторном пространстве высокие факторные нагрузки.

Таблица 2 – Относительные объёмы годового стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами, усреднённые за 1993 - 2013 гг.

Реки	V _{заг.} -%											
	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Нефте-продукты	Фено-лы	СПАВ	P _{мин}	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	Cu ²⁺	БПК ₅	ХПК	Fe _{общ.}
Западная Двина	0,4	0	19,2	41,3	18,5	3,2	13,9	13,3	75,3	51,3	87	97,8
Днепр	0,5	0	24,3	45,7	27,5	1,6	20	39,1	84,8	79,2	89,2	96,6
Сож	4	0	18,8	18,4	0	0	5,1	6,3	74,1	51,9	91	91
Ипуть	0	0	0	0	0	0,4	60,5	15,7	0	83,9	93,5	99,7
Судость	0	0	0	-	0	9,1	58	46,1	0,8	96,7	99,6	99,4
Десна	0	0	0	0	0	1,8	55,4	27,9	-	80,2	94	98,1
Сейм	0	0	55,1	0,3	4,2	26,5	26,5	60,9	76,6	49,5	68,6	48,7
Псел	0,7	2,6	70,2	0	7,2	22,3	42	77,2	99	68,2	91,6	26,4
Ворскла	1	21,4	52,8	25	0,7	38,7	56,8	39,6	39,2	71,5	35,1	49
Оскол	0	9,1	56	36,9	0	25,7	31,6	78,4	47,9	62,2	35,1	31,1
Северский Донец	76,9	100	74,1	14,1	0	22	21,6	100	59,3	71,2	96,4	82
Миус	97,4	100	79,5	57,7	0	12,6	17,1	59,9	81,3	85,4	95,4	84,6
Большой Узень	26,1	15,2	17,9	31,1	2,5	6,8	39,9	54,1	52	37,1	99,4	61,7
Малый Узень -	14,7	13,3	20,2	35,8	2,5	8,1	36,2	49,9	57	24,6	99,2	47,5
Илек	5,2	49,2	36,9	0	0	9,4	45,8	94,4	64,2	100	100	37,6
Иртыш	0	0,1	60,6	56,2	1,9	0,1	28,4	9,8	98,1	46,4	60,4	69,5
Тобол	28,6	90,5	66,3	31,6	3,8	-	59,7	24,4	99,4	-	91,3	92,1
Уй	19,4	80	75,3	32,4	0,2	-	26	32,2	99,7	-	91,4	93,7

По численным значениям первых двух факторов было произведено группирование трансграничных пунктов рек, в результате чего реки разделились по регионам, климат которых формируется под воздействием комплекса разных физико-химических условий: солнечной радиации, циркуляции атмосферы и подстилающей поверхности (рис. 1).

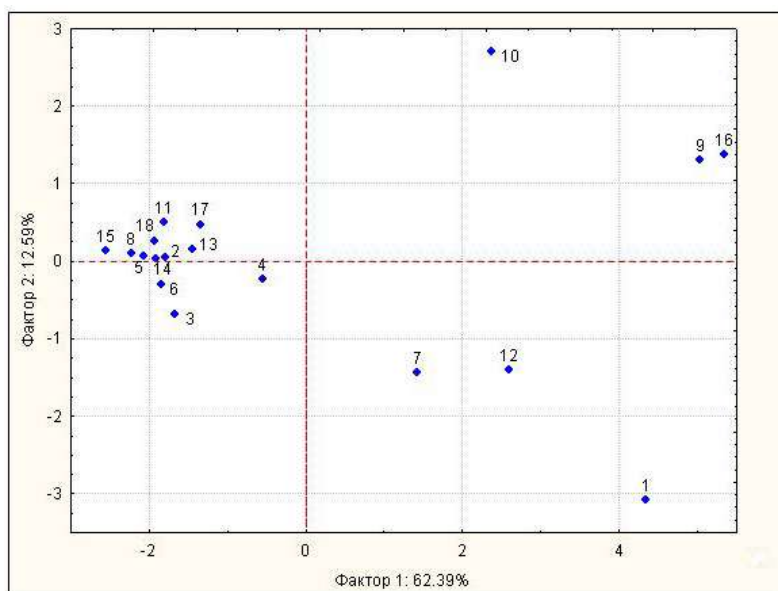


Рисунок 1– Проекция случаев (трансграничных пунктов рек) в координатах главных факторов, определяющих варьирование величин V_{заг.}% для единичных химических компонентов в ряду восемнадцати трансграничных рек. Номера рек (рис.1): 1 – Иртыш, 2 – Ипуть, 3 – Западная Двина, 4 – Северский Донец, 5 – Днепр, 6 – Десна, 7 – Тобол, 8 – Сейм, 9 – Б. Узень, 10 – Илек, 11 – Оскол, 12 – Уй, 13 – Сож, 14 – Судость, 15 – Миус, 16 – М. Узень, 17 – Ворскла, 18 – Псел.

В правой части графика расположены проекции пунктов рек, трансграничных с Казахстаном, слева – трансграничных с Беларусией и Украиной. В то время как, точки с номерами последних на графике образуют довольно плотное облако, реки, трансграничные с Казахстаном разделились на четыре группы.

Таблица 3 – Средние за 1993-2013 гг. расходы воды, модули стока и площади водосборов в группах рек трансграничных с Казахстаном

Группы	№ на графике	Реки	Гидрологические пункты наблюдений	$Q_{ср.}$, м ³ /с	Площадь водосбора в пункте наблюдений, км ²	Модуль стока с водосбора, л/км ²
1	1	Иртыш	с. Татарка	782,1	596000	1,31
2	7	Тобол	с. Звериноголовское	44,5	143000	0,31
	12	Уй	с. Усть-Уйское	22,2	34400	0,65
3	10	Илек	п. Весёлый	22,7	17200	1,32
4	9	Большой Узень	г. Новоузенск	12,8	7480	1,71
	16	Малый Узень	с. Малый Узень	5,8	3930	1,48

Два главных фактора объединили реки также и по их принадлежности к соответствующей водной системе (табл. 4).

Таблица 4 – Характеристика качества речного стока воды различных водных систем по совокупности загрязняющих веществ

Водная система	Реки и направление течения*	№ реки на рис. 1	Характеристика стока воды	Класс Разряд
Иртыш – Обь – Карское море	Иртыш (+)	1	Грязный	4 "а"
	Тобол (+)	7	Грязный	4 "б"
	Уй (0)	12	Очень грязный	4 "в"
р. Урал – Каспийское море(+)	Илек (+)	10	Загрязненный	3 «а»
Камыш – Самарские озёра	Малый Узень (-)	16	Загрязненный	3 «а»
	Большой Узень(-)	9	Очень загрязненный	3 "б"
Днепр – Чёрное море	Днепр (-,0)	5	Загрязненный	3 «а»
	Сож (0)	13	Загрязненный	3 «а»
	Ворскла (-)	17	Слабо загрязненный	2
	Десна (-)	6	Слабо загрязненный	2
	Псёл (-)	18	Слабо загрязненный	2
	Ипуть (-,0)	2	Слабо загрязненный	2
	Сейм (-)	8	Слабо загрязненный	2
	Судость	14	Слабо загрязненный	2
Азовское море	Миус (+)	15	Загрязненный	3 «а»
Северский Донец – Дон – Азовское море	Северский Донец (+)	4	Грязный	4 "а"
	Оскол (-)	11	Загрязненный	3 «а»
Балтийское море	Западная Двина (-)	3	Загрязненный	3 «а»

Примечание: (0) – река течёт вдоль границы, (-) из России в пограничное государство, (+) – из пограничного государства в Россию.

Для восемнадцати рек с помощью АПК были рассчитаны также **частичные объёмы стока воды, загрязнённой совокупностью химических компонентов**. Они необходимы для оценки загрязнённости стока воды. Из табл. 4 следует, что из 18 рек 6 на трансграничных постах имеют «слабо загрязнённый» сток воды второго класса. Это 1 река, трансграничная с Белоруссией, и 5 рек, трансграничных с Украиной. Все они относятся к водной системе Днепр – Чёрное море и текут из России в пограничное государство. Следует отметить, что почти все реки, сток воды, которых относится ко второму, третьему классу разряд «а» и «б», кроме рек Миус и Илек, текут из России в соседние государства. Грязный и очень грязный сток воды четвертого класса разряд «а», «б» и «в» имеют реки, трансграничные с Казахстаном и относящиеся к водной системе Иртыш – Обь – Карское-море и р. Северский Донец, трансграничная с Украиной и относящаяся к водной системе Дон –Азовское море. Они несут свои воды из сопредельных государств в Россию.

Временная изменчивость характеристик качества трансграничного речного стока была рассмотрена только на двух трансграничных створах рек Сейм – р.п. Теткино и Лендерка – п. Лендеры, относящихся соответственно к Черноморскому и Балтийскому гидрографическим районам [7]. При использовании факторного анализа в качестве переменных величин для р. Сейм использованы годовые значения $V_{\text{заг}}\%$ стока воды разных классов, загрязнённой совокупностью компонентов, а для **р. Лендерка** – годовые значения $V_{\text{заг}}\%$ стока воды, загрязнённой единичными химическими компонентами и значения УКИЗВ в качестве показателя загрязнённости воды. В обоих случаях в переменные включены значения годовых расходов воды и температуры воды теплого и холодного периодов года. Главные факторы составили (70 % суммарной дисперсии) и продемонстрировали связь варьирования характеристик качества стока с величиной межгодовых флуктуаций среднегодового и наибольшего расходов воды, а также с температурой воды холодного и тёплого периодов года. Сезонные значения температуры, видимо, являются маркером соотношения снегового и дождевого питания рек.

С помощью факторного анализа обнаружено снижение влияния фактора 1 на загрязнение стока в створе р. Сейм – р. п. Теткино в течение исследуемого периода (рис. 2). Оно происходит из-за снижения годового расхода стока реки и, по-видимому, уменьшения смыва аммонийных и фосфатных удобрений с сельскохозяйственных угодий. Тенденция снижения годовых значения $V_{\text{заг}}\%$ именно для этих компонентов с 1993 по 2013 гг. подтверждает это предположение.

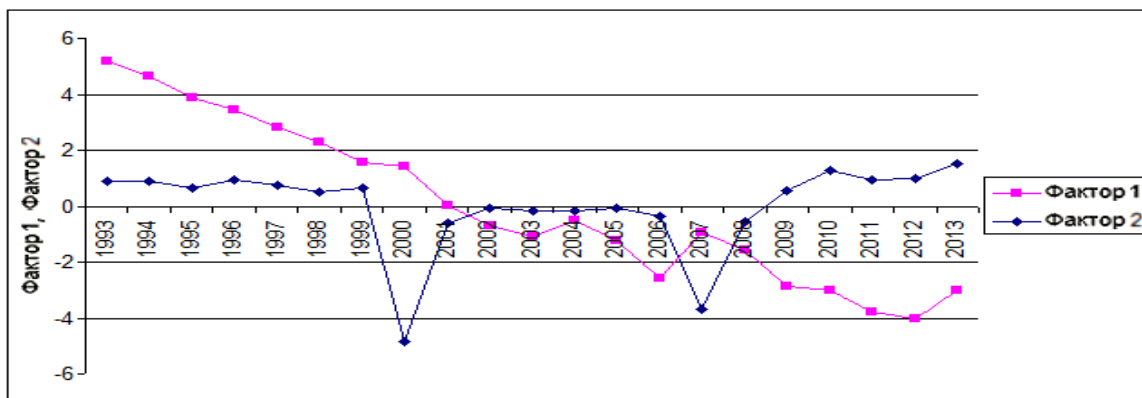


Рисунок 2 – Изменение значений проекций случаев (лет) на координаты двух главных факторов р. Сейм – р. п. Тёткино за период с 1993 по 2013 гг.

Водные объекты являются конечными звеньями загрязнения в пределах бассейновых геосистем. Изучение пространственной и межгодовой изменчивости характеристик качества речного стока показало, что она в наибольшей степени зависит

от изменчивости расходов воды и соответственно природных и антропогенных факторов, влияющих на них.

Рекомендуем использовать в трансграничной сети наблюдений автоматизированный программный комплекс, разработанный в ФГБУ «ГГИ», для определения показателей качества стока, применение которых показало высокую информативность.

Список литературы

1. Караушев А. В. Скакальский Б. Г. Проблемы мониторинга качества поверхностных вод суши. В кн.: Проблемы современной гидрологии: Сб. ст. Л., Гидрометеиздат, 1979, с. 94-105.
2. Скакальский Б.Г. Оценка качества речных вод // Методы расчёта речного стока: Международные высшие гидрологические курсы ЮНЕСКО. МГУ: в 2 ч. Ч. 1. М.: изд-во. МГУ (МКГК ЮНЕСКО). 1980. С. 98-112.
3. РД 52.24.643 – 2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб, Гидрометеиздат, 2002. 48 с.
4. Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н., Ильин Е.В. Новый подход к автоматизированному расчёту частичных объёмов речного стока разной степени загрязнения (на примере р. Селенга) // Метеорология и гидрология. 2014. №6. С. 51-60.
5. Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н., Шмакова М.В. Использование автоматизированной технологии для расчётов характеристик качества стока по данным гидрохимических и гидрологических наблюдений // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т. 2. Вып. 3. С. 272-294.
- 6 Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н. Характеристика качества стока рек России, трансграничных с Беларусью, Украиной и Казахстаном, и его связь с бассейновыми геосистемами // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т. 2. Вып. 2. С. 173-195.
7. Румянцева Э.А., Бобровицкая Н.Н., Сухоногова Е.С. Единая оценка количества и качества водного стока реки Сейм с помощью новой автоматизированной технологии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2020. Т.2. Вып. 1. С. 53-70.

ПРОБЛЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ БЕССТОЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ (НА ПРИМЕРЕ ОБИ И ИРТЫША)

Рыбкина И.Д., Курепина Н.Ю., Орлова Е.С., Губарев М.С.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

E-mail: irina.rybkina@mail.ru

Аннотация. В статье приводится краткая оценка водообеспеченности муниципальных образований бессточной области Обь-Иртышского междуречья на примере трех регионов – Алтайского края, Омской и Новосибирской областей. Полученные результаты позволили провести зонирование исследуемой территории по степени проявления природных ограничений и возможностей перспективного развития хозяйственно-питьевого водоснабжения муниципальных образований регионов. Представлено также описание сложившихся систем водопользования с выделением основных проблем водоснабжения.

Ключевые слова: водные ресурсы, водообеспеченность, водоснабжение, Обь-Иртышский бассейн.

WATER SUPPLY PROBLEMS FOR DRAINLESS AREAS OF TRANSBOUNDARY RIVER BASIN (OB AND IRTYSH AS A CASE STUDY)

Rybkina I.D., Kurepina N.Yu., Orlova E.S., Gubarev M.S.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul

Abstract. The article presents a brief assessment of the water availability for municipalities of the drainless area of the Ob-Irtysh interfluvium, three areas in Altai Territory, Omsk and Novosibirsk regions as a Case Study. The results obtained made it possible to carry out zoning of the territory studied by the degree of displaying natural restrictions and possibilities for the long-term development of the economic and drinking water supply for municipal entities in regions. A description of water use systems developed with their main criterion of water use systems developed with their main problems is presented/

Key words: water resources, water availability, water supply, Ob-Irtysh basin.

В пределах бессточной области Обь-Иртышского междуречья расположены муниципальные образования (МО) трех субъектов Сибирского федерального округа РФ общей площадью порядка 173,5 тыс. км², в том числе территории 28 МО Алтайского края, 22 – Новосибирской и 4 – Омской областей, в которых проживает более 600,0 тыс. чел. В экономическом отношении – это преимущественно сельскохозяйственно развитые территории, но есть и городские поселения (гг. Славгород, Яровое, Каргат, Купино и др.), в которых получило развитие промышленное производство.

По данным Верхне-Обского БВУ, в бессточной области протекает 1082 реки или 1,3% их общего количества в бассейнах Верхней и Средней Оби [1]. Поверхностные воды представлены, главным образом, малыми и средними водотоками (р.р. Карасук, Бурла, Кулунда, Чулым, Каргат и др.), которые используются на нужды сельскохозяйственного водоснабжения и орошения.

Оцененные ранее [2] показатели потенциальной водообеспеченности одного жителя степной и лесостепной зон Обь-Иртышского бассейна составляют не более 1-2 тыс. м³ в год, что сопоставимо с установленными на международном уровне критическими значениями обеспеченности (1,7 тыс. м³ на чел. в год) при умеренном водном стрессе (10-20 %) этих территорий [3-6].

В условиях недостатка поверхностных вод и их неудовлетворительного качества на большей части территории бессточной области Обь-Иртышского междуречья в хозяйственно-питьевых целях используются исключительно подземные воды. Прогнозные ресурсы подземных вод с минерализацией до 1,5 г/дм³ составляют 1,0 км³/год или 3,6% их общих запасов в бассейнах Верхней и Средней Оби (данные Верхне-Обского БВУ).

С учетом выполненных нами оценок [7-8] в пределах бессточной области Обь-Иртышского междуречья на приграничных с Казахстаном территориях РФ проживает около 130,5 тыс. жителей, которые катастрофически низко обеспечены суммарными (и поверхностными, и подземными) водными ресурсами. В основном, это жители Омской области, расположенных в её границах степных ландшафтных провинций. Так, на территории Теке-Кызылкакской провинции обеспеченность ресурсами общего речного стока составляет 0,73 тыс. м³/чел. в год, обеспеченность прогнозными ресурсами подземного стока – 0,91 тыс. м³/чел. в год.

Для оценки возможностей перспективного водоснабжения муниципальных образований бессточной области Обь-Иртышского междуречья были изучены и оценены, в первую очередь, водоресурсные ограничения природного характера, а затем антропогенного плана, которые накладывают определенные особенности на характер и вид целевого использования водных ресурсов. Данная задача выполнена по материалам геолого-гидрогеологических съемок и опубликованных литературных источников [9-15].

Полученные в ходе оценки результаты позволили провести зонирование исследуемой территории по степени проявления природных ограничений (рис. 1) и выделить районы, благоприятные для крупного хозяйственно-питьевого водоснабжения, районы, благоприятные для водоснабжения сельских населенных пунктов с незначительным водоотбором подземных вод, а также районы с ограниченно пригодными водами для питьевых целей [16].

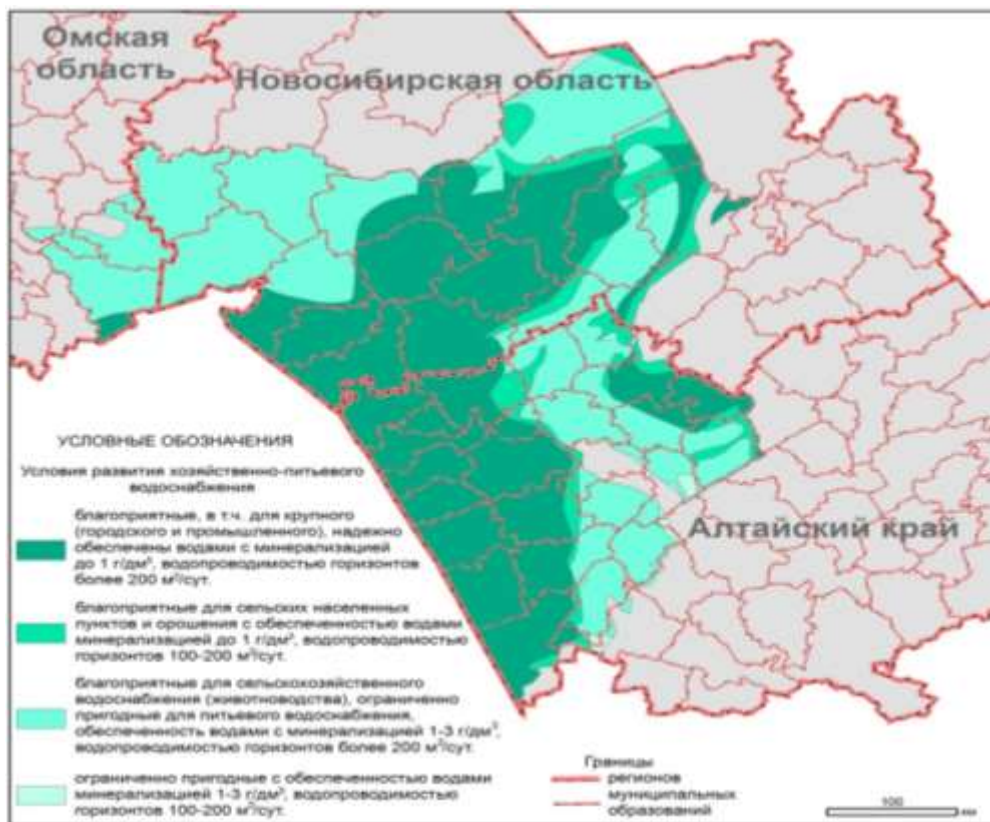


Рисунок 1 – Ограничения и возможности развития хозяйственно-питьевого водоснабжения в муниципальных образованиях бессточной области Обь-Иртышского междуречья

К районам с благоприятными условиями для хозяйственно-питьевого водоснабжения (в том числе городов и крупных сельских поселений) и возможными перспективами использования подземных вод в целях орошения нами отнесены большинство МО Алтайского края (Михайловский, Ключевский, Кулундинский, Табунский, Славгородский, Суетский, Благовещенский, Немецкий национальный, Бурлинский, Хабарский районы), частично МО Новосибирской области (Карасукский, Красноозерский, Доволенский, Баганский, Здвинский, Кургатский районы). Они надежно обеспечены неоген-палеогеновыми подземными водами с минерализацией до 1 г/дм^3 , водопроницаемостью от 100 до $200 \text{ м}^2/\text{сутки}$ и более. В группу районов с благоприятными условиями для сельскохозяйственного водоснабжения (животноводства) и ограниченно пригодными условиями для питьевого водоснабжения вошли, в основном, МО Новосибирской области (Чистоозерный, Купинский, Чановский, Татарский, Барабинский, Убинский районы) и Алтайского края (Панкрушихинский, Баевский, Тюменцевский, Романовский, Новичихинский, Егорьевский, Ребрихинский районы), частично Омской области (Черлакский и Оконешниковский районы). Они обеспечены меловыми и четвертичными водоносными комплексами с минерализацией $1-3 \text{ г/дм}^3$ и водопроницаемостью горизонтов $100-200 \text{ м}^2/\text{сутки}$ и более.

Территории, для которых водоресурсные ограничения выступали бы лимитирующим фактором развития, нами не выделены, поскольку при появлении ограничений по минерализации или водообильности в верхнем горизонте, водоснабжение осуществляется из более глубоких горизонтов, имеющих требуемое качество вод.

В связи с природными условиями, а также с учетом социально-экономических особенностей использования водных ресурсов МО бессточной области Обь-Иртышского междуречья здесь сложилась характерная территориальная организация систем водопользования (ВП), которая представлена в разрезе регионов бассейна Верхней Оби (рис. 2).



Рисунок 2 – Территориальная организация водопользования в регионах Верхней Оби, в том числе в пределах бессточной области Обь-Иртышского междуречья

Основной территориальной формой являются очаговые системы ВП, расположенные в средних и малых городах со значительными объемами забранных ($\geq 0,5$ млн м³/год) и отведенных вод, охватом услугами централизованного водоснабжения не менее 50-70% жилищного фонда (например Славгород, Барабинск, Татарск и др.). Крупноочаговые системы ВП на этой территории практически не встречаются. Отмечены отдельные небольшие по протяженности линейно-площадные формы, которые используются в целях сельскохозяйственного водоснабжения и орошения. В сельской местности групповым формам расселения соответствуют дисперсные системы ВП, которые отличаются небольшими объемами забранных и использованных свежих вод, а также образующихся стоков. Существование этих систем обусловлено наличием таких объектов водохозяйственной инфраструктуры, как водонапорная башня, уличная водопроводная сеть, водоразборные колонки.

Использование воды в них происходит преимущественно для хозяйственно-питьевых нужд населения и без предварительной водоподготовки [17].

Наши исследования проблем качества питьевого водоснабжения в малых и средних населенных пунктах на примере Алтайского края показывают, что происходит ухудшение состояния и функционирования систем ВП. В некоторых селах из-за высокого износа сетей и основных сооружений произошел фактически переход на индивидуальные скважины, которые подают воду из верхних подземных горизонтов, отличающихся низким качеством. Результаты химического анализа проб водопроводной воды, отобранной в системах водоснабжения обследованных сельских населенных пунктов, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели качества питьевых вод в обследованных сёлах (фрагмент таблицы), жирным курсивом показаны превышения ПДК

Населенный пункт		поселок Октябрьский (водопровод)	с. Гилевка (водопроводная вода)	с. Гилевка (вода из инд. скважины)	с. Сидоровка (колонка)	поселок Мирный (водопровод)	
Число жителей		1213	1232	1232	1263	1546	
Показатели	Водородный показатель	ед.рН	7,5 ± 0,2	7,7 ± 0,2	7,6 ± 0,2	7,7 ± 0,2	7,7 ± 0,2
	Удельная электропроводность	мкСм/см	2220 ± 111	884 ± 44	1399 ± 70	3540 ± 177	1240 ± 62
	Общая жесткость	⁰ Ж	5,9 ± 0,3	7,1 ± 0,4	11,5 ± 0,6	21 ± 1	7,4 ± 0,4
	М.к. кальция	мг/дм ³	48 ± 1	64 ± 2	138 ± 4	155 ± 5	72 ± 2
	М.к. магния	мг/дм ³	42 ± 1	48 ± 1	56 ± 1	159 ± 4	46 ± 1
	М.к. натрия	мг/дм ³	321 ± 11	58 ± 2	53 ± 2	433 ± 15	142 ± 5
	М.к. калия	мг/дм ³	2,6 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,8 ± 0,1	7,1 ± 0,2	2,4 ± 0,1
	М.к. аммония	мг/дм ³	2,3 ± 0,1	2,6 ± 0,1	3,5 ± 0,1	4,8 ± 0,2	1,10 ± 0,04
	М.к. нитрат-ионов	мг/дм ³	4,0 ± 0,5	менее 0,1	менее 0,1	1,7 ± 0,2	0,21 ± 0,03
	М.к. хлорид-ионов	мг/дм ³	493 ± 64	42 ± 5	140 ± 18	616 ± 80	69 ± 9
	М.к. сульфат-ионов	мг/дм ³	75 ± 10	47 ± 6	448 ± 58	1139 ± 148	342 ± 44
	М.к. фторид-ионов	мг/дм ³	1,0 ± 0,1	1,8 ± 0,2	1,1 ± 0,1	2,1 ± 0,3	1,2 ± 0,2
	М.к. гидрокарбонатов	мг/дм ³	190 ± 23	464 ± 56	189 ± 23	317 ± 38	366 ± 44
	М.к. железа	мг/дм ³	менее 0,1	0,31 ± 0,07	1,2 ± 0,2	1,6 ± 0,2	менее 0,1
	М.к. марганца	мг/дм ³	0,10 ± 0,02	0,019 ± 0,006	0,33 ± 0,08	0,4 ± 0,1	0,23 ± 0,06
Перманганатная окисляемость	мг/дм ³	0,63 ± 0,13	5,4 ± 0,5	3,0 ± 0,3	1,3 ± 0,3	0,29 ± 0,06	

Примечание: М.к. – массовая концентрация.

Эта информация косвенно подтверждается статистическими данными Роспотребнадзора, согласно которым в регионах происходит сокращение числа объектов хозяйственно-питьевого централизованного водоснабжения и обеспеченности населения питьевой водой, отвечающей требованиям безопасности (табл. 2).

Таблица 2 – Обеспеченность населения питьевой водой, отвечающей требованиям безопасности, чел. (данные Роспотребнадзора)

	Обеспеченность населения питьевой водой, отвечающей требованиям безопасности, чел.									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Алтайский край										
всего	2496800	2490714	2272020	2407230	2398751	2390638	2384812	2376774	2347521	2331988
в городах	1341300	1330317	1227505	1298845	1331015	1333129	1335638	1335334	1313315	1308306
на селе	1155500	1160397	1044515	1108385	1067736	1057509	1049174	1041440	1034206	1023682
Новосибирская область										
всего	2646772	2649871	2701756	2692596	2704887	2731176	2746822	2762237	2779555	2788849
в городах	1964420	1965826	2055402	1984765	2094872	2135846	2156818	2168548	2217385	2204326
на селе	682352	684045	646354	707831	610015	595330	590004	593689	562170	584523

В заключение хочется отметить необходимость четко выстроенной и системно проводимой политики в сфере водоснабжения приграничных регионов страны в пределах бессточных областей крупных трансграничных речных бассейнов.

Исследование выполнено в рамках госбюджетной тематики ИВЭП СО РАН (проект № 0306-2021-0002) и при поддержке гранта РФФИ № 21-55-75002.

Список литературы

1. Верхне-Обской бассейновый округ // ЭКО-бюллетень ИнЭКА, 2009, № 4 (135) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ineca.ru/?dr=bulletin/archiv/0135&pg=007>.
2. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / отв. ред. Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 242 с.
3. Falkenmark M., Lundqvist J., Widstrand C. Macro-scale Water Scarcity Requires Micro-scale Approches: Aspects of Vulnerability Semi-arid Development // Natural Resources Forum. 1989. V. 13. № 4. P. 258-267.
4. Entekhabi D., Asrar Ch., Betts A.K. et. al. An Agenda for Land Surface Hydrology Research and Call for the Second International Hydrological Decade // Bull. Amer. Meteorol. Society. 1999. V. 80. № 10. P. 2043-2058.
5. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
6. Falkenmark M., Wang-Erlandsson L., Rockström J. Understanding of water resilience in the Anthropocene // Journal of Hydrology. 2019. № 2. (<https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2018.100009>).
7. Рыбкина И.Д., Стоящева Н.В., Магаева Л.А., Губарев М.С., Резников В.Ф., Курепина Н.Ю. Оценка водообеспеченности регионов Западной Сибири // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: тр. IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием / отв. ред. М.В. Болгов. М.: ИВП РАН, 2015. С. 512-514.
8. Рыбкина И.Д. Водоресурсное обеспечение долгосрочного регионального развития Западной Сибири (на примере Обь-Иртышского бассейна). Дис. д-ра геогр. наук по спец. 25.00.36. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2020. 249 с.
9. Гидрогеология СССР. Т. XVII. Кемеровская область и Алтайский край. Западно-Сибирское геологическое управление. Ред. М.А. Кузнецова и О.В. Постникова. М.: Недра», 1972. 399 с.
10. Магаева Л.А., Казьмин С.П., Энес И.И. и др. Отчет о результатах специализированной комплексной геолого-гидрогеологической съемки масштаба 1:50 000 для обоснования строительства Карасукской оросительной системы (по работам Кочковского и Краснозерского участков за 1986-1990 гг.) / Новосибирские ТГФ. Новосибирск, 1990.

11. Мартынов В.А., Михеева Л.С., Марченко П.Г. Отчет по теме № 20/55 «Составление каталога опорных разрезов Западно-Сибирского артезианского бассейна и сводной серийной легенды Государственной гидрогеологической карты СССР масштаба 1:200 000 по территории Новосибирской и Омской областей. Инженерно-геологическое районирование восточной части Кулундинско- Барабинского региона и прогноз изменений инженерно-геологических условий при мелиорации». Работы Палеонтолого-стратиграфической партии за 1987-1989 гг. / Новосибирские ТГФ. Новосибирск, 1990.

12. Казьмин С.П., Королев В.А., Тарасов С.П. и др. Отчет по групповой инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000 и геолого-гидрогеологическому доизучению территории листов N-44-VII, N-44-XIII, N-44-XIV, N-44-XIX, N-44-XX (по работам Здвинского участка за 1984-1986 гг., 1990-1995 гг.) / Новосибирские ТГФ. Новосибирск, 1995.

13. Земскова И.М., Смоленцев Ю.К., Полканов М.П. и др. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. М.: Недра, 1991. 262 с.

14. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Сер. Западно-Сибирская. Омско-Кулундинская подсер. Листы N-44-VII (Здвинск), N-44-XIII (Верх-Урюм), N-44-XIV (Довольное). Объяснительная записка. СПб: изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2001. 119 с.

15. Васькина В.Н., Казьмин С.П. Отчет Новосибирского Центра мониторинга за подземными водами «Новосибирская геолого-поисковая экспедиция» / Новосибирские ТГФ. Новосибирск, 2006.

16. Рыбкина И.Д., Магаева Л.А., Губарев М.С. Ограничения и возможности развития водоснабжения муниципальных образований бессточной области Обь-Иртышского междуречья // Вода: химия и экология. 2015. № 3 (81). С. 83-90.

17. Рыбкина И.Д. Территориальная организация водопользования в регионах Верхней Оби: оценка и прогноз состояния, проблемы и перспективы развития // Изв. Алтайского краевого отделения РГО. 2020. № 2 (57). С. 5-20.

ДИНАМИКА ПЕРЕНОСА ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН НА ТЕРРИТОРИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С ВОДАМИ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК

Сазонов А.Д.^{1,2}, Даниленко А.О.¹

¹ ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону

² Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

E-mail: alexei.sazonow2016@ya.ru

Аннотация: В работе рассмотрен трансграничный перенос химических веществ из Республики Казахстан на территорию Российской Федерации за период с 2007 по 2020 гг. Приведены среднесезонные значения переноса химических веществ, а также детальная изменчивость их динамики за рассматриваемый период.

Ключевые слова: р. Иртыш, р. Ишим, р. Тобол, трансграничный перенос загрязняющих веществ.

DYNAMICS OF TRANSFER OF CHEMICALS FROM THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN TO THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION THROUGH TRANSBOUNDARY RIVERS

Sazonov A.D.^{1,2}, Danilenko A.O.¹

¹ FSBI "Hydrochemical Institute", Rostov-on-Don, Russia

² Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: alexei.sazonow2016@ya.ru

Abstract. This paper considers the transboundary transfer of chemicals from the Republic of Kazakhstan to the territory of the Russian Federation for the period 2007-2020. The average long-term values for the transport of chemicals are given, as well as the detailed variability of their dynamics for the period under consideration.

Key words: Irtysh, Ishim, Tobol, transboundary transport of pollutants.

В 2010 г. между Российской Федерацией и Республикой Казахстан было подписано Соглашение о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов [1], которое, в свою очередь, основано на Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер от 17 марта 1992 г. [2]. Согласно данному Соглашению, стороны должны осуществлять мониторинг состояния трансграничных водных объектов, а также обмениваться данными о результатах наблюдений. Неоднократно подчеркивалась важность развития системы мониторинга трансграничных поверхностных вод, а также необходимость в унифицированной водной политике и методах определения качественных и количественных показателей водных объектов [3, 4].

При наличии большого объема информации результатов мониторинга возникает необходимость ее периодического обобщения с целью прослеживания многолетней изменчивости, что весьма актуально для мониторинга трансграничных водных объектов. Подведение подобных многолетних обобщений и их анализ позволяют сделать выводы об эффективности заключенных межгосударственных соглашений, а также степени их выполнимости. Это весьма важно также при долгосрочном планировании будущих мониторинговых исследований.

Целью данного исследования являлось изучение динамики переноса химических веществ из Республики Казахстан на территорию Российской Федерации с водами нескольких трансграничных рек в период с 2007 по 2020 гг. Материалами исследования послужили «Обзоры состояния и загрязнения окружающей среды» [5] и «Ежегодники качества поверхностных вод» [6] в Российской Федерации. Оценка переноса химических веществ через государственную границу осуществлялась на следующих пунктах наблюдений: для р. Иртыш – у с. Татарка, р. Ишим – у с. Ильинка, р. Tobol – у с. Звериноголовское. Среднемноголетние значения переноса представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Среднемноголетние значения переноса химических веществ за период 2007-2020 гг. (тыс. т; медь, цинк, фенолы – т)

Показатель	р. Иртыш	р. Ишим	р. Tobol
Водный сток, км ³	$\frac{20.6 - 37.2}{26.0}$	$\frac{0.45 - 4.66}{1.98}$	$\frac{0.44 - 2.88}{1.20}$
Органические вещества	$\frac{243 - 466}{310}$	$\frac{7.88 - 106}{37.8}$	$\frac{8.55 - 53.8}{26.7}$
Сумма азота минерального	$\frac{3.10 - 20.3}{8.81}$	$\frac{0.10 - 2.16}{0.63}$	$\frac{0.13 - 5.91}{1.94}$
Фосфор общий	$\frac{0.68 - 1.66}{0.95}$	$\frac{0.03 - 0.25}{0.10}$	$\frac{0.10 - 0.92}{0.28}$
Соединения железа	$\frac{0.60 - 6.30}{2.07}$	$\frac{0.02 - 4.13}{0.65}$	$\frac{0.10 - 0.65}{0.30}$
Соединения меди	$\frac{50.2 - 215}{98.7}$	$\frac{1.51 - 23.1}{6.79}$	$\frac{1.65 - 21.5}{6.04}$
Соединения цинка	$\frac{85.4 - 395}{188}$	$\frac{1.86 - 73.1}{9.95}$	$\frac{3.43 - 70.1}{17.2}$
Нефтепродукты	$\frac{0.11 - 1.02}{0.48}$	$\frac{0.02 - 0.62}{0.14}$	$\frac{0.007 - 0.24}{0.11}$
Фенолы	$\frac{0 - 34.4}{18.4}$	$\frac{0 - 7.50}{2.55}$	$\frac{0 - 9.00}{2.27}$
<i>Примечание. В числителе - диапазон значений, в знаменателе - среднее за обсуждаемый период значение</i>			

Среднеголетний суммарный годовой водный сток данных рек за рассматриваемый период составил 29,3 км³. Доля водного стока за этот же период распределялась следующим образом: р. Иртыш – 89%, Ишим – 7%, Тобол – 4%. Так как р. Иртыш является наиболее многоводной, с её водой было вынесено наибольшее количество определяемых химических веществ как за весь рассматриваемый период, так и в подавляющем большинстве случаев по отдельно взятым годам. Более детальная динамика трансграничного переноса некоторых химических веществ представлена на рис. 1 и 2.

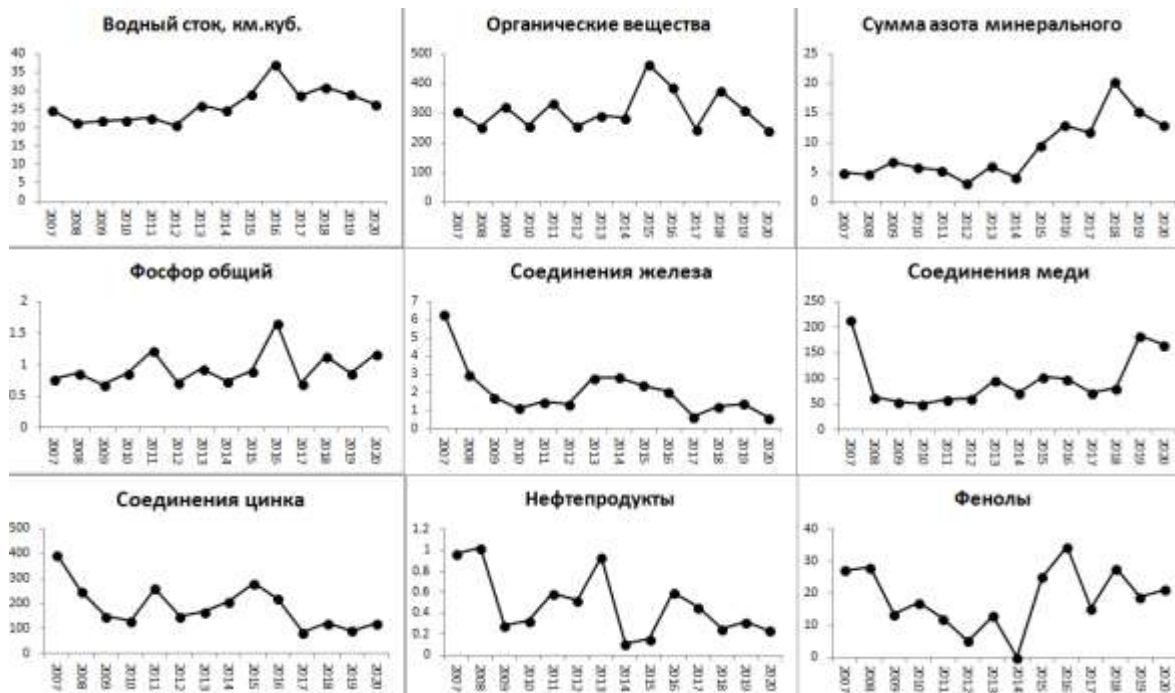


Рисунок 1 – Динамика переноса химических веществ рекой Иртыш

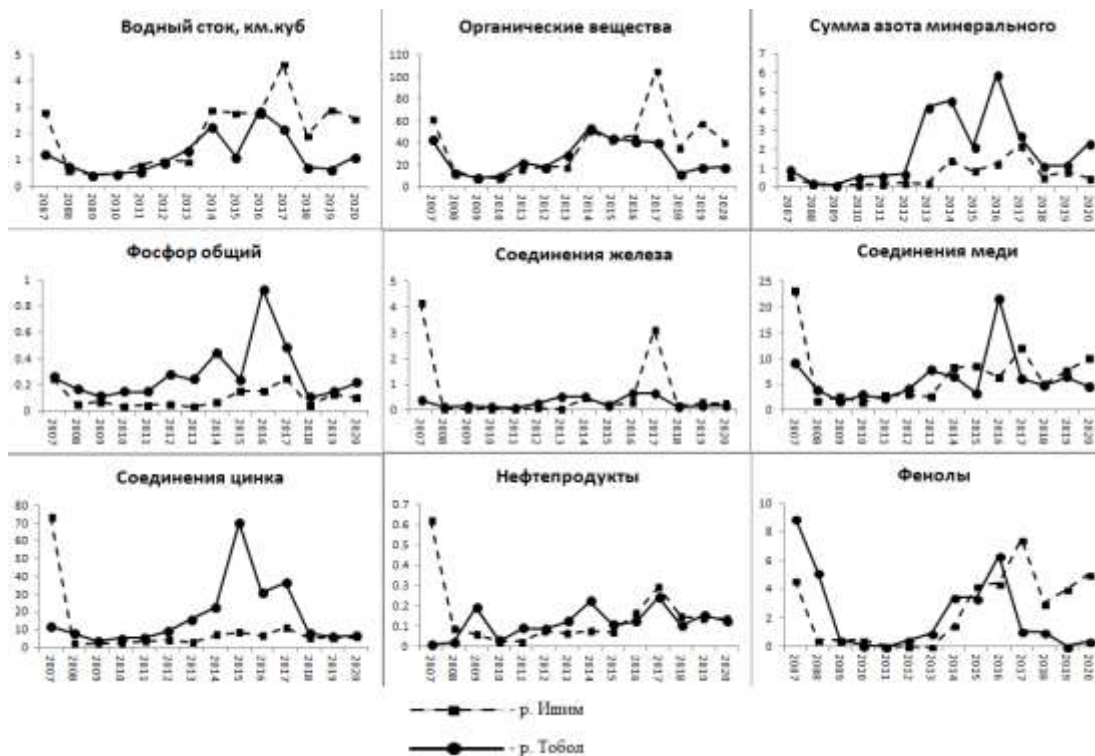


Рисунок 2 – Динамика переноса химических веществ реками Ишим и Тобол

За рассматриваемый период отмечен тренд увеличения водного стока р. Иртыш, а также его притоков – р.р. Ишим и Тобол. Его максимум пришелся на 2016 г. для Иртыша и Тобола, в 2017 г. – для р. Ишим.

Перенос органических веществ был относительно стабилен для трансграничных рек бассейна Иртыша и зависел преимущественно от водного стока. Наблюдалась динамика увеличения переноса суммы минерального азота с водой р. Иртыш. Для р.р. Тобол и Ишим перенос суммы минерального азота не являлся столь однозначным и отличался отсутствием четкой направленности.

В р.р. Ишим и Иртыш динамику переноса общего фосфора можно характеризовать как относительно стабильную, в то время как в реке Тобол, где в 2007-2016 гг. наблюдалась явная «скачкообразная» динамика, увеличения переноса общего фосфора, а потом его резкое сокращение.

Для р. Иртыш отмечается явная тенденция снижения трансграничного переноса соединений железа и стабилизация его переноса для р. Тобол за весь рассматриваемый период. В р. Ишим перенос соединений железа на протяжении большей части рассматриваемого периода был стабилен, за исключением 2006 и 2017 гг., когда наблюдалось резкое увеличение переноса данного компонента.

Динамика трансграничного переноса соединений меди в р. Иртыш была относительно стабильной на протяжении почти всего рассматриваемого периода (с 2008 по 2018 гг.), что нельзя сказать о р.р. Ишим и Тобол, где динамика переноса соединений меди была более разнонаправленной.

В р. Иртыш наблюдалась заметная тенденция снижения трансграничного переноса соединений цинка с 2015 г., для р. Ишим была характерна стабилизация переноса. В р. Тобол наблюдался рост переноса соединений цинка вплоть до 2015 г., после чего отмечено существенное сокращение объемов их переноса через границу.

Для р. Ишим и Тобол наблюдалась тенденция роста переноса нефтепродуктов, а для р. Иртыш, наоборот, была характерна тенденция снижения переноса данного компонента. В целом, динамика переноса нефтепродуктов и фенолов была весьма разнонаправленной и неоднозначной для рассматриваемых рек.

Начиная с 2016 г. трансграничный перенос изомеров ГХЦГ и метаболитов ДДТ и в р.р. Иртыш и Ишим не обнаруживался, а в р. Тобол не наблюдался за весь рассматриваемый период.

Учитывая весьма высокую антропогенную нагрузку на бассейн р. Иртыш со стороны Республики Казахстан и КНР (в верхнем течении) [7-9], мониторинг трансграничного переноса водного стока и химических веществ реками данного бассейна является первоочередной задачей, требующей совместных действий заинтересованных сторон с целью сохранения ресурсного потенциала реки и решения трансграничных проблем данного международного бассейна.

Список литературы

1. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов (Усть-Каменогорск, 7 сентября 2010 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902240034> (дата обращения: 21.04.2021).

2. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 17 марта 1992 г.) // Бюлл. Междунар. договоров. 1999. № 10. С. 3-18.

3. Могилюк С.В. Геоэкологические аспекты управления водопользованием в бассейне трансграничных рек: на примере реки Иртыш: Дис.... канд. геогр. наук. Томск, 2004. 157 с.

4. Тимофеева Л.А., Фрумин Г.Т. Трансграничные водные объекты. СПб.: СпецЛит, 2017. 158 с.
5. Обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2007-2019 гг. Официальный сайт Росгидромета. URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения: 21.04.2021)
6. Качество поверхностных вод РФ за 2010-2019 гг. Офиц. сайт Гидрохим. ин-та. URL: <http://gidrohim.com/node/44> (дата обращения 21.04.2021).
7. Гусев Е.М., Насонова О.Н., Шурхно Е.А., Джоган Л.Я. Сценарное прогнозирование изменения составляющих водного баланса в Обь-Иртышском бассейне в связи с возможным изменением климата // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. №. 5. С. 463-473. DOI: 10.31857/S0321-0596465463-473.
8. Винокуров Ю. И. и др. Региональные экологические проблемы в трансграничных бассейнах рек Урал и Иртыш // Изв. Рос. акад. наук. Сер. геогр. 2010. №. 3. С. 95-104.
9. Бейсембаева М. А., Базарбеков К. У. Влияние природоохранных попусков на гидрологический режим реки Иртыш в пределах территории Павлодарской области Республики Казахстан // Изв. Самарского науч. центра Рос. Акад. наук. 2015. Т. 17. №. 781-787.

К ВОПРОСУ О ЗАГРЯЗНЕНИИ АКВАТОРИИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИИ ЕМУ

Санин А.Ю.^{1,2}, Кулаковская В.И.¹

¹- Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
г. Москва

²- Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова,
Росгидромет, г. Москва
E-mail: eather86@mail.ru

Аннотация: в связи с огромной важностью Балтийского моря для Российской Федерации и интересами нашей страны в отношении данного водного объекта актуальными становятся вопросы, связанные с поступлением загрязняющих веществ с впадающими в него реками, в том числе трансграничными. Согласно действующим международным соглашениям, в которых принимает участие и Российская Федерация, вклад каждой страны, имеющей выход к Балтийскому морю, в ликвидацию негативных последствия хозяйственной деятельности человека для моря должен быть пропорционален вкладу в загрязнение моря, что объясняет важность оценок такого вклада. В связи с этим мониторинг водосборных бассейнов впадающих в Балтийское море рек, в том числе трансграничных (Нарва, Западная Двина, Неман и др.), и сокращение объемов загрязняющих веществ, которые в них поступают, приобретают особое значение

Ключевые слова: Балтийское море, трансграничные реки, водосборный бассейн, загрязнение.

ON THE ISSUE OF POLLUTION OF THE BALTIC SEA AND COUNTERACTION TO IT

Sanin A. Yu.^{1,2}, Kulakovskaya V.¹

1 - Lomonosov Moscow State University, Moscow

2- Zubov State Oceanographic Institute, Roshydromet, Moscow

E-mail: eather86@mail.ru

Abstract: Due to the great importance of the Baltic Sea for the Russian Federation, and the interests of our country in relation to this water body, issues related to the flow of pollutants from the rivers flowing into it, including transboundary ones, are becoming relevant. According to the existing international

agreements, in which the Russian Federation also participates, the contribution of each country with access to the Baltic Sea to the elimination of the consequences of human economic activity for the sea should be proportional to the contribution of each country to marine pollution, which explains the importance of assessing such a contribution. In this regard, monitoring of the watersheds of rivers flowing into the Baltic Sea, including transboundary ones (Narva, Western Dvina, Neman, etc.), is of particular importance

Keywords: Baltic Sea, transboundary rivers, catchment area, pollution.

Согласно Водному кодексу Российской Федерации, трансграничными водными объектами являются любые поверхностные или подземные воды, которые обозначают и/или пересекают границы между двумя и более государствами или расположены в таких границах [1]. По территории России протекает около 70 полноводных и протяженных трансграничных рек [2]. К трансграничным водным объектам относятся реки (в особенности крупные и средние), впадающие в Балтийское море. В большинстве случаев моря не относятся к трансграничным водным объектам, несмотря на то что ими являются.

Как правило, в качестве трансграничных водных объектов рассматриваются внутренние водные объекты – реки, озера и водохранилища (реже и подземные воды), а также их водосборные бассейны. Говоря о трансграничных реках, впадающих в Балтийское море, имеет смысл рассматривать их не только отдельно вместе с их водосборными бассейнами, но и в качестве элементов системы, состоящей из акватории Балтийского моря и его водосборного бассейна, элементами которого они являются. Безусловно, такая система также имеет трансграничный характер.

Роль Балтийского моря для современной России сложно переоценить. Оно является важным звеном транспортных коридоров из России и Восточной Азии в Центральную и Западную Европу, значение которого прямо подтверждается быстрым ростом объемов грузоперевозок через балтийские порты в Ленинградской области. Рекреационное значение Балтийского моря также возрастает, особенно в связи с необходимостью развития внутреннего туризма и последствий пандемии COVID-19, которая существенно ограничивает зарубежные туристические поездки. Как и любые морские побережья с благоприятным или относительно благоприятным климатом, берега Балтийского моря привлекательны для проживания.

Водосборный бассейн моря охватывает 14 стран Европы, включая Беларусь, Германию, Данию, Латвию, Литву, Норвегию, Польшу, Россию, Словакию, Украину, Финляндию, Чешскую Республику, Швецию, Эстонию. Он покрывает площадь равную 1 721 233 км², включая Балтийское море. На Россию приходится 18 % от этой площади [3].

Примерно 48% всей территории Балтийского региона покрыто лесами. Большая их часть находится в Финляндии и Швеции, особенно вокруг Финского и Ботнического заливов. 25% площади земли используется в качестве пастбищ. Большая часть таких земель расположена в Польше, Дании, Германии и Швеции. 17% бассейна составляют неиспользуемые открытые земли, 8% – это заболоченные земли, большая часть которых расположена в Ботническом заливе и Финляндии [4]. Не считая урбанизированных территорий, именно пахотные угодья обеспечивают наибольший вклад в загрязнение Балтийского моря, так как на них имеет место внесение удобрений и пестицидов для борьбы с вредителями, часть веществ смывается в реки и, соответственно, попадают в море. Таким образом обеспечивается поступление фосфора, азота и некоторых других загрязнителей.

Экономическим агентам в среднем в 5 – 6 раз выгоднее размещаться на побережье Балтийского моря – вблизи крупного рынка Европейского союза, чем внутри континента – вдали от морей и крупных рынков [5]. Регион Балтийского моря привлекателен и тем, что является незамерзающим и связан круглогодично доступной инфраструктурой с остальными регионами страны.

Территория водосборного бассейна моря характеризуется привлекательностью для селитебного природопользования, на ней проживает более 85 млн. чел. Города, расположенные в прибрежной зоне, сбрасывают 3,3 кубических километра сточных вод, содержащих загрязняющие вещества [3].

Трансграничный характер Балтийского моря и многих впадающих в него рек накладывает специфику на хозяйственную деятельность, которая усложняется конфликтным характером отношений России с граничащими странами и странами, имеющим выход к Балтийскому морю. Интересы стран часто противоречат друг другу. Так, интересы нашей страны в Балтийском море связаны с регулированием промысла трансграничных рыбных запасов, находящихся в исключительной экономической зоне Российской Федерации и открытом море: в частности, с недопущением их незаконного, несообщаемого и неконтролируемого промысла [2]. Загрязнение рек, в том числе и трансграничных, может привести к негативному влиянию на биологические (равно как и на имеющие важное значение для России рекреационные) ресурсы Балтийского моря.

Другая важнейшая группа интересов Российской Федерации – транспортное использование акватории моря в соответствии с международными морскими правовыми нормами для судоходства и строительства трубопроводов (по дну моря проложен и действует газопровод «Северный поток-1», завершается строительство газопровода «Северный поток-2», в перспективе возможно строительство «Северного потока -3» для транспортировки природного газа или водородного топлива).

С другой стороны, наша страна принимает участие в международных соглашениях, которые призваны защитить от загрязнения и чрезмерного антропогенного воздействия как само Балтийское море, так и реки, которые в него впадают. Россия с 1993 г. и большинство стран – соседей по Балтийскому региону, входящих в Европейский союз, являются участниками Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер [6]. Самым важным инструментом международного регулирования является Конвенция по защите морской среды района Балтийского моря (Хельсинкская конвенция) [7], подписанная всеми странами бассейна (ХЕЛКОМ). Одной из особенностей международных соглашений и рекомендаций ХЕЛКОМ является принцип пропорциональной зависимости между вкладом в загрязнение Балтийского моря и расходами на улучшение его экологического состояния для каждой из стран, которая имеет к нему выход. Кроме того, международными соглашениями рекомендуется увеличение количества и площади особо охраняемых природных территорий для прибрежной зоны России, часть из которых могут включать и отдельные части долин трансграничных рек, впадающих в море.

К настоящему времени не всегда четко прописаны механизмы ликвидации экологического ущерба для Балтийского моря. В равной степени и для внутренних водных объектов, которые являются трансграничными, все конвенции и соглашения имеют общий существенный недостаток: отсутствует механизм взаимной ответственности государств за превышение допустимых уровней загрязнения вод биогенными и загрязняющими веществами [2].

Огромную важность имеет расчет вклада России в загрязнение Балтийского моря, так как этим определяется доля расходов нашей страны для организации совместной деятельности по ликвидации экологического ущерба для акватории. Принцип «загрязнитель платит» озвучен в Декларации ООН [8]. По имеющимся данным, она составляет около 15% – такая цифра была получена в результате применения факторного анализа, базирующегося на методе главных компонент, к оценке экологического ущерба, причиняемого странами прибалтийского региона [4].

Такая или даже более низкая оценка представляется вполне обоснованной, исходя из процента водосборного бассейна Балтийского моря, который приходится на Россию, а также из сравнительно низкой (за исключением Ленинградской области) интенсивности хозяйственной деятельности в пределах водосборного бассейна на территории нашей страны.

Наибольший вред экосистеме Балтийского моря наносит поступление биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий. Распаханность территорий, относящихся к российской части водосборного бассейна Балтийского моря, заметно меньше, чем для многих других стран. Согласно картам и материалам [9], степень распаханности Российской части бассейна Балтийского моря существенно ниже, чем латвийской, литовской, польской и датской. Российское население составляет 12% числа жителей водосборного бассейна Балтийского моря [9].

Имеется два подхода к оценке биогенной нагрузки на Балтийское море со стороны расположенных в его водосборном бассейне стран. Согласно первому подходу, распределение антропогенной биогенной нагрузки между сопредельными государствами целесообразно рассчитывать пропорционально долям населения на водосборной территории. Вторым подходом предполагается проведение расчетов пропорционально долям распаханных земель [2]. Применение любого из подходов не дает цифру выше 15% для вклада России в загрязнение Балтийского моря.

Если России удастся достичь более быстрых темпов снижения вклада в загрязнение Балтийского моря, чем другим странам, которые полностью или частично находятся в пределах его водосборного бассейна, и это будет зафиксировано, то Россия сможет уменьшить расходы на ликвидацию экологического ущерба морю. Однако для этого, в том числе, необходимо уменьшить поступление загрязняющих веществ с трансграничными реками. Меры, которые могут быть предприняты для улучшения экологического состояния трансграничных водных объектов, перечислены ниже:

- экологическое нормирование;
- оценка трофического статуса озер;
- оценка природной (фоновой) составляющей биогенной нагрузки;
- квотирование биогенных нагрузок на трансграничные водные объекты [2].

Так как многие реки, впадающие в Балтийское море, относятся к трансграничным водным объектам, борьба за сохранение чистоты их вод невозможна без сотрудничества стран, по территориям которых они протекают. Примеры таких рек, сравнительно крупных, частично расположенных в России: Нарва, Западная Двина (Даугава в Латвии), Неман (Нямунас в Литве) и т.д. По всем трем перечисленным рекам проходит часть Государственной границы РФ. Другие реки протекают по территории России, но их водосборные бассейны располагаются частично в соседних странах. Например, водосборный бассейн Невы расположен на территории как России, так и Финляндии (если учитывать водосборный бассейн Ладожского озера, из которого она вытекает).

Для Балтийского моря выделяют такие экологические проблемы [10]:

1. Эвтрофикация.
2. Загрязнение нефтепродуктами.
3. Вынос загрязняющих веществ от промышленных предприятий
4. Захоронение химического оружия.
5. Высокая интенсивность морских грузоперевозок.

Из приведенного перечня видно, что, как минимум, первая и третья проблемы, а отчасти и вторая обусловлены стоком рек, в том числе и трансграничных. Содержащиеся в нем вещества – азот, фосфор и т.д. – обуславливают эвтрофикацию Балтийского моря. Сток с промышленных предприятий, за исключением тех, которые расположены непосредственно на берегу

моря, попадает сначала в ручьи и реки, затем в море. Часть нефтепродуктов также выносятся реками. Так, не менее половины азота и фосфора поступает с реками с сельскохозяйственных полей.

Природные источники обеспечивают около трети поступления азота и фосфора в Балтийское море [4]. Большая часть антропогенной части происходит из диффузных источников, главным образом, из сельского хозяйства, в то время как точечные источники, в которых преобладают муниципальные очистные сооружения, обеспечивают 12 % и 24 % речного азота и фосфора, соответственно [4]. Говоря о стоках с промышленных предприятий, то здесь проблема частично заключается в используемых технологиях. Устаревшую технологическую базу используют в Латвии, Эстонии, Литве, Польше и в нашей стране [4].

В случае с трансграничными реками добиться уменьшения количества загрязняющих веществ, которые в них сбрасываются, можно лишь совместными усилиями стран, к которым они относятся. Ситуацию усугубляет сложные отношения России с балтийскими странами, через которые также протекают эти реки, кроме Беларуси и Финляндии. Управление качеством вод трансграничных рек и озер осложняет так называемая «внутренняя трансграничность» (термин предложен Д.А. Домниным и Б.В. Чубаренко) [10] – расположение водотоков и водоемов в пределах различных административно-территориальных единиц государств, что дополнительно осложняет мониторинг за их состоянием и управлением ими, так как их эффективность отличается, в зависимости от эффективности действий местных властей. Для России ситуация усугубляется тем, что административные границы между областями и их отдельными районами не проводятся по бассейновому принципу. Так, в Калининградской области любая административная единица включает в себя от трех до восьми частей бассейнов разных рек [11].

Допустимое поступление азота общего в Балтийское море составляет 601720 тонн/год. Поступление азота и фосфора провоцирует химические реакции, в результате которых в придонных водах накапливается сероводород. С другой стороны, как следует из вышеприведенных данных, со стоком рек в 2000 г. в Балтику поступило 397 600 т, однако примерно 200 000 т поступает из атмосферы [2], то есть в 2000 г. суммарное фактическое поступление азота было практически равным предельно допустимому. Уменьшение поступления азота в трансграничные реки является одним из способов достижения уменьшения объемов поступления азота, в целом. Так, только в Западную Двину (Даугаву) поступает 34 700 т азота [12], то есть примерно 10% от всего количества азота, поступающего с реками.

К настоящему времени имеются примеры положительного влияния человека на реки, и, как следствие, на отдельные части (суббассейны) Балтийского моря. Например, заметно уменьшилось – по некоторым данным на 58% – поступление фосфора в Финский залив [13]. Это представляется особенно важным, так как центральную роль в проблемах загрязнения водоемов играет процесс их эвтрофикации, которая для умеренного пояса определяется, главным образом, поступающими фосфором [2]. Причина этого заключается в улучшении очистки вод, поступающих в р. Луга. Но Луга практически полностью находится на территории России, а для уменьшения поступления загрязняющих веществ с трансграничными реками необходимо уже международное сотрудничество.

Позитивный пример с водосборным бассейном р. Луга рекомендуется по возможности распространить как на бассейны внутренних рек балтийских государств, так и на трансграничные реки и озера и их водосборные бассейны в регионе.

Список литературы

1. Водный кодекс Российской Федерации // Собрание законодательства Российской Федерации. 2006. № 23 ст. 2381.
2. Фрумин Г.Т., Тимофеева Л.А. Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути решения // Биосфера. 2014. Т.6, №2. С. 118-134.
3. Короткова С. В. Геоэкологические особенности бассейна Балтийского моря, Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М. 2008. 159 с.
4. Митина Н. Н., Коротаяев С. С. Анализ значений антропогенной нагрузки на акваторию Балтийского моря // Государственное управление: Российская Федерация в современном мире. Материалы 13-й Междунар. конф. факультета гос. управл. МГУ им. М.В.Ломоносова (28-30 мая 2015 г.) / Под ред. М. А. Буданова. КДУ, Университетская книга Москва, 2016. 51-58 с.
5. Земцов С.П., Бабурин В.Л. Оценка потенциала экономико-географического положения регионов России. Экономика региона. 2016. Т. 12, Вып. 1. С. 117-138.
6. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Хельсинки, 1992) // Пост. Пр-ва РФ. 1993. № 331.
7. Конвенция по защите морской среды района Балтийского моря (Хельсинская конвенция) (Хельсинки, 1992) // Постановление Правительства РФ. 1998. № 1202.
8. Стокгольмская декларация ООН от 16 июня 1972. 1972. // Действующее международное право. Т. 3.
9. Кабелкайте Ю.А. Экологические проблемы и международное сотрудничество в регионе Балтийского моря // География. 2002. № 32.
10. UNEP (2005): Lääne, A., Kraav, E. & G. Titova. Baltic Sea, GIWA Regional assessment 17. University of Kalmar, Kalmar, Sweden. 69 p.
11. Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Трансграничные водосборы Юго-восточной Балтики // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 69–76.
12. UNECE. Водосборный бассейн Балтийского моря. С 347 – 402.
13. Raateoja M., Setälä O. The Gulf of Finland assessment. Reports of the Finnish Environment Institute 27. 2016.

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЕВРАЗИИ

Сивохин Ж.Т.

Институт степи Уральского отделения РАН, г. Оренбург

E-mail: sivohip@mail.ru

Аннотация: Установлена устойчивая тенденция роста климатических экстремумов и сезонного распределения осадков. Дана оценка водообеспеченности регионов трансграничных бассейнов рр. Урал и Иртыш и определены региональные особенности использования водных ресурсов. В заключение отмечено, что успешное решение задач комплексного использования водных ресурсов должно быть достигнуто за счет повышения эффективности использования водных ресурсов рек степной зоны.

Ключевые слова: водные ресурсы, трансграничная река, степная зона, водообеспеченность, структура водопотребления.

PROBLEMS OF THE INTEGRATED WATER RESOURCES USE OF TRANSBOUNDARY RIVER BASINS WITHIN THE EURASIAN STEPPE ZONE

Sivokhip Zh.T.

Institute of Steppe of Urals Branch of RAS, Orenburg

Abstract: A stable tendency for the growth of climatic extremes and seasonal distribution of precipitation has been established. An assessment of the water supply in the regions of the transboundary basins of the Ural and Irtysh Rivers is given and the regional features of the water resources use are identified. In conclusion, it is noted that the successful solution of the problems of the integrated of water resources use should be achieved by increasing the efficiency of the water resources use of of the steppe zone rivers.

Keywords: water resources, transboundary river, steppe zone, water availability, structure of water consumption.

Введение. Водные ресурсы относятся к категории возобновляемых природных компонентов, в связи с чем актуальность вопросов гарантированного водообеспечения определяется не только структурой водопотребления, но и гидроклиматической спецификой водосборных территорий. Решение задач комплексного использования водных ресурсов затрудняется стохастичностью природных процессов (речной сток, осадки, испарение), усиливающейся при климатических изменениях, когда сила и частота аномальных событий возрастают [1]. Примером территорий с крайне неустойчивым увлажнением являются речные бассейны, расположенные в пределах степной зоны, для которых характерна значительная пространственно-временная неоднородность речного стока. Особую актуальность представляют вопросы использования водных ресурсов трансграничных речных бассейнов - сложных природно-хозяйственных систем, объединенных единством вещественно-энергетических потоков, но разделенных государственными границами.

Пространственная специфика трансграничных бассейнов рр. Урал и Иртыш определяет наличие «зеркальных» интересов Российской Федерации и Республики Казахстан в сфере трансграничного вододеления. Крупный «донор» речного стока для регионов Республики Казахстан – р. Урал с зоной активного стокоформирования в верхних и средних участках водосборной территории, расположенных в пределах российских регионов. Нижнее течение р. Урал (в пределах Республики Казахстан) характеризуется отсутствием боковой приточности и потерей на транзитном участке до 20% годового стока в различные по водности годы.

Трансграничный бассейн р. Иртыш пересекает государственные границы трех стран – Китая, Республики Казахстан и Российской Федерации. Средний участок водосборной территории р. Иртыш, совпадающий с зональным распространением степных ландшафтов, расположен в пределах Республики Казахстан (55% от общей площади бассейна). Для рек среднего участка (рр. Тобол, Ишим и др.), характерны значительные вариации стока в сезонном и многолетнем разрезе - в маловодные годы сток р. Ишим меньше среднего многолетнего в 6-10 раз [2]. Кроме того, среднее течение бассейна р. Иртыш характеризуется значительным уровнем антропогенной нагрузки – в пределах бассейна расположены ключевые центры металлургии и энергетики, крупные гидротехнические сооружения (Бухтарминская ГЭС и др.), а в структуре сельского хозяйства ряда регионов большое значение имеет орошаемое земледелие.

Материалы и методы исследования. Для выявления региональных тенденций изменения климата в качестве исходных приняты ряды данных метеонаблюдений за 76-летний период (1940-2017 гг.) по ключевым метеостанциям, расположенным в трансграничном бассейне р. Урал и на прилегающих территориях. Анализировались среднемесячные и суточные значения приземной температуры и суммы атмосферных

осадков. В качестве базового подхода использован расчет коэффициентов линейного тренда, в результате были сформулированы выводы о направленности, величине и региональных особенностях климатических изменений. Исходными данными для исследования состояния и использования водных ресурсов исследуемой территории стали статистические данные о наличии, использовании и охране водных ресурсов в регионах Российской Федерации и Республики Казахстан. Оценка состояния водных ресурсов производилась на основе сопоставления объема водных ресурсов: а) с объемами используемой воды (коэффициент использования водных ресурсов – $K_{исп}$); б) с численностью населения – потенциальная водообеспеченность (тыс.м³/чел). Отдельно для российских регионов проведен расчет реальной водообеспеченности (отношение среднегодовой величины водных ресурсов за трехлетний маловодный период безвозвратного водопотребления и численности населения [3]).

Результаты и их обсуждение. Как было отмечено выше, актуальность комплексного использования трансграничных водных ресурсов в пределах степной зоны определяется в том числе и тенденциями изменения гидротермических условий. Согласно мультимодельным оценкам, ожидается, что по сравнению с базовым периодом (1980-2000 гг.) к 2030 г. годовая температура в бассейне р. Урал возрастет на 1,6°С [4]. На основе анализа статистических параметров июльских экстремумов приземной температуры в гг. Оренбург и Актоба выявлено следующее: общий характер изменений, в целом, одинаков и характеризуются отчетливо выраженной тенденцией роста экстремумов температуры, особенно в период 1991-2017 гг.; устойчивый рост средней температуры июля сопровождается увеличением суточной амплитуды, что может свидетельствовать о преобладании антициклональной погоды. Установлено также, что для большей части территории бассейна р. Урал и сопредельных территорий характерно сокращение количества осадков в летне-осенний период и увеличение – в весенний и зимний сезоны.

Согласно полученным ранее результатам [5], для большинства рек исследуемого бассейна р.Урал, вне зависимости от площади и физико-географических условий, характерны синфазные колебания речного стока (рис. 1). За длительный ряд наблюдений (1927-2018 гг.) на крупных реках исследуемого бассейна отмечается 5 маловодных периодов, различных по продолжительности и устойчивости. Наиболее продолжительный период низкой водности наблюдался в 1950-1977 гг. (преобладали годы 75-90% обеспеченности), что обусловлено не только условиями естественного увлажнения, но и значительными объемами забора воды на различные нужды. Современный период (2008 – 2018 гг.) также характеризуется преобладанием маловодных лет.

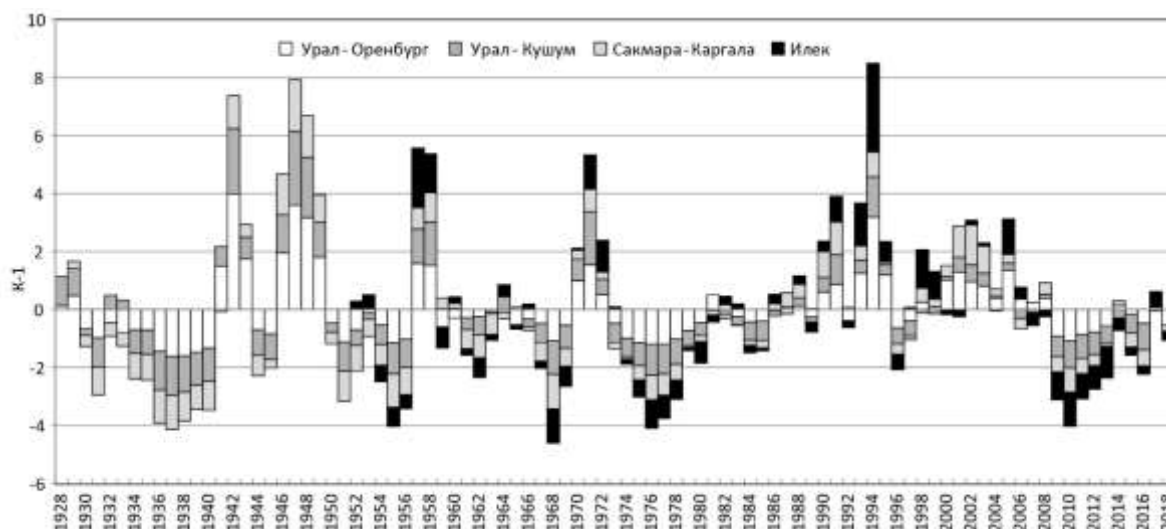


Рисунок 1 - Динамика водности рек бассейна р. Урал (1927-2018 гг.)

Изменение водности рек степной зоны отмечено и для рек трансграничного бассейна р. Иртыш. В частности, уменьшение годового стока р. Ишим под влиянием хозяйственной деятельности за период 1935–2008 гг. составило для казахстанской части бассейна около 13 % [6]. Установлено статистическое значимое уменьшение стока р. Черный Иртыш у с. Боран (Восточно-Казахстанская область) в июле (74,2 м³/с или 25,8 %) и августе (77,4 м³/с или 22,6 %). Указанные изменения речного стока объясняются трансформацией климатических условий и, в первую очередь, общим потеплением климата, определяющим увеличение испарения и смещение границ гидрологических фаз водного режима [7].

Изменение гидроклиматических условий в пределах трансграничных бассейнов р.р. Урал и Иртыш влияет на пространственно-временную специфику распределения водных ресурсов и их использование. Отдельно отметим, что влияние климатического фактора на водопотребление имеет зональный характер и для территории Европейской России увеличивается с севера на юг и с запада на восток по мере сокращения естественного увлажнения, а в зоне избыточного и достаточного увлажнения этот фактор практически не сказывается на объеме водопотребления [3]. Кроме того, использование водных ресурсов (в первую очередь, объем и структура водопотребления) в регионах определяется уровнем социально-экономического развития, численностью населения и физико-географическими условиями (табл. 1).

Таблица 1 - Показатели водопотребления на современном уровне в регионах трансграничных бассейнов рр. Урал и Иртыш [9; 10]

Область	Wвп, млн м ³	Wоб, %	Wсв, млн м ³	В том числе на нужды, %		
				П	К	С/Х
<i>Российская Федерация</i>						
Оренбургская	2710	64	979	88	8	0,9
Челябинская	7359	92	567	54	38	0,2
Омская	1456	87	185	42	51	3,2
Курганская	333	85	51	47	45	0,9
Алтайский край	1178	69	364	60	20	8,8
<i>Республика Казахстан</i>						
Зап.-Казахстанская	627	1	623	12	21	18
Актюбинская	749	4	717	13	35	13
Атырауская	419	47	222	41	10	31
Кустанайская	362	78	78	35	47	18
С.-Казахстанская	353	47	187	88	9	3,7
Павлодарская	7124	55	3191	66	1	33
В.-Казахстанская	970	40	582	34	10	56

Согласно данным табл. 1, в пределах субъектов РФ основная доля водных ресурсов расходуется на производственные и коммунальные нужды, минимальная доля – на нужды сельского хозяйства. Обращает внимание значительная доля оборотной воды в российских регионах – 60-90%, что иллюстрирует достаточно эффективное использование водных ресурсов в различных секторах экономики. Структура водопотребления казахстанских регионов отличается наличием региональной специфики – для большинства регионов характерно преобладание забора воды на производственные и коммунальные нужды (Павлодарская, Северо-Казахстанская, Кустанайская, Актюбинская области). Отдельные регионы характеризуются традиционно высокой долей сельскохозяйственного водопотребления, в том числе регулярного и лиманного орошения (Восточно-Казахстанская, Атырауская области), что, в свою очередь, влияет на сохранение значительной доли безвозвратного изъятия водных ресурсов.

Еще одним сектором водопользования, определяющим безвозвратные потери воды, является регулирование стока, которое в условиях многолетних и сезонных колебаний водного режима рек степной зоны имеет существенное значение для целей гарантированного водообеспечения. В то же время сооружение водохранилищ обуславливает определенное сокращение водных ресурсов за счет дополнительного испарения. Так, по данным наблюдений на Бухтарминском водохранилище, в среднем, безвозвратные потери за счет дополнительного испарения составляют $3,93 \text{ км}^3$ в год [11].

В итоге, региональная специфика использования ресурсов рек и их изменчивость зависят не только от природных условий формирования водных ресурсов, но и от социально-экономических факторов - структуры водопотребления; доли безвозвратного изъятия воды; численности населения и др. Так, сопоставление численности населения и среднемноголетних возобновляемых водных ресурсов, в первую очередь, определяет величину дефицита водных ресурсов. Данный подход предложен И.А. Шикломановым [3] и используется для сравнения различных регионов по величине потенциальной водообеспеченности, которая позволяет судить, в целом, о состоянии водных ресурсов в естественных условиях их формирования. Результаты проведенной оценки данного показателя свидетельствуют о достаточно высокой обеспеченности водными ресурсами в большинстве регионов трансграничных бассейнов р.р.Урал и Иртыш. В первую очередь, данное утверждение относится к российским регионам юга Западной Сибири (кроме Курганской области). Несколько ниже показатели водообеспеченности в Оренбургской и Челябинской областях (2,62 и 4,75 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$ соответственно), что обусловлено недостаточным объемом возобновляемого речного стока в условиях значительного забора воды на различные нужды. Из казахстанских регионов наиболее сложная ситуация с обеспечением водными ресурсами наблюдается в Кустанайской, Северо-Казахстанской и Актюбинской областях (1,7; 1,8 и 3,89 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$ соответственно).

Вместе с тем, с учетом того, что в настоящее время формирование водных ресурсов происходит в нестационарных условиях, использование среднемноголетних значений для оценки состояния водных ресурсов не всегда отражает реальную ситуацию. В связи с этим, целесообразно проводить оценку водообеспеченности в регионах с учетом реальных водных ресурсов [3]. На основе данного подхода, для российских регионов была рассчитана реальная водообеспеченность с учетом среднемноголетних величин трехлетнего маловодного периода 2009-2011 гг. и объемов безвозвратного водопотребления. Результаты оценки иллюстрируют значительное отличие в показателях реальной и потенциальной водообеспеченности (уровень 2015 г.) и, в первую очередь, в регионах со значительными колебаниями речного стока – например, в Челябинской (1,21 и 2,63 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$) и Курганской областях (1,98 и 8,24 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$).

Выводы. С учетом выявленных региональных тенденций изменения климата и водного режима рек степной зоны, одной из приоритетных задач в трансграничных речных бассейнах является обеспечение экономически выгодного и экологически безопасного использования водных ресурсов для всех государств-водопользователей. Успешное решение поставленных задач должно быть достигнуто за счет повышения эффективности использования водных ресурсов рек степной зоны – сокращения объемов безвозвратного изъятия стока и потерь при транспортировке воды; уменьшение водоемкости валового регионального продукта; увеличение в структуре водопотребления доли оборотной воды и др.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственной темы ИС УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем».

Список литературы

1. Данилов-Данильян В.И., Пряжинская В.Г. Сценарии устойчивого регионального водопользования в условиях изменения климата // Проблемы прогнозирования. 2007. № 2. С.62-76.
2. Фролова Н.Л., Ивановская В.В. Особенности водопользования в условиях дефицита водных ресурсов (на примере р. Ишим) // Водное хозяйство России. 2015. №2. С.4-19.
3. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И.А. Шикломанова. - СПб.: Гос. гидролог. ин-т. 2008. 600 с.
4. Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А., Демченко П.Ф., Елисеев А.В., Катцов В.М., Малевский-Малевич С.П., Мохов И.И., Надежина Е.Д., Семенов В.А., Спорышев П.В., Хон В.Ч. Возможные антропогенные изменения климата России в 21 веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С.38-49.
5. Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Современные изменения водного режима рек бассейна р.Урал / Вопросы географии. Сб.145. Гидрологические изменения. М.: Изд. Дом «Кодекс», 2018. 432 с.
6. Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Республики Казахстан. Т. II. Кн. 1. Алматы. 2010. 196 с.
7. Дюсебаева З.М. Многолетнее изменение водного стока р. Черный Иртыш и условий его формирования // Вестник науки Сибири. 2012. №3 (4).
8. Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М. Современные тенденции внутригодового распределения речного стока в бассейне р. Урал // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2020. Т.33. С.112-123.
9. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2017 году (Стат. сб.) / Под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко, А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа. 2018. 230 с.
10. Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Казахстана в 2013-2017 гг. (Стат. сб.) / Под ред. Н.С. Айдапкелова. Астана. 2018. 123 с.
11. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Иртыш на территории Республики Казахстан. ПК «Институт Казгипроводхоз», Алматы, 2005.

РАЗВИТИЕ СИТУАЦИИ ВОКРУГ ПЕРЕБРОСКИ СТОКА В ТРАСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ АРГУНЬ

Солодухин А.А., Шаликовский А.В., Шаликовский Д.А.

Восточный филиал ФГБУ РосНИИВХ, г. Чита

E-mail: vostokniihv@mail.ru

Аннотация. Охарактеризована ситуация, связанная с переброской стока в трансграничном бассейне р. Аргунь (Хайлар) в оз. Далайнор (Хулун). Выполнена оценка потерь стока реки и вероятного времени наполнения оз. Далайнор до проектной отметки.

Ключевые слова: трансграничные речные бассейны, р. Аргунь, оз. Далайнор, гидрологический режим, переброска стока.

DEVELOPMENT OF THE SITUATION RELATED TO FLOW TRANSFER IN THE ARGUN RIVER CROSS-BORDER BASIN

Solodukhin A.A., Shalikovskiy A.V., Shalikovskiy D.A.

RosNIIVKh Eastern branch, Chita

E-mail: vostokniihv@mail.ru

Abstract. The situation related to the flow transfer in the transboundary basin of the Argun (Hailar) River to Lake Dalainor (Hulun) is described. The estimation of the river flow losses and the probable time of the Lake Hulun filling up to the design level was carried out.

Keywords: transboundary river basins, Argun river, Hulun lake, hydrological regime, flow transfer.

Длина р. Аргунь равна 1620 км, что вместе с длиной р. Амур (от слияния р.р. Аргунь и Шилка) составляет 4444 км [1], что позволяет считать р. Аргунь истоком р. Амур. Верхний участок реки (669 км) расположен в Китае, где носит название Хайлар, а далее на протяжении 951 км по фарватеру реки проходит российско-китайская граница. В КНР под р. Аргунь подразумевается только ее пограничный участок, а р. Хайлар считается ее притоком. На основании этого китайская сторона не считает р. Хайлар трансграничной рекой.

Бассейн р. Аргунь граничит с бассейном оз. Далайнор (Хулун). В связи с тем, что при высоких уровнях воды из озера наблюдается сток в р. Аргунь, некоторые авторы считают, что истоком р. Аргунь является самый длинный приток озера – р. Керулен. В этом случае площадь бассейна возрастает со 164 тыс. до 285 тыс. км² (рис. 1), а длина реки – до 2311 км.

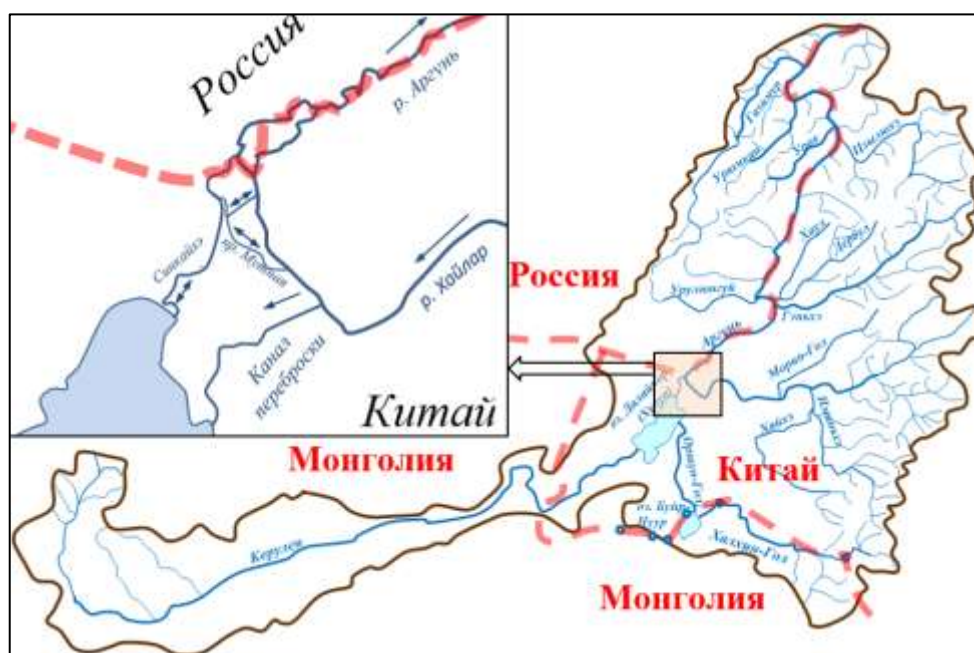


Рисунок 1 – Схема бассейна р. Аргунь и оз. Далайнор

Озеро Далайнор является четвертым по площади пресноводным озером в КНР, но достаточно мелким. При площади 2339 км² его средняя глубина составляет 5,92 м, максимальная – около 8 м, а объем воды – 13,85 км³ [2]. В зависимости от климатических условий уровень оз. Далайнор варьирует в значительных пределах (рис. 2). Последний сухой период начался в 2000 г. и к 2009 г. уровень озера понизился на 4,5 м, площадь зеркала уменьшилась до 1856 км² (на 20 %), а объем воды – почти в 3 раза (до 4 км³).

Для восстановления озера в КНР был реализован проект «Интеграция реки и озера», заключающийся в строительстве канала переброски части стока р. Хайлар в оз. Далайнор. Первая очередь проекта, реализованная в 2009 г., была рассчитана на переброску 0,6 км³/год, а в 2014 г. пропускная способность тракта переброски достигла 1,1 км³/год. Переброска стока позволила к 2016 г. увеличить объем воды в озере до 11,2 км³. При этом повышение уровня наблюдалось только в многоводные 2013-2015 гг., а в

остальные годы весь объем переброски водных ресурсов расходовался на поддержание уровня озера, то есть на испарение.



Рисунок 2 – Многолетние изменения уровня оз. Далайнор

В связи с тем, что цели проекта не были достигнуты, в 2016 г. был принят более интенсивный «План комплексного управления водными ресурсами оз. Далайнор на 2016-2020 гг.». В рамках этого плана было реализовано 40 проектов с общим объемом инвестиций 4,998 млрд. юаней (≈ 750 млн долларов США), направленные на строительство водохозяйственных сооружений, рекультивацию нарушенных земель, восстановление водно-болотных угодий и их экосистем. Тем не менее, до проектной отметки (245,8 м) озеро до сих пор не наполнено, а качество воды характеризуется как сильно загрязненные воды («низшего качества») (табл. 1) – худшее качество по градациям, принятым в КНР.

Таблица 1 – Качество воды оз. Далайнор [3]

Пункт наблюдений	Год	Месяцы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Xiǎo hékǒu	2015	>5	>5	>5	-	>5	>5	>5	>5	>5	>5	-	>5
	2016	>5	>5	>5	-	-	-	-	-	-	-	-	5
	2017	>5	>5	>5	-	>5	>5	>5	>5	>5	>5	-	>5
	2018	>5	>5	>5	-	>5	>5	>5	>5	>5	>5	-	>5
	2019	>5	>5	>5	-	>5	>5	>5	>5	>5	>5	-	>5
	2020	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5
Gān zhū huā	2015	>5	>5	5	-	>5	>5	>5	>5	>5	>5	-	>5
	2016	5	>5	>5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2017	>5	-	-	-	5	>5	>5	>5	>5	>5	-	>5
	2018	>5	>5	>5	-	>5	>5	>5	>5	>5	>5	-	>5
	2019	>5	>5	>5	-	>5	>5	>5	>5	>5	>5	-	>5
	2020	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	>5	5	5

Переброска стока, как и ожидалось [4, 5], крайне негативно отразилась на водном режиме р. Аргунь, а особенно – на начальном отрезке ее пограничного участка,

где на протяжении около 270 км отсутствуют притоки. Здесь отмечаются проблемы водообеспечения, происходит деградация обширных водно-болотных угодий поймы реки, изменение состава флоры и фауны. В несколько меньшем масштабе негативные тенденции отмечаются и ниже по течению р. Аргунь. На гидрологический режим реки также влияют следующие основные факторы:

- а) строительство водохранилищ на притоках р. Хайлар;
- б) рост орошаемой площади от 6 до 10 % в год.

Сложность оценки влияния водохозяйственных мероприятий на сток р. Аргунь и разработки прогнозов развития ситуации обусловлена тем, что на пограничном участке не измеряются расходы воды (табл. 2, рис. 3) и отсутствует информация от китайской стороны, в связи с чем для решения поставленных задач использовались косвенные методы.

Таблица 2 – Гидрологические посты на р. Аргунь

Река – гидропост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Период действия	Данные о стоке воды
р. Аргунь – г/п Молоканка	945	56100	с 2001 г.	-
р. Аргунь – с. Кути	705	62600	с 2003 г.	-
р. Аргунь – с. Новоцурухайтуй	603	96000	с 1904 г.	1951-1952, 1958
р. Аргунь – с. Олочи	425	106000	с 1899 г.	1959-1971



0 – г. Цаган; 1 – г/п Молоканка; 2 – с. Кути; 3 – с. Новоцурухайтуй; 5 – с. Олочи

Рисунок 3 – Расположение российских гидропостов на пограничном участке р. Аргунь и китайского у г. Цаган

Оценка потерь стока р. Аргунь выполнена на сопоставлении отношения годового стока за период совместных наблюдений у с. Олочи и г. Цаган за 1959-1971 гг. и современного отношения между оценками стока у с. Олочи и с. Кути. Установлено, что суммарные потери стока р. Аргунь в последние годы составляют, в среднем, 1,8 км³/год – более половины среднегодового стока реки в пограничном створе.

Прогноз дальнейшего развития ситуации выполнен на основании корреляционной модели «осадки – изменение объема оз. Далайнор». Моделирование сценариев изменения объема озера методом Монте-Карло (рис. 4.) показало, что вероятность наполнения озера до проектного уровня за ближайшие 3 года составляет 10-11 %. То есть, скорее всего оз. Далайнор не будет наполнено за изначально предполагаемые 5-15 лет. В то же время имеется локальный максимум, приходящийся

на 2025-2026 гг. (вероятность – около 33 %), а с вероятностью более 50 % ожидать подъема уровня до проектной отметки следует не позднее 2027 г.

При этом установлено, что и после наполнения оз. Далайнор ситуация на пограничном участке р. Аргунь останется крайне сложной, так как невозможно поддерживать поддерживать проектный уровень без продолжения переброски стока. Результаты моделирования показывают, что безвозвратные потери стока уменьшатся, в среднем, на 0,5 км³/год – до 1,3 км³/год.

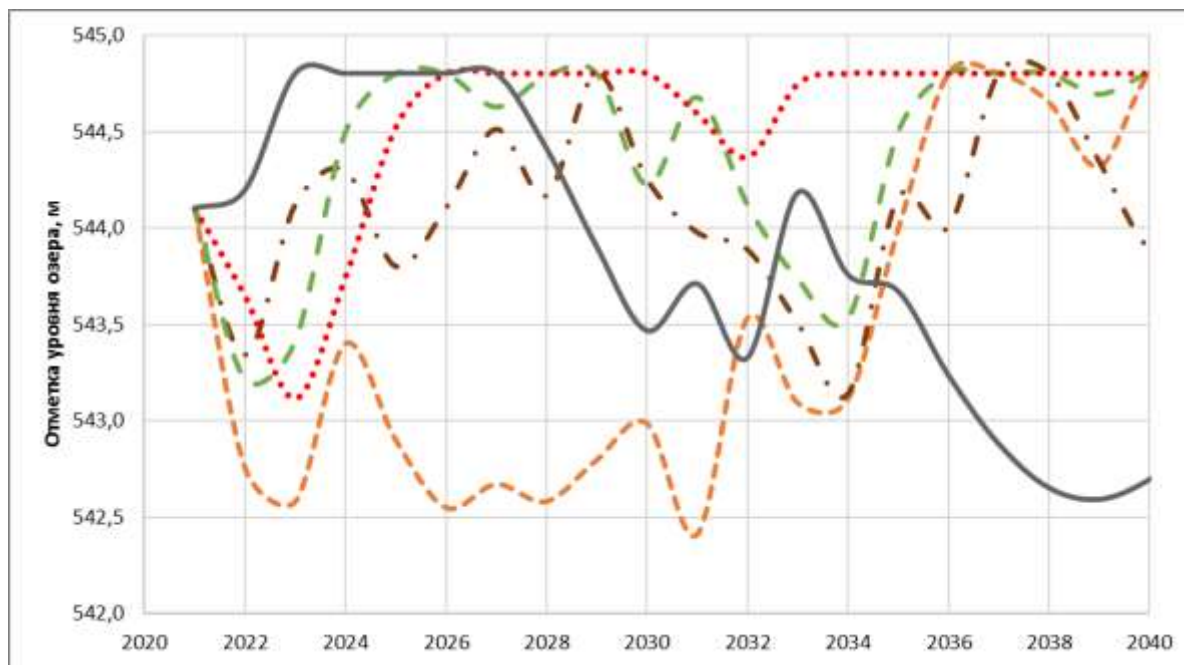


Рисунок 4 – Примеры смоделированных сценариев колебания уровня оз. Далайнор

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и Средний Амур. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 881 с.
2. Озеро Хулун (четвертое по величине пресноводное озеро Китая) (кит.) // Энциклопедия Байду. URL: <https://baike.baidu.com/item/呼伦湖/825655> (дата обращения: 13.04.2019).
3. Ежемесячный контроль качества воды в ключевых долинах рек Внутренней Монголии (кит.). URL: <http://sthjt.nmg.gov.cn/hjfw/hjzk/gkyb/index.html> (дата обращения: 13.05.2021).
4. Шаликовский А.В., Заслоновский В.Н., Курганович К.А., Босов М.А., Солодухин А.А., Шаликовский Д.А. Современная ситуация на пограничном участке реки Аргунь // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 2. С. 4-18.
5. Босов М.А., Заслоновский В.Н., Зыкова Е.Х., Казыкина С.М., Курганович К.А., Надеяева Н.Н., Соколов А.В., Солодухин А.А., Шаликовский А.В., Шаликовский Д.А. Результаты комплексных исследований водного режима, русловых процессов и экологического состояния реки Аргунь // Водное хозяйство России. 2019. № 4. С. 93-113.

ТРАНСГРАНИЧНАЯ ТЕРРИТОРИЯ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА БАЙКАЛА: МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Суходолов А.П.¹, Аношко П.А.², Суходолов Я.А.³, Колесникова А.В.¹

¹ Институт развития, г. Иркутск

² Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, г. Иркутск

³ Институт экономических исследований Дальневосточного отделения РАН,
г. Хабаровск

E-mail: 3952_2018@mail.ru

Подготовлено в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований 18-514-94002 МОКН_а «Национальные интересы России и Монголии в треугольнике отношений Россия, Монголия – Китай: проблемы, противоречия, сценарии».

Аннотация. Озеро Байкал – крупнейший пресноводный водоем планеты, в котором сосредоточено около 20 % мировых запасов поверхностных пресных вод и 80 % российских запасов. Дана характеристика трансграничной части водосборного бассейна Байкала, представленного водной системой р. Селенга – самого крупного притока Байкала. Обозначены потенциальные угрозы для оз. Байкал. Показана необходимость совершенствования международно-правовых инструментов управления трансграничной территорией, учитывающих национальную и глобальную значимости биологического разнообразия в трансграничной территории, а также в контексте устойчивого управления экосистемой бассейна оз. Байкал.

Ключевые слова. Трансграничный бассейн, Байкал, река Селенга, Монголия.

TRANS BOUNDARY TERRITORY OF THE BAIKAL DRAINAGE BASIN: INTERNATIONAL-LEGAL ASPECTS OF GOVERNANCE

Sukhodolov A.P.¹, Anoshko P.A.², Sukhodolov Ya.A.³, Kolesnikova A.V.¹

¹ Institute for Development, Irkutsk

² Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk

³ Institute for Economic Research, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Khabarovsk

E-mail: 3952_2018@mail.ru

Abstract. Lake Baikal is the largest freshwater body on the planet, which contains about 20% of the world's surface freshwater reserves and 80% of the Russian ones. The characteristics of the transboundary part of the Baikal drainage basin, represented by the water system of the Selenga River, the largest tributary of Lake Baikal is given. Potential threats to Lake Baikal are shown. The necessity of creating tools for making short-term and long-term decisions, taking into account the national and global significance of biological diversity in its basin, as well as in the context of sustainable management by the ecosystem of the lake Baikal basin is substantiated, taking into account the world experience is shown.

Keywords. Transboundary basin, Baikal, Selenga River, Mongolia.

Байкал и его бассейн. Озеро Байкал – одно из крупнейших (23,6 тыс. км³ воды) и самых древних (25–30 млн. лет) пресноводных водоемов планеты, уникальное творение природы, величайшая национальная и мировая достопримечательность, включенная 5 декабря 1996 г. Комитетом по всемирному наследию ЮНЕСКО на 12-й сессии в Мериде в список Всемирного природного наследия ЮНЕСКО [1]. Это самое глубокое озеро мира с максимальной глубиной 1 637 м и средней – 730 м, что глубже Каспийского моря в 1,5 раза, северо-американских озер – в 6 раз, оз. Виктория – в 20 раз. Протяженность Байкала с севера на юг – 636 км (расстояние от Москвы до С.-Петербурга), ширина – до 80 км, длина береговой линии – 2 тыс. км.

Располагается Байкал в Российской Федерации (в пределах Иркутской области и Республики Бурятия), на высоте 456 м над уровнем моря. Площадь его водной поверхности 31,5 тыс. км² [2] (что сопоставимо с территорией таких стран, как Бельгия, Дания, Нидерланды). При этом суммарная площадь всего водосборного бассейна Байкала – 571 тыс. км² [2] (больше Франции). На этой территории формируются более 360 рек и ручьев, впадающих в Байкал. Среди них самая крупная по протяженности, площади водосбора и притоку воды в озеро является р. Селенга (рис. 1, табл. 1).



Рисунок 1 – Водосборный бассейн р. Селенга – самого крупного притока Байкала – располагается в пределах Монголии (67 %) и России (33 % водосбора)

Трансграничный бассейн Селенги. Бассейн р. Селенга занимает 78,3 % всей водосборной территории Байкала (табл. 1) и является трансграничным бассейном, расположенным в пределах Монголии и России (табл. 2), где Селенга имеет много притоков, в том числе крупных (табл. 3). Ежегодно Селенга приносит в Байкал в среднем 29,2 км³, или 51 % воды, поступающей в озеро из всех рек и ручьев.

В бассейне р. Селенга имеются сотни озер. Самое крупное – оз. Хубсугул, – на северо-западе Монголии, вблизи российской границы и в 220 км от Байкала, на высоте 1 645 м над уровнем моря [3]. Его площадь – 2,8 тыс. км², глубина 262 м, объем воды 383 км³ (75 % поверхностных пресных вод Монголии). Происхождение и гидрологический режим Хубсугула схож с Байкалом: его также питает много рек и ручьев (96), а вытекает всего одна – Эгийн-Гол – левый приток Селенги. Поэтому монголы называют Хубсугул и Байкал родными братьями, связанными трансграничной р. Селенга, словно пуповиной.

Таблица 1 – Характеристика некоторых рек, впадающих в оз. Байкал

Река, впадающая в оз. Байкал	Длина, км	Водосборный бассейн		Среднегодовое количество притока воды	
		площадь бассейна реки, км ²	доля* в водосборном бассейне Байкала, %	км ³ /год	Доля** в общем притоке всех рек, впадающих в Байкал%
Селенга	1 024	447 060	78,3	29,5	51,0
Верхняя Ангара	438	21 400	3,7	8,4	14,5
Баргузин	438	21 100	3,7	4,1	7,1
Турка	272	5 870	1,0	1,6	2,8
Снежная	173	3 020	0,5	1,5	2,6
Тыя	120	2 580	0,5	1,2	2,1
Утулик	86	965	0,2	0,5	0,9
Большая Речка	43	656	0,1	0,4	0,7
Прочие	...	68 349	12,0	10,6	18,3

* – суммарная площадь всего водосборного бассейна Байкала – 571 тыс. км²

** – среднегодовое количество притока всех рек в оз. Байкал оценивается примерно в 58 км³/год

Таблица 2 – Река Селенга и ее бассейн на территории Монголии и России

Расположение бассейна	Протяженность реки		Водосборный бассейн	
	км	%	тыс. км ²	%
Монголия	615	60,1	299 690	67,0
Россия	409	39,9	147 370	33,0
Всего	1 024	100,0	447 060	100,0

Таблица 3 – Крупные притоки р. Селенги

Река	Длина, км	Площадь водосбора, тыс. км ²	Приток воды, м ³ /сек
Россия			
Чикой	769	46,2	265
Хилок	840	38,5	101
Уда	467	34,8	70
Джида	567	23,5	60
Темник	314	5,5	29
Монголия			
Орхон	1 124	132,8	120
Эгийн-Гол	475	49,1	100
Идэр	452	24,6	57
Дэлгэр-Мурен	445	26,6	35

Трансграничный бассейн представлен различными биогеографическими зонами и экосистемными типами, сочетающими горные, таежные и степные территории, речные долины и полупустыни, где обитают разнообразные виды растительных и животных сообществ, в том числе эндемичных, редких и исчезающих.

Водосборный бассейн в пределах Монголии. Река Селенга и впадающие в нее реки образуют главную водную сеть Монголии, водосборный бассейн которой

занимает около 15 % территории страны. В бассейне расположено 3 крупных города (включая столицу Монголии – Улан-Батор, с населением более 1,5 млн чел.) и семь аймаков (Архангайский, Булганский, Забханский, Селенгинский, Увэрхангайский, Хубсугульский и Центральный) в которых проживает основная часть (около 60 %) монгольского населения, сосредоточены почти все лесные ресурсы и более 70 % сельхозугодий, располагается 65 % промышленных предприятий и формируется около 80 % ВВП страны.

Территория бассейна Селенги, располагая возобновляемыми водными ресурсами, является перспективной для дальнейшего социально-экономического развития Монголии. Здесь наблюдается наибольший экономический рост (около 10 %), что обусловлено не только наличием в регионе значительных минеральных богатств, но и близостью Китая с его постоянно растущей потребностью в минеральном сырье и природных ресурсах. Ожидается, что помимо продолжающейся эксплуатации основных полезных ископаемых – угля, меди и золота, будет наращиваться добыча и другого минерального сырья. Расширяется Дарханский металлургический комбинат, планируется эксплуатация Хубсугульского месторождения фосфоритов. Быстро увеличивается столица Улан-Батор, где проживает почти половина населения страны, а с учетом 200 км зоны – 75 % населения (ожидается, что к 2030 г. население Улан-Батора вырастит до 1,8 млн чел.). Бурно развивается туристская деятельность. Подготовлены проекты строительства четырех ГЭС на р. Селенга и ее притоках (нерестовых реках), что может изменить водный баланс и отрицательно сказаться на воспроизводстве ценных пород рыбы на Байкале.

Необходимость рационального природопользования в бассейне. В результате растущей хозяйственной деятельности за период 1975–2016 г. леса в Монголии сократились на 423 тыс. га, пастбища – на 9 761, водоемы – на 951 тыс. га, при этом площадь городов и населенных пунктов увеличились на 1,4 тыс. га, территорий горных работ – на 50,1 тыс. га, дорог – на 217 тыс. га [4], выросло количество свалок и объемы мусора, загрязнение почв и грунтовых вод. Экосистема и биологическое разнообразие бассейна Байкала подвергаются растущей антропогенной нагрузке, связанной с увеличением населения Монголии и необходимостью роста его доходов, что еще больше увеличивает потребность в природных ресурсах, одновременно увеличивая загрязнение воды и почв. Важно отметить, что указанные антропогенные процессы усугубляются глобальным изменением климата, проявляющимся в Монголии участвовавшими засухами, пыльными бурями, сокращением водности рек в трансграничном бассейне, ростом аридных территорий. Изучение этих изменений показывает, что если обозначенные негативные тенденции будут нарастать, то возникнет серьезная угроза сохранению биоразнообразия этого уникального региона и бассейна Байкала, в целом.

Совершенно очевидно, что социально-экономическое развитие в пределах трансграничной территории должно учитывать национальную и всемирную значимость биологического разнообразия Байкала, необходимость его сохранения как Участка всемирного природного наследия. Эти приоритеты актуальны как для России, на территории которой расположен Байкал, так и для современной Монголии, наиболее освоенная и заселенная часть которой находится в пределах водосборного бассейна Байкала.

Мировое сообщество все более приходит к выводу, что парадигма социально-экономического развития общества должна быть изменена [4]. При этом в современном мире повышается важность управления трансграничными объектами. Уже в 1992 г. на Всемирном саммите в Рио-де-Жанейро были обозначены основные принципы управления водными ресурсами, которые актуальны и для рассматриваемой территории:

1. Пресная вода – истощаемый и уязвимый ресурс. Она необходима для поддержания жизни и развития окружающей среды.

2. Вода – это общественное благо, имеющее социальную и экономическую ценность во всех конкурентных видах ее использования.

3. Улучшение водного режима и управления водными ресурсами подразумевает активное участие водопользователей, лиц, осуществляющих планирование, представителей правительственных структур всех уровней.

4. Комплексное управление водными ресурсами должно основываться на справедливом и эффективном использовании водных ресурсов.

Управление трансграничным водным объектом осложнено двумя основными политико-правовыми факторами: 1) влиянием государственного суверенитета на достижение согласий в области трансграничного сотрудничества; 2) интересами и целями водопользования двух стран, не всегда совпадающими. Для рационального использования природных ресурсов и сбалансированного социально-экономического развития трансграничного бассейна требуются соответствующие международные нормативно-правовые документы.

В какой-то степени такими документами, подписанными монгольской и российской сторонами, стали Договор о дружественных отношениях и сотрудничестве между РФ и Монголией (1993 г.), который был существенно обновлен в 2019 г. [6]. Соглашение между Правительством РФ и Правительством Монголии о сотрудничестве в области охраны окружающей среды, подписанное в 1994 г. и предусматривающее сотрудничество при использовании и охране приграничных водных объектов. В ст. 6 установлено, что для координации работ в рамках указанного Соглашения, стороны создают смешанную Российско-Монгольскую комиссию по вопросам охраны окружающей среды [6].

В 1995 г. правительствами двух стран было подписано Соглашение по охране и использованию трансграничных вод, в котором предусматривалась деятельность по мониторингу состояния трансграничных водных объектов, обмену информацией, согласованию режима использования и эксплуатации трансграничных водных систем, проведению научных исследований и проектов [6].

Еще одним международным документом, обязывающим принимать меры по недопущению отравления или загрязнения пограничных вод химическими веществами и сточными водами, а также иными способами, стал Договор между РФ и Монголией о режиме российско-монгольской государственной границы (2008 г.). В нем используется термин «пограничные воды», определяемый как участки рек, ручьев, проток, рукавов, озер и других водоемов, по которым проходит государственная граница.

Анализ указанных двусторонних международных договоров показывает, что охране трансграничных вод уделялось определенное внимание, наряду с вопросами экономического и политического сотрудничества двух стран. Кроме того, Россия и Монголия руководствуются источниками международного водного права, которые представляют, хоть и нечеткую, но формирующуюся базовую международно-правовую основу совместного использования и охраны международных водотоков. Однако, наряду с этим, приходится констатировать, что на сегодняшний день отсутствуют четкие правовые механизмы разрешения споров и разногласий, связанных с потенциальными угрозами для конкретного трансграничного водного объекта – р. Селенга. Существующая правовая основа не позволяет привлечь к ответственности за экологические правонарушения и преступления государства, причинившие экологический ущерб трансграничному водному объекту и нарушившие экологическую безопасность другого государства.

Кроме того, в существующей международно-правовой базе не нашли должного закрепления действенные механизмы контроля и надзора за исполнением обязательств,

а также институт применения ответственности, что не позволяет эффективно разрешать споры, возникающие в российско-монгольских отношениях по использованию трансграничного водного объекта.

Анализ правовых основ сотрудничества России и Монголии показывает, что страны используют далеко не весь арсенал международно-признанных инструментов совместной защиты трансграничных вод. Сотрудничество между странами в сфере достижения целей устойчивого трансграничного управления водным бассейном оз. Байкал имеет пока сравнительно небольшие успехи. Существующие соглашения обозначают лишь общие намерения сторон и имеют рамочный характер, требуют дальнейшей детальной проработки, в том числе с учетом опыта ряда европейских стран, успешно регулирующих трансграничные водные объекты

Список литературы

1. Суходолов А.П., Федотов А.П., Макаров М.М., Аношко П.А., Колесникова А.В., Суходолов Я.А., Сорокина П.Г. Эколого-правовые и экономические особенности развития Маломорского рыбопромыслового района Байкала // Рыбное хозяйство, № 1, январь-февраль 2021, М., с. 20–26.
2. Государственный водный реестр (код водн. объекта 1601010011116200000013) // <http://www.textual.ru/gvr/index.php?card=204728>.
3. Атлас озера Хубсугул / (под ред. Б.А. Богоявленского). – М.: Гл. упр. геодезии и картографии при СМ СССР, 1989.
4. Трансграничный диагностический анализ бассейна оз. Байкал. <http://baikal.iwlearn.org>
5. Материалы Конференции ООН по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, июнь 1992.
6. Суходолов А.П., Даваасурен А., Колесникова А.В. /International legal aspects of the Russian-Mongolian cooperation in the field of protection and use of the transboundary waters of the Selenga River basin / Modern Law & Development : сетевой журн. 2021. № 1. URL: <https://mldjournal.ru>

ПРОБЛЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И СПОСОБ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Трофимчук М.М.

Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону

E-mail: m.trofimchuk@gidrohim.com

Аннотация. Проблемы оценки качества трансграничных водных объектов не связаны с их трансграничным статусом, а обусловлены недостатками научных подходов. К сожалению, до настоящего времени основой для оценки качества воды служат многократно раскритикованные предельно допустимые концентрации. Качество воды рассматривается, в первую очередь, с антропоцентристских, пользовательских позиций, а в последнюю – с экосистемных. Предлагается экосистемный способ оценки состояния водных объектов на основе термодинамических параметров. Такой подход обеспечивает адекватную оценку состояния экосистем, сопоставимость и единообразную трактовку оценок, не связанную с особенностями водных объектов.

Ключевые слова: Водные экосистемы, оценка состояния, концентрация кислорода, температура, энтропия.

THE PROBLEM OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF TRANSBOUNDARY WATER BODIES AND THE METHOD OF ITS SOLUTION

Trofimchuk M. M.

Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don

Abstract. The problems of assessing the quality of transboundary water bodies are not related to their transboundary status, but are caused by the shortcomings of scientific approaches. Unfortunately, to date, the basis for assessing water quality is the repeatedly criticized maximum permissible concentrations, Water quality is considered primarily from the anthropocentric, user – oriented positions, and last-from the ecosystem ones. An ecosystem method for assessing the state of water bodies based on thermodynamic parameters is proposed. This approach provides an adequate assessment of the state of ecosystems, comparability and uniform interpretation of assessments that are not related to the particularities of water bodies.

Key words: Aquatic ecosystems, assessment of state, oxygen concentration, temperature, entropy.

Одной из проблем использования трансграничных водных объектов является проблема оценки экологического состояния водных объектов. Несмотря на различные требования суверенных государств к выбору конкретных контролируемых показателей качества воды и состояния водных объектов, в основу оценок, в конечном итоге, положена система предельно допустимых концентраций (ПДК).

В настоящее время общепризнано, что используемые методы оценки загрязнения и состояния водных объектов, основанные на сравнении концентраций загрязняющих веществ с предельно допустимыми концентрациями или частными показателями отклика отдельных биотических компонентов водных экосистем, недостаточны [1 – 3]. Такой подход не учитывает, как минимум, двух обстоятельств: возможности адаптации экосистем к негативным воздействиям и возможных трансформаций загрязняющих веществ в природных водах, влекущих изменение их токсических свойств.

Решение проблемы интегральной экологической оценки состояния водных объектов лежит, на наш взгляд, в области термодинамики с ее макроскопическими подходами в описании сложных самоорганизующихся систем. Ранее авторами работ [4–6] была теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность оценки состояния водных экосистем на основе продукционно–деструкционных показателей в термодинамической интерпретации. Основой для расчета термодинамических параметров, характеризующих обобщенное состояние водных экосистем, могут служить гидрохимические показатели такие, как концентрация растворенного кислорода и температура воды [7].

Данные натуральных наблюдений, в частности, полученные с помощью передвижной автоматической станции контроля воды (АСКВ–П) НПО “Тайфун”, установленной на р. Жиздра (рис.1), указывают на то, что преобладающее изменение концентрации кислорода в водном объекте обусловлено биологическими и биохимическими процессами: фотосинтетическим продуцированием и деструкцией органического вещества.

В равновесном состоянии определенной температуре воды соответствует определенная концентрация 100%-ного насыщения растворенного кислорода. В природных водах фактическая концентрация кислорода может соответствовать равновесной концентрации при другой температуре воды. Изменение концентрации кислорода в воде в результате процессов фотосинтетического продуцирования и деструкции органического вещества эквивалентно изменению концентрации кислорода из-за изменения температуры, что, в свою очередь, эквивалентно изменению энтропии экосистемы. Это позволяет рассчитать изменение энтропии, происходящее за счет

биологических процессов, аналогично ее изменениям вследствие вариации температуры.

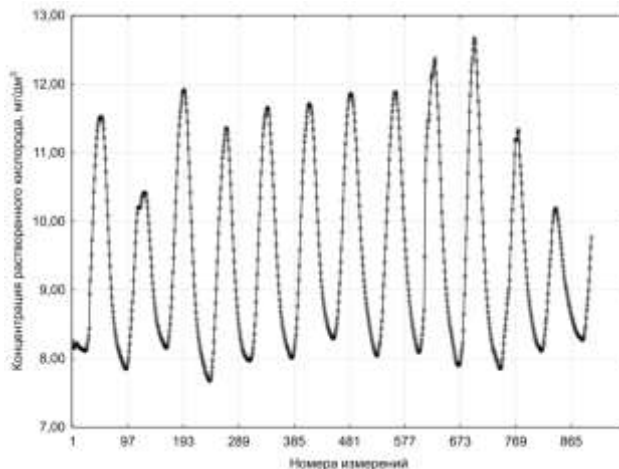


Рисунок 1 – Внутрисуточная динамика концентрации растворенного кислорода. Усредненные за 20 мин. (точки на графике) данные ежеминутных измерений

Изменение энтропии в этом случае рассчитывается по следующей формуле [7, 8,]:

$$\Delta S_t = \ln (T_2/T_1) \quad (1)$$

где $\Delta S_t = S_2 - S_1$ – изменение энтропии; индекс t при ΔS_t означает, что время $t = const.$ (т.е. рассматривается изменение энтропии не по времени, а по температуре); T_1 – температура воды в водном объекте; T_2 – температура воды, соответствующая 100% – ному насыщению кислородом при измеренной концентрации.

Сопоставление динамики продукционно–деструкционных показателей и термодинамических параметров состояния водных экосистем, полученных по гидрохимическим данным, доказывает их эквивалентность, а также корректность теоретических рассуждений, положенных в основу предлагаемого способа оценки (рис. 2).

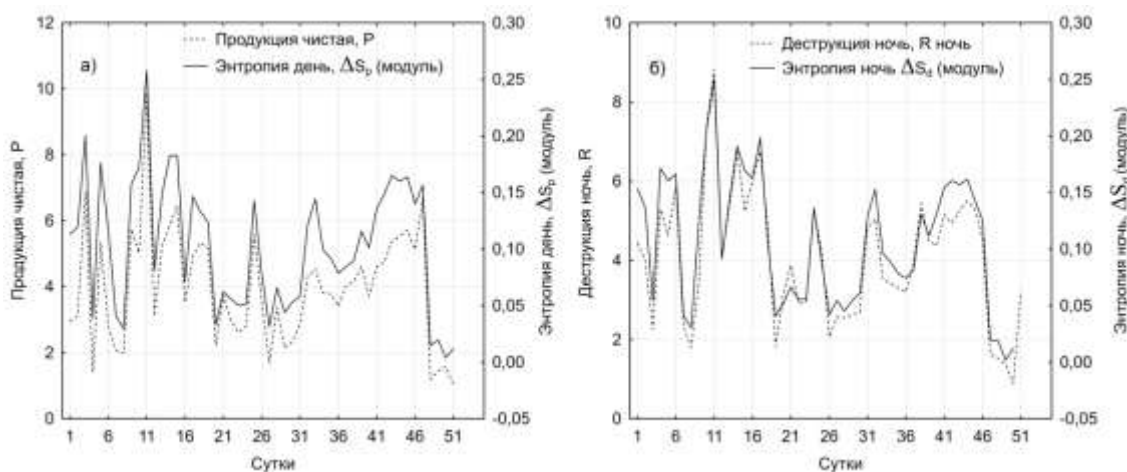


Рисунок 2 – Суточная динамика чистой продукции (P_c) и изменения дневной энтропии (ΔS_p) (а); деструкции (R_d) и изменения ночной энтропии (ΔS_d) (б)

Примечание. Из-за специфики расчетов деструкции и чистой продукции, и изменения энтропии их величины имеют разные знаки. Поэтому при сравнении использованы абсолютные значения изменения энтропии.

Изменение энтропии, вычисленное по (1), является характеристикой продукционно-деструкционных процессов в данной временной точке и может

рассматриваться как результат предшествовавших внутриводоемных процессов. Следовательно, точечные значения изменения энтропии можно рассматривать, как адекватную результирующую оценку экологического состояния водного объекта в данном месте, сформировавшегося за предшествующий период, что подтверждается параллельными расчетами.

На рис. 3а (данные с передвижной автоматической станции контроля качества воды (АСККВ-П, НПО «Тайфун»), установленной на р. Жиздра) представлена траектория изменения энтропии ΔS_t , рассчитанная по точечным измерениям концентрации кислорода и температуры воды, и траектория динамики балансового отношения R/P (R – деструкция органического вещества в темное время суток, P – первичная продукция в светлое время суток), рассчитанного по изменению концентрации кислорода в течение суток. Следует подчеркнуть, что для расчета изменения энтропии использованы минимальные суточные значения концентрации кислорода, как наиболее адекватно отражающие в суточном цикле результат взаимодействия двух противоположных процессов: фотосинтетической продукции и деструкции органического вещества. Графики R/P и ΔS_t проявляют сходные тенденции (с небольшим сдвигом по времени), что подтверждает обоснованность точечной оценки как результирующей предшествующего периода.

Аналогичные результаты получены при сопоставлении динамики R/P и ΔS_t в мезокосмах, в экспериментах по изучению воздействия кадмия на модельные водные экосистемы (рис. 3б) [9].

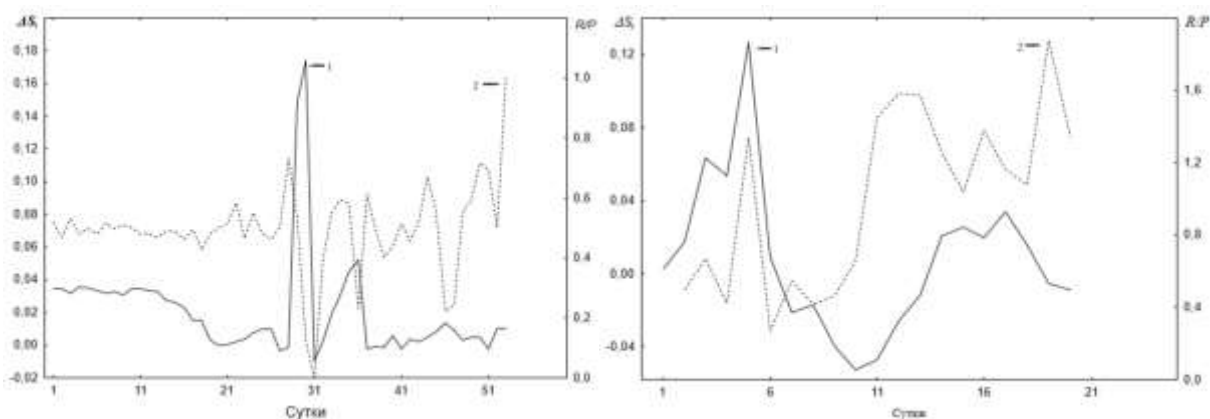


Рисунок 3 – Траектории изменения энтропии ΔS_t (1) и балансового отношения R/P (2) р. Жиздра (а); модельной водной экосистемы (мезокосма) при воздействии сульфата кадмия (б)

Таким образом, традиционные гидрохимические показатели приобретают другой, более глубокий, термодинамический смысл: характеризуют отклонение энтропии водной экосистемы от некоторой нормы, степень которого определяет уровень ее благополучия.

Ранее мы неоднократно подчеркивали значение термодинамического подхода в оценке экологического состояния водных объектов, позволяющего дать макроскопическое описание их состояния в единых терминах и сравнимых величинах, независимо от региональных особенностей и типологии [4 – 6, 9]. Для практического применения этого подхода с использованием при расчете изменения энтропии концентрации растворенного кислорода и температуры воды, и формализации оценок, необходимо сформировать теоретически обоснованную шкалу оценки состояния.

Как следует из формулы (1), для того, чтобы рассчитать значение ΔS_t , по таблице растворимости кислорода определяют значение T_2 – температуры воды, соответствующей 100% насыщению кислородом при измеренной концентрации

кислорода. Например, измеренная в водном объекте концентрация кислорода составила 8,91 мг/дм³. Такая концентрация соответствует концентрации насыщения (равновесной концентрации) при температуре 21,0 °С или 294,15 К. Для краткости изложения назовем ее «равновесная» температура. Измеренная в водном объекте температура воды составила 15 °С или 288,15 К. Изменение энтропии $\Delta S_t = \ln T_2/T_1 = 0,021$.

Предельные значения изменения энтропии ΔS_t в водном объекте можно рассчитать, исходя из крайних теоретически возможных сочетаний измеренных в водном объекте концентрации кислорода и температуры.

1. Допустим, при температуре воды в водном объекте $T_1 = 273,15 \text{ К}$ (0,0 °С) измеренная концентрация кислорода $C = 0,0 \text{ мг/дм}^3$, что по таблице соответствует «равновесной» температуре $T_2 = 373,15 \text{ К}$ (100 °С). В этом случае изменение энтропии примет максимальное значение:

$$\Delta S_t = \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \frac{373,15}{273,15} = 0,312 = \max$$

Такое значение отклонения энтропии предполагает практически отсутствие фотосинтеза, а инвазия кислорода полностью нивелируется потреблением кислорода на окисление органических и неорганических соединений. С известными допущениями такое состояние может быть интерпретировано как смерть экосистемы и реально встречается в некоторых водных объектах, подверженных экстремальному загрязнению.

2. Максимальная температура воды Мирового океана составляет около 36 °С [10]. Это значение следует принять за крайнее, при котором возможна экосистемная жизнь. То есть, если при температуре воды $T_1 = 309,15 \text{ К}$ (36 °С) измеренная концентрация кислорода $C = 14,62 \text{ мг/дм}^3$, что по таблице соответствует «равновесной» температуре $T_2 = 273,15 \text{ К}$ (0,0 °С), то в этом случае изменение энтропии примет минимально возможное значение.

$$\Delta S_t = \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \frac{273,15}{309,15} = -0,123 = \min$$

Указанный диапазон от 0,312 до - 0,123 разбит на пять классов, соответствующих тому или иному состоянию (табл. 1). Для краткости изложения в дальнейшем будем называть величину изменения энтропии – энтропийный индекс.

В качестве иллюстрации использования представленного выше классификатора (табл. 1) проведена оценка экологического состояния ряда водных объектов по энтропийному индексу в сопоставлении с классом качества воды по удельному комбинаторному индексу (рис. 4). Для наглядности выбраны заведомо чистые водные объекты, в частности оз. Байкал, априори рассматриваемое как эталонный водный объект, и объекты с чрезвычайно высоким уровнем загрязнения. Для расчета использованы многолетние данные по концентрации кислорода и температуре воды, полученные на государственной наблюдательной сети.

Таблица 1 – Классификация экологического состояния

	Энтропийный индекс	Экологическое состояние
1	-0,123 – 0,062	Предельно благополучное
2	0,063 – 0,124	Благополучное
3	0,125 – 0,187	Удовлетворительное
4	0,188 – 0,249	Неблагополучное
5	0,250 – 0,312	Предельно неблагоприятное

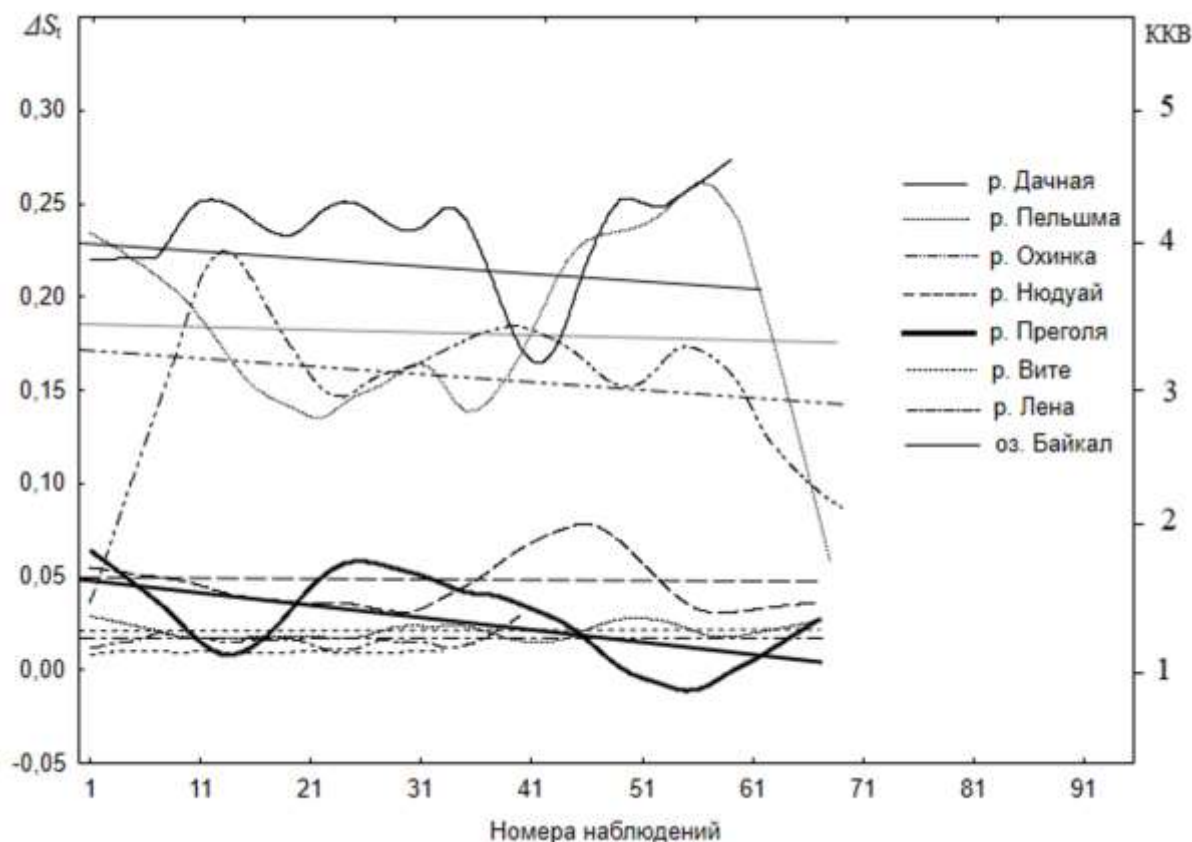


Рисунок 4 – Энтропийный индекс водных объектов ΔS_i (робастная регрессия – кривые линии, линейные тренды – прямые пунктирные линии соответствующего типа) в сопоставлении с классом качества воды по УКИЗВ.

В приведенном примере оценки экологического состояния представленных водных объектов незначительно отличаются от оценок уровня загрязнения, но в основном соответствуют классу качества воды (ККВ).

Обращает на себя внимание характер динамики энтропийного индекса водных объектов различного уровня загрязнения. Для чистых, благополучных водных объектов характерны более стабильные значения энтропийного индекса. Это важная для оценки состояния водных объектов закономерность свидетельствует о том, что экосистемы, не подверженные антропогенной нагрузке и находящиеся в естественном состоянии, обеспечивают сбалансированное по затратам энергии существование в стационарном режиме. Необходимо подчеркнуть, что в данном контексте стабильность не означает устойчивость экосистем к внешним воздействиям. В грязных реках значения энтропийного индекса подвержены существенным колебаниям. Эти особенности могут свидетельствовать о неестественном состоянии водных экосистем загрязненных водных объектов, регулярно реагирующих на негативные внешние воздействия. Следует предположить, что оценка состояния экосистемы по энтропийному индексу на основе предложенной шкалы, отражающая благополучие экосистемы, не всегда может совпадать с оценкой уровня загрязнения. И это вполне объяснимо и не противоречит смыслу оценок.

Степень загрязнения характеризует качество окружающей среды, а отклонение энтропии от нормы – состояние экосистемы, существующей в данной окружающей среде, т. е. результат воздействия загрязнения. Состояние экосистемы, уровень ее благополучия, не должны быть прямо связаны со степенью загрязненности водного объекта по ряду причин, одна из которых – возможность адаптации экосистем к негативным воздействиям, другая – возможные трансформации загрязняющих веществ в природных водах, влекущие изменение их токсических свойств. Однако, очевидно,

что увеличение концентрации загрязняющих веществ в воде до критического уровня или их продолжительное воздействие может превысить адаптационные возможности экосистем, что и приведет к изменению их состояния. Помимо этого, необходимо учитывать, что линейное разбиение оценочной шкалы на пять классов, в известной мере, формально и скорее дань традиции, а не научно и статистически обоснованное решение. При дальнейшем накоплении материала по оценке водных объектов по энтропийному индексу возможна корректировка шкалы.

Несостоятельность отождествления уровня загрязнения и экологического состояния водного объекта хорошо выявляется в ходе натуральных экспериментов с контролируемым внесением загрязняющих веществ. На рис. 3б представлены графики динамики R/P и ΔS_i в мезокосме, в который в начале эксперимента однократно был внесен серноокислый кадмий в концентрации, в 100 раз превышающей предельно допустимую. Не вдаваясь в детальное обсуждение реакции модельной экосистемы на токсическое воздействие, можно отметить, что ее состояние находится в пределах благополучного. Аналогичные результаты были получены в многочисленных экспериментах в мезокосмах с использованием различных токсикантов в разнообразных концентрациях и вариантах воздействия [9, 11].

Предложенный подход на основе энтропийного индекса дает возможность, используя традиционные гидрохимические показатели, концентрацию растворенного кислорода и температуру воды, решать задачу по интегральной оценке экологического состояния водных объектов. Достоинства такого подхода очевидны. Базой для расчета энтропийного индекса служат регулярные данные, получаемые на государственной наблюдательной сети на пунктах всех категорий. Методика определения концентрации кислорода в воде тривиальна и надежна, а использование приборов (оксиметров) до предела упрощает измерения и, в известной мере, снимает проблему квалификации кадров. Организация дополнительных пунктов наблюдения на трансграничных водных объектах, ближе к государственным границам, не потребует значимых дополнительных материальных и финансовых затрат. Реализация измерений в автоматизированном режиме с передачей данных по беспроводным каналам связи позволит получать сведения о состоянии водных объектов в режиме реального времени и, в случае необходимости, принимать своевременные управленческие решения.

Предложенный способ оценки экологического состояния водных объектов может послужить основой для оптимизации системы мониторинга состояния и загрязнения трансграничных водных объектов. Оценивая термодинамическое состояние водных экосистем в конкретных физико-химических условиях, тем самым оценивается комплексное воздействие загрязняющих веществ. Энтропийный индекс может являться финальной оценкой экологического состояния водного объекта, если таковое отнесено к разряду благополучного. В случае, если оценка водных объектов неблагоприятная, это может служить основой для принятия решения о более детальных исследованиях. Такой дифференцированный подход к оценке экологического состояния дает возможность сокращать количество наблюдений за загрязняющими веществами в благополучных водных объектах и более детально исследовать неблагоприятные.

Список литературы

1. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология. Методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
2. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеоздат. 2005. 576 с.
3. Фрумин Г. Т., Тимофеева Л. А., Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути решения, Междисциплинарный науч. и приклад. журнал. «Биосфера», 2014, т. 6, № 2, с. 118 – 133.

4. Никаноров А.М., Трофимчук М.М. Особенности термодинамики внутриводоемных процессов в пресноводных экосистемах при антропогенном воздействии // Докл. РАН. 2010. Т. 433, №2, с. 254 – 256.
5. Никаноров А.М., Трофимчук М.М. Термодинамика внутриводоемных процессов в пресноводных экосистемах при антропогенном воздействии // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 4, с. 454 – 463.
6. Никаноров А.М., Трофимчук М.М. Метаболическая мощность экосистем как мера их устойчивости к внешним воздействиям. // Докл. акад. наук. 2013. Т. 448, № 3, с. 338-341.
7. Трофимчук М.М. О возможности оценки экологического состояния водных объектов на основе энтропии. // Метеорология и гидрология, 2018, № 7, с. 80 – 86.
8. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1982. 520 с.
9. Никаноров А.М., Трофимчук М.М., Сухоруков Б.Л.. Методы экспериментальной гидроэкологии, Ростов-на-Дону, Изд-во «НОК», 2012, 309 с.
10. Кан С. И. Океан и атмосфера, М.: Наука, 1982. 170 с.
11. M.M. Trofimchuk Sustainability of Water Ecosystems: From Theory to Practice. Springer Nature Switzerland AG 2020. Sustainability Perspectives: Science, Policy and Practice, Strategies for Sustainability, https://doi.org/10.1007/978-3-030-19550-2_4

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ПИТЬЕВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ТРАНСГРАНИЧНОГО БАСЕЙНА РЕКИ СЕЛЕНГА НА ТЕРРИТОРИИ МОНГОЛИИ

Ульзетуева И.Д., Гомбоев Б.О., Жамьянов Д.Ц.-Д.

ФГБУН Байкальский институт природопользования СО РАН, Россия, Улан-Удэ

E-mail: idualz@mail.ru

Аннотация. Приведена оценка канцерогенного риска воздействия питьевых поверхностных вод на здоровье населения трансграничного бассейна р. Селенга на территории Монголии. Установлено, что на территории Селенгинского аймака риск развития индивидуального канцерогенного эффекта от воздействия мышьяка на здоровье населения, связанного с качеством питьевой воды, является высоким, что требует государственного регулирования риска и разработки соответствующих нормативов

Ключевые слова: трансграничный бассейн, р. Селенга, антропогенные факторы, оценка риска, питьевая вода.

ECOLOGICAL AND HYGIENIC ASSESSMENT OF CARCINOGENIC RISK OF DRINKING SURFACE WATER OF THE TRANSBOUNDARY BASIN OF THE RIVER SELENGA IN THE TERRITORY OF MONGOLIA

Ulzetueva I.D., Gomboev B.O., Zhamyanov D.TS.-D.

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Russia, Ulan-Ude

E-mail: idualz@mail.ru

Abstract. An assessment of the carcinogenic risk of the impact of drinking surface waters on the health of the population of the Selenga river transboundary basin in Mongolia is presented. It has been established that on the territory of the Selenga aimag, the risk of developing an individual carcinogenic effect from the impact of arsenic on public health associated with the quality of drinking water is high, which requires state regulation of the risk and the development of appropriate standards.

Key words: Selenga River transboundary basin, anthropogenic factors, risk assessment, drinking water.

Исследование качества водных ресурсов является важнейшим предметом изучения на территориях с трансграничными водными объектами. В связи с интенсивно растущей антропогенной нагрузкой на поверхностные воды в результате

развития хозяйства, главной задачей при осуществлении государственной политики каждой страны в области охраны водных источников является обеспечение здоровья и благополучия человека.

Анализ литературных данных показывает, что наиболее перспективным подходом к ранжированию влияющих факторов окружающей среды различной природы является концепция оценки риска. В данном случае устанавливается не порог безопасности, а допустимый порог, т.е. предельный, за который нельзя переходить, но который все же предусматривает нанесение ущерба населению в статистических пределах, обоснованных экологическими, техническими или другими соображениями. Результаты, получаемые на основе концепции риска, обычно представляются либо в виде верхних пределов дополнительного риска (ожидаемая частота заболеваний в результате воздействия загрязняющих веществ в определенной концентрации), либо в виде верхних уровней концентрации загрязняющих веществ при заданном уровне риска.

В настоящей работе нами использована методология, применяемая Агентством по охране окружающей среды США [1,2] для количественной оценки канцерогенного риска воздействия химических соединений, присутствующих в поверхностных водах на примере некоторых аймаков Монголии. Применение данной методики по оценке риска дает большое преимущество по сравнению с традиционными методами регулирования, которые основываются на сравнении уровней фактического загрязнения и нормативных величин этих загрязнений при разработке оздоровительных мероприятий. Методика позволяет также получить количественные характеристики реального и потенциального ущерба здоровью населения от воздействия загрязнения поверхностных водных источников в рамках единого процесса принятия решения, основываясь на которые определяются меры по снижению риска вместе с ограничениями на ресурсы и время. С помощью этой методики осуществляют прогноз ситуации, а именно проводят расчеты риска на существующее положение и на перспективу. Это имеет большое практическое значение при организации санитарно-защитных зон промышленных предприятий, рекультивации загрязненных территорий, оценке планов мероприятий, охраны водных источников от загрязнения, особенно в условиях интенсивно развивающейся добычи полезных ископаемых.

Расчет индивидуального пожизненного канцерогенного риска (ICR) рассчитывается путем умножения среднесуточной дозы (или среднесуточного поступления) за весь период жизни (LADD) на величину SF:

$$ICR = LADD * SF_0 (1),$$

где значение ICR характеризует верхнюю границу канцерогенного риска за среднюю продолжительность жизни (70 лет). Таким образом, величина ICR является оценкой индивидуального риска развития рака за среднюю продолжительность жизни человека.

Во многих странах мира принята классификация индивидуального пожизненного риска, рекомендованная ВОЗ в 1996, 1999, 2000 гг., а также утвержденная рядом методических документов ряда зарубежных стран [3]: высокий риск $>10^{-3}$, средний риск $10^{-3}-10^{-4}$, низкий (допустимый) риск $10^{-4}-10^{-6}$, минимальный (желательный) целевой риск $<10^{-6}$.

По полученным аналитическим данным во время экспедиционных работ на территории Монголии [4] по содержанию неорганических веществ в питьевых поверхностных водах 4-х аймаков выделены приоритетные загрязняющие канцерогенные вещества (хром, мышьяк, кадмий, никель и свинец). Для указанных веществ был рассчитан индивидуальный канцерогенный риск для здоровья населения при их потреблении.

Так как на исследуемой территории присутствует многокомпонентное химическое загрязнение объектов окружающей среды, возникает необходимость

изучения суммарных рисков, обусловленных одновременным комплексным воздействием сразу нескольких химических веществ и соединений. В рамках методологии оценки риска комбинированное воздействие канцерогенов принято рассматривать как аддитивное.

Данные по относительной канцерогенной силе неорганических соединений (SF_0) и их содержанию в питьевых и поверхностных водах в ряде аймаков Монголии, загрязняющих воду, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Канцерогенный потенциал загрязняющих веществ SF_0 и их содержание в питьевых и поверхностных водах Монголии

Соединение	SF_0 (мг/(кг*сут))- 1	$C, \text{мг/л} \cdot 10^{-3}$									
		Аймак									
		Булганский			Селенгинский			Хубсугульский			Арханга
		$C_{\text{мин}}$	$C_{\text{макс}}$	$C_{\text{ср}}$	$C_{\text{мин}}$	$C_{\text{макс}}$	$C_{\text{ср}}$	$C_{\text{мин}}$	$C_{\text{макс}}$	$C_{\text{ср}}$	$C_{\text{макс}}$
Хром	0,42	3,6	3,7	3,65	3,6	29	10,12	3,6	3,6	3,6	3,6
Мышьяк	1,5	2,1	4,3	3,03	2,1	31	10,2	2,1	3,9	2,57	3,8
Кадмий	0,38	6,2	11,2	7,86	2,7	13	7,15	0,38	11,0	6,07	11,1
Никель	1,7	0,18	0,24	0,2	0,21	2,2	0,69	0,04	0,2	0,11	0,09
Свинец	0,047	0,66	2,13	1,1	0,72	3,1	2,2	0,05	0,56	0,7	0,09

По данным табл. 1 содержание мышьяка в водах Селенгинского аймака и кадмия в водах всех рассматриваемых аймаков свидетельствуют о превышении их нормативного содержания в питьевой воде, принятого стандартом качества воды в Монголии [5].

Результаты расчетов индивидуального пожизненного риска от потребления воды, содержащей неорганические токсиканты, приведены в табл. 2. Суммарный риск рассчитывался по обычной аддитивной схеме.

Таблица 2 - Значения индивидуального пожизненного риска (ICR) при потреблении воды, содержащей неорганические соединения для аймаков Монголии, 10^{-5}

Соединение	ICR									
	Аймак									
	Булганский			Селенгинский			Хубсугульский			Арханг
	$ICR_{\text{ми}}$	$ICR_{\text{макс}}$	$ICR_{\text{срR}}$	$ICR_{\text{мин}}$	$ICR_{\text{максC}}$	$ICR_{\text{срR}}$	$ICR_{\text{мин}}$	$ICR_{\text{максC}}$	$ICR_{\text{срR}}$	$ICR_{\text{макс}}$
Хром	4,32	4,44	4,38	4,32	34,80	12,14	4,32	4,32	4,32	4,32
Мышьяк	9,00	18,43	12,99	9,00	132,86	43,71	9,00	16,71	11,01	16,29
Кадмий	6,73	12,16	8,53	2,93	14,11	7,76	0,41	11,94	6,59	12,05
Никель	0,87	1,17	0,97	1,02	10,69	3,35	0,19	0,97	0,53	0,44
Свинец	0,09	0,29	0,15	0,10	0,42	0,30	0,01	0,08	0,09	0,01
Сумм.риск	21,01	36,26	27,02	17,37	192,87	67,27	13,93	34,02	22,55	33,00

Анализ данных табл. 2 показывает, что для неорганических соединений наибольшие уровни риска соответствуют хрому ($ICR_{\text{макс}} = 3,48 \cdot 10^{-4}$) для Селенгинского аймака; по мышьяку ($ICR_{\text{макс}} = 1,33 \cdot 10^{-3}$, $1,84 \cdot 10^{-4}$, $1,67 \cdot 10^{-4}$, $1,63 \cdot 10^{-4}$) для Селенгинского, Булганского, Хубсугульского, Архангайского аймаков, соответственно; по кадмию ($ICR_{\text{макс}} = 1,41 \cdot 10^{-4}$, $1,22 \cdot 10^{-4}$, $1,2 \cdot 10^{-4}$, $1,19 \cdot 10^{-4}$) Селенгинского, Булганского, Архангайского, Хубсугульского аймаков, соответственно и по никелю ($ICR_{\text{макс}} = 1,07 \cdot 10^{-4}$) для Селенгинского аймака.

Таким образом, высокий индивидуальный пожизненный риск от потребления воды, содержащей мышьяк, имеет большую вероятность в Селенгинском аймаке, при его максимальном содержании в питьевых водах.

Следует отметить, что мышьяк обладает доказанным канцерогенным действием и в последующем постоянное потребление питьевой воды с таким содержанием мышьяка может вызвать не только хронические болезни, но развитие канцерогенного риска (онкологических заболеваний). Употребление воды, загрязненной мышьяком, является причиной возникновения заболеваний легких, включая нарушение функции дыхания, онкологические поражения легких, бронхоэктатическую болезнь. Действие мышьяка через питьевую воду на организм детей в раннем возрасте или в утробе матери может привести к возникновению легочной патологии и это ведет к значительному увеличению смертности среди лиц молодого возраста от рака и бронхоэктатической болезни [6].

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что на территории бассейна трансграничной р. Селенга в поверхностных водах содержание мышьяка и кадмия на территории Селенгинского аймака превышают их гигиенические нормативы. Расчёт канцерогенных рисков показал, что исследованные поверхностные питьевые воды при условии их постоянного длительного использования в Булаганском, Хубсугульском и Архангайском аймаках формируют средние и низкие допустимые уровни канцерогенного риска для здоровья населения, а в Селенгинском аймаке - высокие. Следовательно, высокие концентрации кадмия и мышьяка в питьевых водах трансграничного бассейна р. Селенга обуславливают высокие риски развития заболеваний, что, в свою очередь, определяет эти воды как непригодные для хозяйственно-питьевого использования населением, соответственно, требуется проведение определенных мероприятий для снижения риска здоровью. Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки методики государственного регулирования риска и разработки соответствующих нормативов, при этом необходимо учесть методологию оценки риска влияния качества питьевой воды на здоровье населения в системе эколого-гигиенического мониторинга.

Список литературы

1. Crouch, E. A. C., Wilson, R., and Zeise, L., 1983, "The Risks of Drinking Water," *Water Resources Res.* 19:1359–1375.
2. Nowell LH(1), Resek EA. National standards and guidelines for pesticides in water, sediment, and aquatic organisms: application to water-quality assessments. *Reviews of environmental contamination and toxicology.* Springer-Verlag.N.Y.:Inc., 1994. Vol.140, p.1-164.
3. The Integrated Risk Information System (IRIS), prepared and maintained by the U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Health and Environmental Assessment, ECAD, Cincinnati, OH, 1987-1996.
4. Integral Assessment of Anthropogenic Pressure on Water Bodies in the Lake Baikal Basin/ Ulzetueva, I.D., Gomboev, B.O., Zhamyanov, D.Ts.D., Batomunkuev, V.S., Z.E. Banzaraktsaev // *GEOLINKS 2020 International Scientific Conference, 5-7 October, Plovdiv, Bulgaria, ISSN 2603-5472, ISBN 978-619-7495-07-2, WATER RESOURCES Section/ Book №1-pp.273-280. DOI: 10.32008 / GEOLINKS2020 / B1 / V2 / 27*
5. 1051-1058 MNS (Национальный стандарт Монголии) 4568 (1998) Стандарт качества воды, Монголия
6. Насолодин В. В. Взаимодействие микроэлементов в процессе их обмена в организме / В. В. Насолодин, В. Л. Широков, А. В. Люсин // *Вопросы питания.* 1999. № 4. С. 10–13.31.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ МЕДИ В РЕКЕ КУНДРЮЧЬЯ

Усова Е.В.¹, Воробьев Е.В.^{1,2}

¹Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр, г. Ростов-на-Дону

²Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону
e-mail: usova.elena@list.ru

Аннотация: В статье рассматривается загрязнение трансграничной реки Кундрючья ионами меди. Проводится анализ динамики и возможных источников их поступления в водоем. Анализируется связь с другими растворенными веществами.

Ключевые слова: трансграничный водоем, мониторинг водных объектов.

LONG-TERM DYNAMICS OF COPPER IONS CONCENTRATION IN THE KUNDRUCHYA RIVER

Usova E.V.¹, Vorobev E.V.^{1,2}

¹Russian Information, Analytical and Research Water Management Center, Rostov-on-Don

²Southern Federal University, Rostov-on-Don
e-mail: usova.elena@list.ru

Abstract: The article considers the contamination of the transboundary Kundryuchya River with copper ions. An analysis of the dynamics and possible sources of their entry into the water body is given. The relationship with other solutes is analyzed.

Keywords: transboundary water body, monitoring of water bodies.

Загрязнение водных объектов – одна из самых серьезных экологических проблем современности. А если такие объекты располагаются на территории нескольких государств, то возникают серьезные сложности связанные не только с оценкой состояния самого водоема, но и в связи с установлением источников загрязнения. При ведении мониторинга таких проточных водных объектов, как реки, необходим также пространственный регулярный анализ динамики как химического состава воды, так и донных отложений. Кроме того, такие объекты, как правило, испытывают повышенную антропогенную нагрузку. Например, р. Иртыш, протекающая по территории трех государств (Китай, Казахстан, Россия), входит в пятерку самых грязных рек России [1].

Тяжелые металлы – один из самых серьезных загрязнителей водных объектов. Среди тяжелых металлов особенное внимание уделяется концентрации ионов меди, так как токсикологическое действие данного металла на планктон, ракообразных и рыб оценивается как «высокое» [2]. Негативное влияние на живые организмы медь оказывает за счет того, что может входить в состав ферментов, отвечающих за окислительно-восстановительную активность.

Источники меди условно подразделяются на природные (горные породы, минералы, вулканические газы и термические источники) и антропогенные (металлургия, вымывание из отвалов шахт и рудников, смывание пестицидов и удобрений с полей).

Концентрация ионов меди в водных средах может зависеть от большого количества факторов (помимо перечисленных источников загрязнения). Ряд исследователей отмечает, что на динамику катионов влияют такие факторы, как присутствие гуматов и каолиновых глин, pH водной среды и концентрация гидрокарбонатов. [3] Так как медь может быть центром комплексообразования, то в

зависимости от присутствия тех или иных лигандов, концентрирование может происходить как в водной среде, так и в донных отложениях. В некоторых исследованиях отмечается четкая корреляция с особенностями почв вблизи водоема. При этом исследователи указывают, что помимо вымывания и накопления соединений меди в донных отложениях, они отмечали увеличение концентрации меди в воде во время засухи. Помимо концентрирования в результате уменьшения объема воды, это происходило в результате изменения баланса веществ между донными отложениями и водами р. Эррен в Тайване [4].

Наличие гуминовых веществ приводит к сорбированию ионов меди, связыванию его в комплекс и миграции в коллоидных формах. Связь содержания меди и гуматов отмечена также в исследовании химического состава р. Турсо (Северная Шотландия) [5].

Аналогичная ситуация происходит при высокой жесткости – наличии гидрокарбонатов. Существует исследование, в котором отмечается, что при увеличении карбонатной жесткости и уровня рН в весенний и осенний периоды образуются гидрокарбонатные комплексы меди, которые переходят в форму гидроксидов и сорбируются в донных отложениях [6]. Другие данные показывают, что в слабокислых водах (рН=6.5) подземных источников, которые могут служить основой для рек, мы можем наблюдать высокие значения концентрации ионов меди.

Объектом исследования была выбрана трансграничная р. Кундрючья, которая является притоком Северского Донца и находится на границе Луганской и Ростовской областей. В створе отмечается высокий уровень содержания различных загрязняющих веществ, который может быть рассмотрен с помощью обобщенного оценочного балла (табл. 1). Средняя величина УКИЗВ за рассматриваемый период (с марта 2003г. – по декабрь 2020 г.) составляет - 4,51. Качество воды соответствовало классу воды 4, что характеризует ее как «грязную».

Таблица 1 - Характеристики загрязнения, учитываемые при расчете УКИЗВ

Ингредиент	Количество наблюдений	Среднее превышение ПДК	Хар-ка по повторяемости превышения ПДК	Хар-ка по кратности превышения ПДК
1	2	3	4	5
Сульфаты	177	7.09	4 - характерный	2.64 - средний
Марганец 2+	176	5.83	4 - характерный	2.14 - средний
Медь	177	3.61	4 - характерный	2.06 - средний
ХПК	177	1.9	4 - характерный	1.91 - низкий
Нитриты	177	1.22	3.93 - устойчивый	1.94 - низкий
БПК5	177	1.45	4 - характерный	1.58 - низкий
Железо общее	177	0.96	3.25 - устойчивый	1.79 - низкий
Никель		0.75	2.67 - неустойчивый	1.52 - низкий
Нефтепродукты	177	0.7	2.21 - неустойчивый	1.66 - низкий
Азот аммонийный	177	0.69	2.71 - неустойчивый	1.34 - низкий
Цинк	177	0.29	1.27 - единичный	1.18 - низкий

Река Кундрючья протекает через Восточный Донбасс. Этот регион является промышленным, активно используется для добычи каменного угля. В Восточном Донбассе развито также сельское хозяйство. Таким образом, загрязнение реки Кундрючья приводит к негативному влиянию на фауну водоема и, далее, на здоровье

человека. Города Новошахтинск и Красный Сулин используют воду из Соколовского водохранилища, расположенного на рассматриваемом водном объекте.

Материалом для работы послужили исследования, проведенные с 2003 по 2020 гг. отделом исследования качества вод и аналитической деятельности ФБГУ «РосИНИВХЦ». Отбор проб воды осуществлялся в р.Кундрючья на границе Украины и России (нижний бьеф Должанского водохранилища). Пробы отбирались на расстоянии 1,5-2,0 м от берега у поверхностного слоя 0,5 м, согласно ГОСТ [8]. Пробы отбирались с марта 2003 г. по декабрь 2020 г. Определение количественного содержания ионов меди в воде выполнялось в соответствии с методикой, включенной в государственный реестр методик КХА и оценки состояния объектов окружающей среды, допущенных для государственного экологического контроля и мониторинга. Отбор проб осуществлялся в стеклянные емкости и, при необходимости, проводилась их консервация.

Колебания содержания ионов меди за рассматриваемый период находились в диапазоне от 0 до 0,0087 мг/дм³ при ПДК = 0,001 мг/дм³. Такое наблюдалось вплоть до восьмикратного превышения ПДК. В большинстве случаев в результате анализа можно было обнаружить 3-5 кратное превышение.

При анализе динамики не удается выявить закономерных сезонных изменений концентрации меди. В случае ионов меди повышения и понижения концентрации происходят либо независимо от времени года и полноводности реки, либо на концентрацию оказывает влияние большое количество факторов, которые действуют без связи с сезонностью и друг с другом. На рис. 1 можно видеть, что колебания происходят в широких пределах и, как правило, существенно превышают уровень ПДК. Кроме того, линия тренда указывает на плавное увеличение концентрации ионов меди в воде р. Кундрючья.

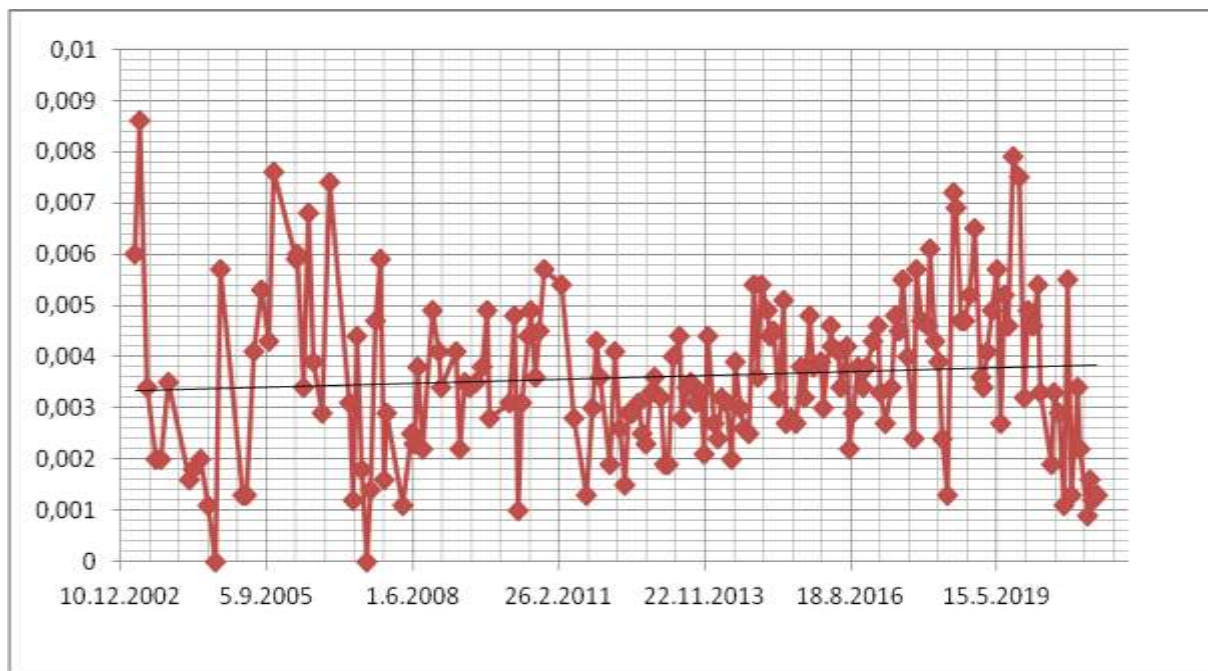


Рисунок 1 - Динамика концентрации Cu^{2+} (мг/дм³)

К факторам, приводящим к такой неупорядоченной картине, могут относиться: режим работы шахт на территории Украины, изменение в режиме подземных вод, питающих р. Кундрючья, снежность зимы, состояние притоков, изменение в ведении сельскохозяйственной деятельности.

В проведенных ранее исследованиях было установлено, что основным источником поступления сульфатов в р. Кундрючья являются шахты Донбасса.

Корреляции содержания меди с динамикой сульфат-анионов за рассматриваемый период не наблюдается, поэтому выделить в качестве основного фактора сбросы шахтных вод не удастся.

Следующая гипотеза заключается в связи концентрации меди с величиной рН и концентрацией гидрокарбонат-ионов. Исследователи указывают, что эти показатели влияют на баланс тяжелых металлов, в целом, и меди в частности, между водой и донными отложениями [2]. Для проверки этого утверждения по отношению к р. Кундрючья необходимо соотнести колебания по этим трем показателям между собой. Для того чтобы можно было соотнести значение концентраций, мы использовали следующее соотношение:
$$\frac{\text{показание в текущем месяце}}{\text{максимальное показание за рассматриваемый период}}$$

Таким образом, значения рН, концентрации ионов меди и гидрокарбонат-ионов варьируются в диапазоне от 0 до 1. Использование приведенных к единице значений позволяет сравнить динамику рассматриваемых показателей на одном графике, что не возможно было бы сделать при оценке абсолютных значений.

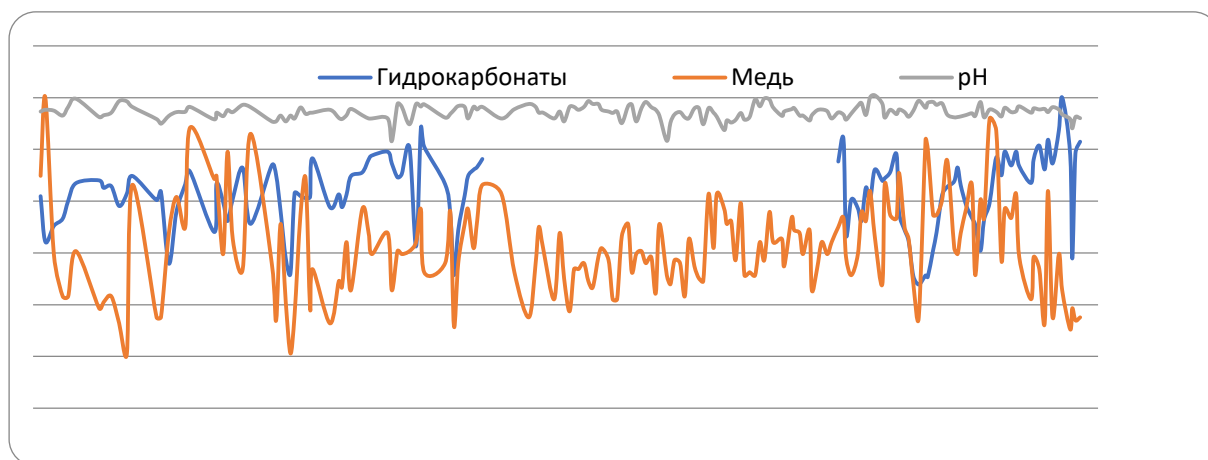


Рисунок 2 - Динамика концентраций Cu^{2+} , HCO_3^- и величины рН, приведенных к максимальному значению каждого показателя за рассматриваемый период

Из представленных графиков видно, что рН варьирует в достаточно узком интервале в отличие от двух других рассматриваемых параметров. Обращаясь к абсолютным значениям можно видеть, что значения рН никогда не были ниже 8 ед. рН, что говорит о слабощелочном характере вод в р. Кундрючья, а значит не может приводить к повышению концентрации катионов меди без участия каких-либо других факторов.

Соответствия колебаний карбонат-ионов и ионов меди установить не удастся. С 2011 по 2017 гг. измерение карбонатов не производилось. Можно отметить только три участка на графике с достаточно явными низкими концентрациями по обоим показателям: в июле 2007 г., в мае 2010 г. и в июне 2018 г. Отметим, что все три случая характерны для летних месяцев, в течение которых происходит интенсификация как разрастания зеленой массы, способной частично захватывать катионы металлов, так и деструкции органического вещества с последующим растворением, при котором высвобождаются накопленные элементы, в том числе тяжелые металлы.

Аналогичным способом была предпринята попытка соотнести динамику концентрации меди и алюминия как металлов, которые достаточно часто встречаются вместе как вследствие природных процессов, так и в результате деятельности человека (рис. 3).

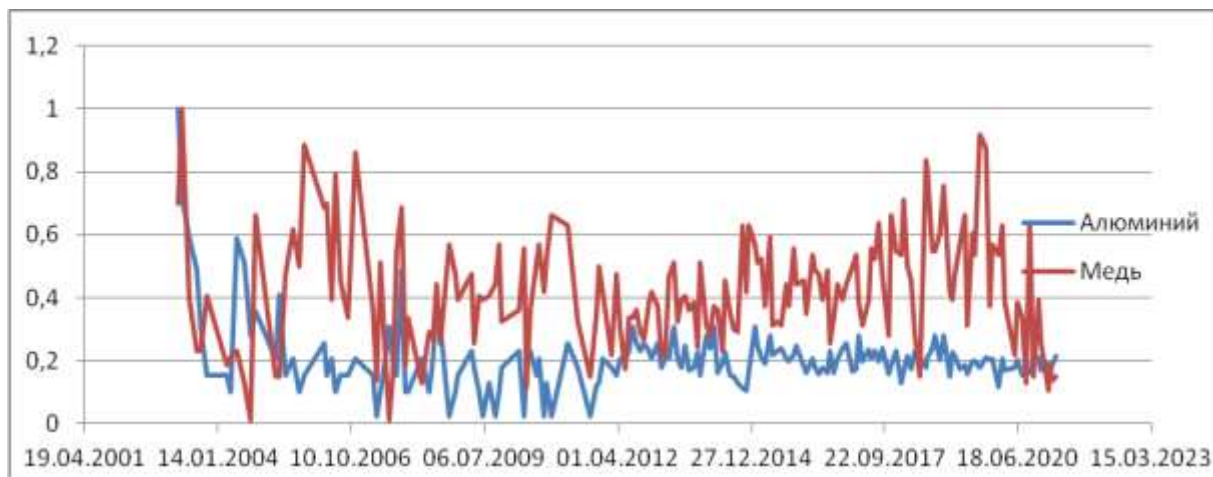


Рисунок 3 - Динамика концентраций Cu^{2+} и Al^{3+} , приведенных к максимальному значению каждого показателя за рассматриваемый период

В данном случае мы можем отметить частичную корреляцию. Начало рассматриваемого периода для обоих катионов характеризуется максимальными значениями концентраций. Кроме того, ряд ярко выраженных пиков и, наоборот, низких концентраций совпадает. При этом диапазон скачков концентрации меди значительно шире, что может говорить как об ее меньшей буферности в природной экосистеме, так и о большем диапазоне в процессе поступления в водоем. В целом, динамика алюминия и меди во многом схожа, что может быть основанием для предположения о едином источнике их происхождения, например сточных вод или сбросов с какого-либо предприятия.

При сопоставлении динамики концентрации меди с другими металлами, например, цинком, корреляции обнаружено не было.

Таким образом, можно предположить, что загрязнение реки Кундрючья медью носит антропогенный характер и не является следствием поступления из подземных источников. Из антропогенных источников стоит исключить шахтные воды, несмотря на то, что они характерны для данной территории и содержат большое количество сульфатов, а корреляции между динамикой сульфатов и меди обнаружено не было. Наиболее вероятными источниками (по причине корреляции в динамике содержания меди и алюминия) являются предприятия цветной металлургии или включающие в себя гальваническое производство.

Для более детального изучения рекомендуются провести анализ предприятий, сбрасывающих сточные воды в р. Кундрючья, а также осуществить более тщательный и регулярный мониторинг как поверхностных вод, так и донных отложений, источников питания реки. В частности, есть исследования, которые предлагают методы для быстрого, эффективного и недорогого мониторинга меди в водоемах с помощью биопленок и электрохимического анализа [9, 10].

Список литературы

1. Ардаширова Г.И. Экологическая оценка химических элементов в системе «Вода – донные отложения – ихтиофауна» (р.Дёма, республика Башкортостан). Дисс. канд.биол.наук Уфимский гос.нефтяной техн. ун-т. Уфа. 2016.

2. Ваганова Е.С., Давыдова О.А. Оценка самоочищения водных экосистем от тяжелых металлов (на примере малых рек Ульяновской области). Известия Самарского науч. центра Рос. Акад. наук. 2011. Т. 13, № 5(2)б, с. 147-150.

3. Дробышева Т.И., Расторопов С.Б. Токсичные загрязнения природных вод тяжелыми металлами. Известия ВУЗов. Сев.-Кавк. регион. Естественные науки. 2005, №8, с 53-60
4. Ankit Nainwal a, Pavan Kumar Emani b, Mahesh Chandra Shah. The influence of Metakaolin on the copper slag substituted concrete with the fine aggregate of Beas river. Materials Today: Proceeding. Article in press.
5. Chiu-Wen Chen, Chih-Feng Chen, Cheng-Di Dong. Copper Contamination in the Sediments of Salt River Mouth, Taiwan. Energy Procedia 16 (2012), pp. 901 – 906.
6. Yi-Yin Chueh, Chihhao Fan, Ya-Zhen Huang. Copper concentration simulation in a river by SWAT-WASP integration and its application to assessing the impacts of climate change and various remediation strategies. Journal of Environmental Management 279 (2021) 111613.
7. François L.L. Muller*, Silvia Batchelli Copper binding by terrestrial versus marine organic ligands in the coastal plume of River Thurso, North Scotland [Estuarine, Coastal and Shelf Science](#). Vol. 133, 20 November 2013, pp. 137-146.
8. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 39 с.
9. Lise C. Fechner, Francois Versace, Catherine Gourlay-Francéa, Marie-Hélène Tusseau-Vuillemin. Adaptation of copper community tolerance levels after biofilm transplantation in an urban river. Aquatic Toxicology 106–107 (2012) 32–41
10. Elena Bernaltea, Sebastián Arévalod, Jaime Pérez-Tabordad, Jannis Wenka, Pedro Estrelab, Alba Avilad, Mirella Di Lorenzo Rapid and on-site simultaneous electrochemical detection of copper, lead and mercury in the Amazon River. Sensors & Actuators: B. Chemical 307 (2020) 127620.

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ СМЕЩЕНИЯ РУСЛА ПОГРАНИЧНОЙ РЕКИ УРАЛ

Федорова Т.А.¹, Крыленко И.Н.^{1,2}, Беликов В.В.¹

¹ Институт Водных проблем Российской академии наук, Москва

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
E-mail: Tatiana.fedorova@gmail.com

Аннотация: Численная модель активно меандрирующего русла р. Урал на пограничном с Республикой Казахстан участке дает возможность предвидеть и предотвращать потенциально неблагоприятные ситуации, связанные с отторжением земель в результате изменения местоположения русла реки.

Ключевые слова: численное гидродинамическое моделирование, свободное меандрирование, программный комплекс STREAM_2D, с. Облавка, прорыв излучины.

EXPERIENCE IN MODELING OF CHANNEL SHIFTING FOR THE BORDER URAL RIVER

Fedorova T.A.¹, Krylenko I.N.^{1,2}, Belikov V.V.¹

¹ Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow

² Lomonosov Moscow State University, Moscow

Abstract: Numerical model of the meandering channel of the Ural River on the border with the Republic of Kazakhstan makes it possible to foresee and prevent potentially unfavorable situations associated with land detachment as a result of river channel migration.

Key words: numerical modeling, free meandering, STREAM_2D software, Oblavka village, bend cut-off

Согласно Договору о государственной границе между Российской Федерацией (Оренбургская область) и Республикой Казахстан (Северо-Казахстанская область), граница проходит по р. Урал [1]. Статья 4 Договора содержит положение, что «Любые естественные изменения русел пограничных рек, ручьев, а также береговой линии водоемов не влекут за собой изменений в положении определенной настоящим Договором государственной границы, если Стороны не договорятся об ином». Таким образом, существует потенциальная опасность возникновения весьма неприятной ситуации, когда в случае прорыва шейки излучины или даже серии излучин основное русло реки изменит свое положение, и земельные угодья, находящиеся в отторгнутом пойменном сегменте, должны будут перейти от одного из пограничных государств другому. Даже если применительно к проблемным пограничным участкам р. Урал Договор будет уточнен (путем заключения дополнительных соглашений, развивающих положения Статьи 4, что само по себе связано с затратой дополнительных усилий), условия землепользования на данной территории со стороны прежних хозяйствующих субъектов могут заметно ухудшиться.

Участок русла р. Урал, по которому проходит государственная граница между Оренбургской областью Российской Федерации и Северо-Казахстанской областью Республики Казахстан имеет протяженность 130 км (рис. 1). При этом расстояние по прямой между крайними точками данного участка: границы – с. Илек (Илекский район Оренбургской области) в его верхней части и с. Раннее (Ташлинский район Оренбургской области) составляет 55 км. Русло интенсивно меандрирует в пределах днища долины с поймой, имеющей ширину 8-12 км, разбиваясь на рукава в местах прорывов серий излучин, изобилует мелями и перекатами. Ширина русла в межень составляет 120-170 м, глубина от 3 до 6 м на плесах и 0,5 – 1,5 м – на перекатах, средняя скорость течения - 0,5-0,7 м/с.



Рисунок 1 – Пограничный участок р. Урал и область моделирования

Река имеет типично равнинный характер, преобладают петлеобразные и сундучные излучины, имеющие шаг от 0,5 км до 2-3 км. Вогнутые берега излучин интенсивно размываются, темпы размыва достигают в многоводные годы 10 –12 м/год, в маловодные – 5 – 6 м/год. При этом протяженность подмываемых берегов составляет от 300 до 510 м на 1 км длины русла [2].

Одним из наиболее проблемных мест на пограничном участке р. Урал является район с. Облавка, расположенном на левом казахстанском берегу, где в результате интенсивного размыва берега для предотвращения разрушения жилых домов, а также

автодороги и археологических объектов были запроектированы и частично реализованы берегоукрепительные работы [3], оказавшие влияние на естественную направленность и темпы русловых деформаций.

В настоящее время основное меженное русло тяготеет к левому борту долины, на котором, помимо с. Облавка, расположены крупные населенные пункты Бурлинского района Северо-Казахстанской области: Жарсуат, Приуральное, Бумаколь, Бурлин. Вдоль правого (российского) борта долины, на высоком коренном берегу расположены населенные пункты Илекского и Ташлинского районов Оренбургской области: Яман, Раздольное, Заживный, Студеное, Крестовка, Кинделя, Бородинск, Иртель.

Сопоставление разновременных геоизображений - топографических карт 1957 и 1972 гг. и космического снимка 2005 г. показало, что средняя скорость отступления берега у с. Облавка составляет 3 – 4 м/год, в вершине излучины темпы отступления берега выше - у автодороги Подстепное – Федоровка, граница Российской Федерации берег отступает в среднем со скоростью 6 – 7 м/год (рис. 2). Ширина шейки излучины, в вершине которой находится с.Облавка, в наиболее узком месте сократилась с 300 м в 1957 г. до 150 м в 2005 г. Именно здесь возможен прорыв излучины при постепенном размыве берегов речным потоком, проходящим в бровках меженного русла. При сохранении современных темпов размыва берега полное разрушение пойменной перемычки здесь можно ожидать приблизительно к 2050 г. Однако в случае прохождения экстремального половодья возможно спрямление излучины в результате прорыва ее шейки у самого основания, напротив вершины вышележащей излучины, где ширина пойменного сегмента составляет около 400 м.

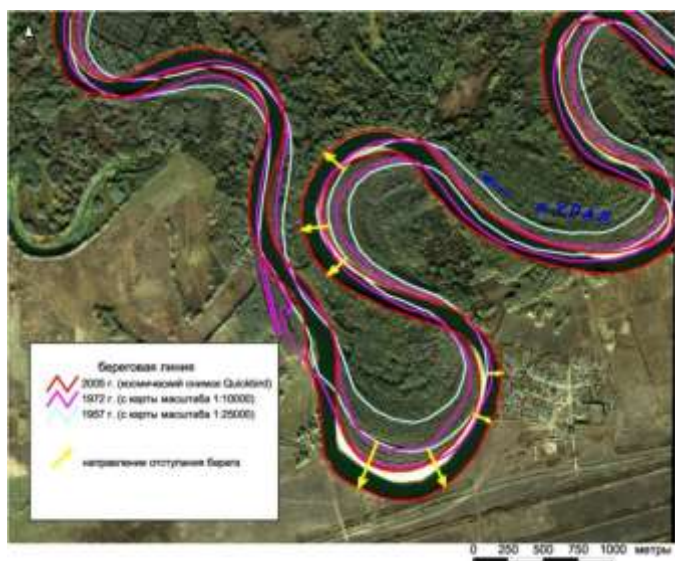


Рисунок 2 – Схема деформаций излучин р.Урал у с. Облавка за 1957 – 2005 гг.

Задачей сценарного моделирования применительно к рассматриваемому участку русла р. Урал является исследование возможных схем дальнейшего развития свободного меандрирования при различных последовательностях прохождения половодий различной водности и продолжительности. Для выполнения моделирования был применен программный комплекс STREAM 2D CUDA [4], реализующий физико-математическую модель транспорта наносов и деформаций дна в приближении мелкой воды. Движение жидкости описывается двумерными уравнениями Сен-Венана, численно решаемыми в комплексе с граничными и начальными условиями на гибридной треугольно-четырёхугольной нерегулярной сетке [5]. Модель воспроизводит основные физические процессы транспорта наносов турбулентным потоком, при этом рассматривается движение как влекомых, так и взвешенных наносов [6]. Применение

данной модели ранее демонстрировало высокую эффективность при решении ряда важных практических задач, связанных с расчетом и прогнозом русловых деформаций [7-9].

Схематизация расчетной области долины р. Урал выполнялась таким образом, чтобы обеспечить возможность прогноза развития меандрирования русла на участке, примыкающем к укрепленной излучине у с. Облавка. Для расчетов была построена гибридная сетка нерегулярной структуры, состоящая из 96 289 ячеек на область длиной 50 км и шириной до 20 км, включающей всю пойму и прилегающие участки бортов долины на участок от с. Студеное до с. Бородинск (рис. 3). По руслу реки строилась сетка четырехугольной структуры, с шириной ячеек поперек русла 10-12 м и длиной 16-19 м; на пойме - треугольная сетка с длинами сторон от 20 до 90 м.

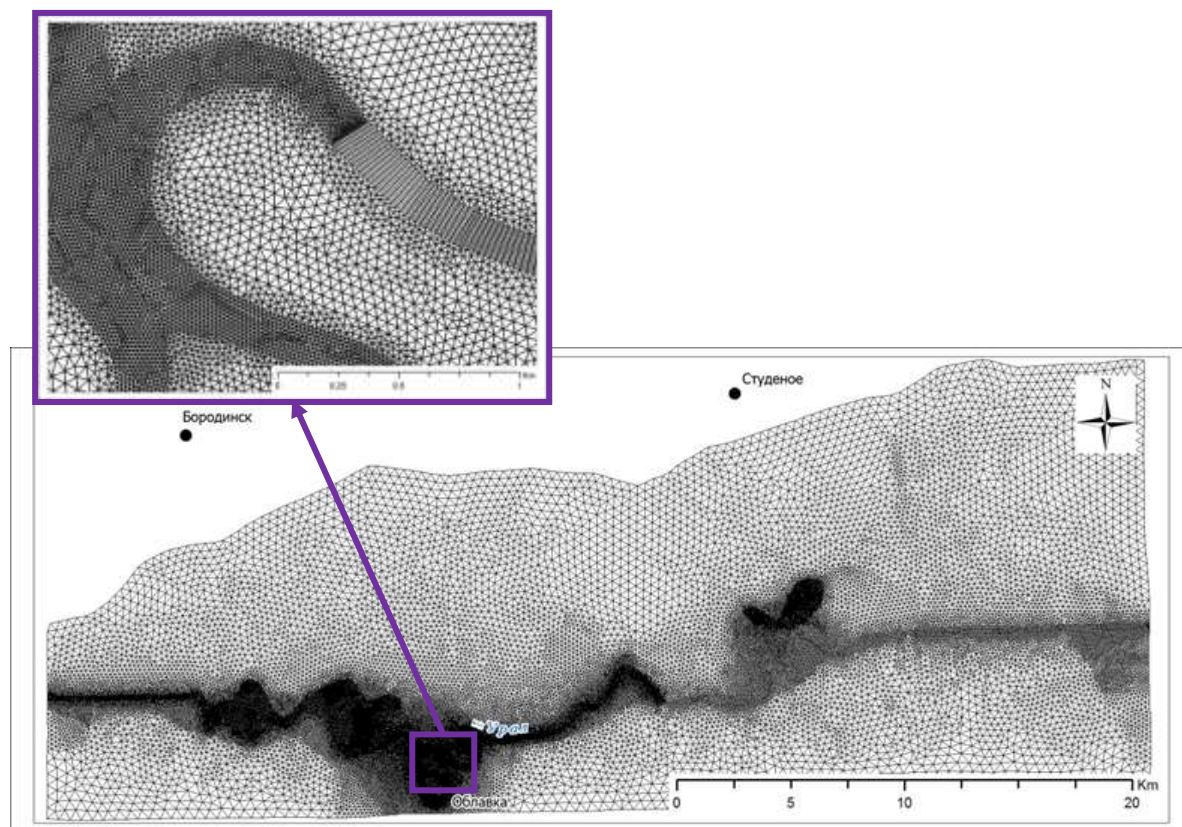


Рисунок 3 – Расчетная сетка на моделируемый участок русла и поймы р. Урал в районе с. Облавка

Область моделирования охватила всю серию излучин, на которую может распространиться влияние берегоукрепления у с. Облавка. Протяженность участка была дополнительно увеличена вверх по течению для «разгона» модели и вниз - для компенсации возможных неточностей при задании нижнего граничного условия. Для задания граничных условий использовались данные об уровнях воды по гидрологическому посту с. Илек и данные о расходах воды по посту с. Кушум (рис. 1).

В пределах моделируемого участка использовались литологические данные геологического разреза левого берега реки, который до глубины 8 м сложен мелкодисперсными пылеватыми и глинистыми фракциями, а ниже подстилается русловой фацией аллювия с преобладанием среднезернистого песка и гравия [3].

Расчеты квазистационарного течения при различных расходах воды показали, что наибольшие скорости течения у размываемых берегов составляют 1,0 –1,2 м/с и наблюдаются при расходах воды в диапазоне от 1000 до 2000 м³/с, т.е. проходящими в

пойменных бровках. Такие расходы воды р. Урал в период половодья наблюдаются ежегодно и отступление береговой линии происходит в каждое половодье.

При расходах воды более $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ скорости течения у размываемого берега уменьшаются, соответственно темпы размыва берега при дальнейшем увеличении расходов воды не возрастают. Так, при расходе воды $5000 \text{ м}^3/\text{с}$ они составляют $0,8-1,0 \text{ м/с}$ непосредственно у села и $0,6-0,8 \text{ м/с}$ – в вершине излучины. Это связано с тем, что при больших расходах воды основная часть потока движется по пойме в направлении продольного уклона долины (происходит так называемое спрямление динамической оси потока), а часть воды, заходящая в излучину, движется в направлении, перпендикулярном направлению пойменного потока, что снижает скорости течения в основном русле. Скорости течения на затопленной пойме достигают значений, сопоставимых с неразмываемыми скоростями для грунтов, слагающих пойму реки, и становятся возможными прорывы излучин с формированием спрямляющих протоков.

На следующем этапе моделирования решалась нестационарная задача, в ходе которой на верхней границе задавались реальные гидрографы, и подключался блок моделирования русловых деформаций. Были промоделированы сценарии русловых деформаций для лет различной водности. При этом использовались гидрографы реальных лет: 1977 - минимальный маловодный, 1957 - максимальный многоводный и 1958 - средний по водности (рис. 4).

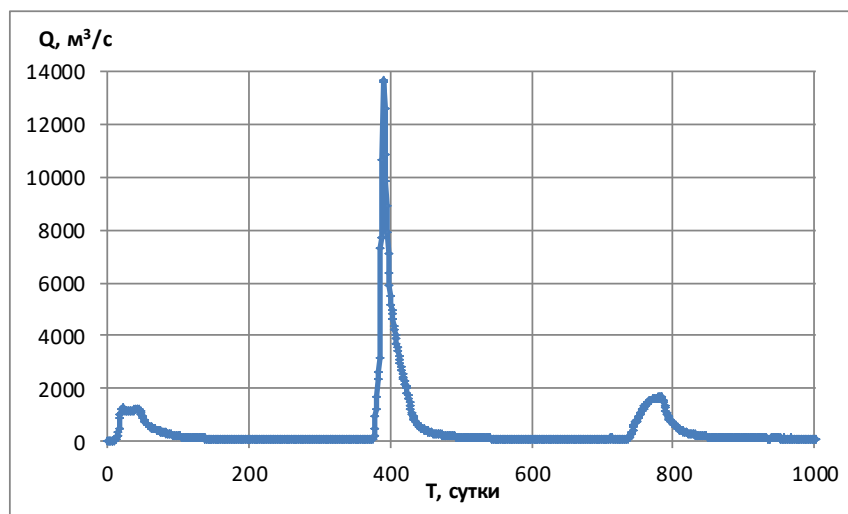


Рисунок 4 - Схематизированный гидрограф р. Урал за последовательность маловодного, многоводного и среднего по водности года

После первого маловодного года произошли лишь незначительные переформирования русла на участке выше с. Облавка, при этом вышележащая излучина несколько углубилась и ее нижнее крыло сгладилось (рис. 5).

Во время второго моделируемого года, в ходе которого был задан максимальный наблюдаемый расход воды ($13700 \text{ м}^3/\text{с}$), еще на подъеме волны половодья, при расходе воды $7730 \text{ м}^3/\text{с}$ в центральной части шейки излучины начала образовываться спрямляющая протока (прорва). Сразу после прохождения пика половодья у самого основания шейки излучины сформировалась еще одна прорва, которая практически спрямила русло (рис. 6), однако максимальные скорости течения наблюдались не в ней, а в первоначальной прорве, которая к моменту прохождения пика половодья успела размываться до $100-120 \text{ м}$, что сопоставимо с шириной основного русла р. Урал. В это же время наметилось спрямление двух вышележащих излучин, хотя основной поток продолжал концентрироваться в старом русле. В последующий меженный период значительных русловых переформирований не происходило.



Рисунок 5 - Рельеф участка р. Урал перед началом второго моделируемого половодья

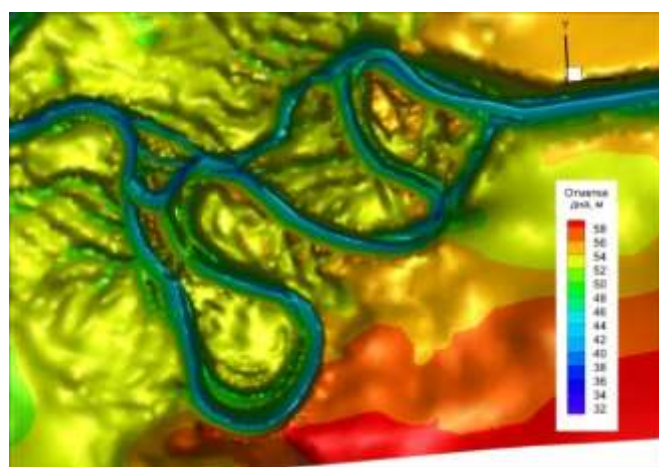


Рисунок 6 - Рельеф участка р. Урал после спада половодья многоводного года

После прохождения третьего половодья, среднего по водности, вновь проработанные рукава углубились, минимальная отметка дна в спрямляющей протоке составила 42.6 м, однако основной поток продолжал двигаться по первой (изогнутой) прорве (рис. 7), при этом там начала формироваться новая излучина с минимальной отметкой дна 36.4 м. В верхнем крыле новой излучины начали откладываться наносы, перекрыв таким образом сток в старое изогнутое русло у с. Облавка.

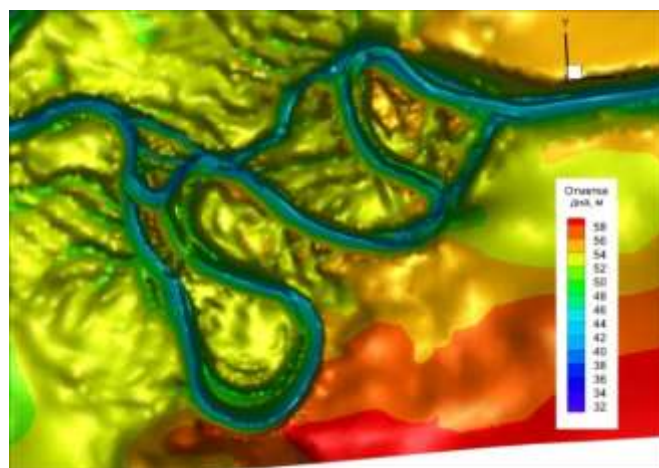


Рисунок 7 – Рельеф участка р. Урал на конец расчетного периода

Анализ скоростных полей, формирующихся при наличии на шпоре излуины у с. Облавка спрямляющей протоки показали, что при расходах воды от 1000 до 5000 м³/с в основное течение со скоростями до 2 м/с будет направляться в спрямляющий рукав, а у вогнутого берега излуины скорости течения снизятся до 0,4-0,6 м/с. При таких скоростях течения у с. Облавка будет наблюдаться постепенное заиливание участка русла и превращение его в пойменную протоку или старицу, а обширный участок пойменных земель окажется отторгнутым от территории России. Не допустить такого развития событий можно только за счет укрепления берега и поверхности поймы по трассе возможного прорыва излуины.

Список литературы

1. Федеральный закон от 2 декабря 2005 г. N 148-ФЗ "О ратификации Договора между Российской Федерацией и Республикой Казахстан о российско-казахстанской государственной границе", Москва, Кремль, 2 декабря 2005 года, N 148-ФЗ.
2. Русловой режим... Русловой режим рек Северной Евразии. / Под ред. проф. Р.С.Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
3. Численный прогноз возможных деформаций русла и берега реки Урал в районе села Облавка: отчет о научно-исследовательской работе / ДГП «ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»/ Науч. рук-ль д-р техн. наук. Беликов В.В., Отв. исполн. канд. физ.-мат. наук. Архипкин О.П., Алматы 2007.
4. Алексюк А. И., Беликов В. В., 2017. Программный комплекс STREAM 2D CUDA для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках с использованием технологии CUDA (на графических процессорах NVIDIA). Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017660266.
5. Алексюк А. И., Беликов В. В., 2017. Моделирование течений мелкой воды с областями обмеления и разрывами дна. Журн. выч. мат. и мат. физики, Т. 57, № 2, с. 316–338. <http://dx.doi.org/10.7868/S0044466917020028>.
6. Беликов В. В., Алексюк А. И., Борисова Н. М., Федорова Т.А.. Применение ям-ловушек для уменьшения заиливания водохранилищ ГЭС на горных реках. Гидротехническое строительство, 2019 № 6, с. 12-24.
7. Беликов В. В., Борисова Н. М., Гладков Г. Л.. Математическая модель транспорта наносов для расчета заносимости дноуглубительных прорезей и русловых карьеров. Журн. ун-та водных коммуникаций, 2010 № 6, с. 105-113.
8. Алабян А. М., Беликов В. В., Крыленко И. Н., Лебедева С. В.. Применение двумерных гидродинамических моделей для решения проблем регулирования русла Нижней Волги в условиях дефицита данных гидрологических изысканий. // Инженерные изыскания, 2014 № 2, с. 24-34.
9. Федорова Т.А., Алабян А. М., Беликов В. В. 2021. Моделирование прорыва излуины при свободном меандрировании. ГеоРиск, Т. XV, №1, с. 10–24, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2021-15-1-10-24>.

ГИДРОПОЛИТИКА ИЛИ ТАЙНАЯ ВЛАСТЬ ВОДЫ

Фролова Н.Л.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г.Москва

E-mail: frolova_nl@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены понятия международных и трансграничных водных объектов, перечислены различные типы конфликтов, связанных с использованием водных ресурсов. Приведены примеры из отечественной и зарубежной практики.

Ключевые слова: трансграничные реки, водные конфликты.

HYDROPOLITICS OR THE SECRET POWER OF WATER

Frolova N.L.

Lomonosov Moscow State University, Moscow

Abstract. The concepts of international and transboundary water bodies are considered, various types of conflicts associated with the water-use are given. Examples from domestic and foreign practice are analyzed.

Key words: transboundary rivers, water conflicts.

Все водные объекты имеют национальную или международную принадлежность. Национальные реки и их бассейны расположены в пределах одного государства. В противоположном случае их можно считать международными водными объектами.

Вода не является фактором политического влияния априори. Она может им стать только при наличии, как минимум, 3-х составляющих: её острого дефицита, технической возможности оказывать воздействие на необходимые объёмы воды и политической воли, что в прошлом складывалось довольно редко. По мере усугубления глобального дефицита пресной воды и развития научно-технического прогресса такие условия создаются всё чаще, то есть наблюдается возникновение тенденции к нарастанию влияния водного фактора в международных отношениях.

Государству в границах его территории приходится определять водохозяйственную политику, принимать конкретные решения в области управления водными ресурсами. С начала XIX в., и особенно со второй его половины, появляется необходимость правового регулирования объёма водозабора, качества вод, их вредного трансграничного воздействия. Многие межгосударственные договоры имеют целью регулирование целого ряда аспектов использования водных объектов. По данным ООН, за всю историю человечества было заключено более 3600 международных соглашений, имеющих отношение к воде. Хотя многие из них касались лишь вопросов судоходства, разграничения границ и рыболовства, с середины XIX в. было принято не менее 400 соглашений, регулирующих использование воды уже как природного ресурса.

Реки считаются международными, если водные ресурсы формируются на территории двух и более государств [1]. В мире не менее 263 речных водосборов являются международными: 71 река находится в Европе, 53 – в Азии, 39 – в Северной и Центральной Америке, 38 – в Южной Америке и 60 – в Африке. Из них 155 разделены между двумя странами, а остальные – между тремя и более. На водосборах международных рек проживают более 40% населения, в них сосредоточено 60% пресной воды, а по территории они занимают половину земной поверхности. Международные бассейны частично захватывают территорию 145 стран, а территория 21 государства полностью входит в международные бассейны.

Под *трансграничными* реками понимаются водотоки, которые пересекают государственную границу двух или более сопредельных государств [1]. Если верховья реки находятся в пределах одной страны, а низовья – другой, то говорят о *монограничном* статусе реки, если же река пересекает территорию более двух стран – о *полиграничном*. Река также может пересекать одну и ту же границу между соседними странами в разных местах. Тогда ее статус отличается и от монограничного, и от полиграничного, становясь *диграничным*. В любом случае на участках пересечения рекой национальных границ существует створ, ниже которого изменяется государственная принадлежность участка реки и правила водопользования.

Проблем с использованием водных ресурсов трансграничных рек не возникает при изобилии других водоисточников, но если такие реки служат основными водными ресурсами для стран, расположенных в их бассейне, то экономические противоречия и политические конфликты практически неизбежны. Острота конфликтов зависит от уровня дефицита водных ресурсов, количества государств, которые делят между собой ресурсы речного бассейна; относительной мощи соседствующих государств и доступа к альтернативным источникам.

В докладе ООН за 2006 г. о водной проблеме на Земле отмечалось, что за прошедшие 50 лет зафиксировано 37 случаев межгосударственных конфликтов, связанных с водопользованием. Из них 30 произошли на Ближнем Востоке: между Турцией и Сирией из-за р.р. Тигр и Евфрат; между Египтом, Суданом и Эфиопией из-за Нила; между Израилем, Палестинской автономией и Иорданией - из-за Иордана. За тот же период между странами было заключено более 200 договоров по использованию водных ресурсов: 37% из них касаются использования воды, 39% – гидроэнергетики, 9% – контроля над наводнениями, 6% – промышленного использования воды, по 4% – вопросов судоходства и загрязнения, 1% – рыболовства [2]. Однако большинство двусторонних и многосторонних соглашений недостаточно конкретны. В значительной мере это объясняется отсутствием общепризнанных международных правил водопользования и механизмов неотвратимой ответственности за их нарушение. Принятые на сегодняшний день конвенции носят рекомендательный характер.

Возникающие конфликтные ситуации в международных речных бассейнах в [4] разделены на территориально-пограничные, водопользовательские, водно-экологические. *Территориально-пограничные конфликты* чаще возникают в том случае, если государственная граница приурочена к реке. Следует отметить, что территориальные конфликты всегда наиболее острые, и в истории человечества они служили причинами большинства войн. Печально известны пограничные конфликты 1960-х гг. между СССР и Китаем из-за островов на р. Уссури, а поводом для ирано-иракской войны 1980–1988 гг. стал конфликт, связанный с делимитацией границы по участку Шатт-эль-Араба — реки, образуемой Тигром и Евфратом после слияния [3].

В соответствии с соглашением между правительствами СССР и КНР о советско-китайской государственной границе на ее восточной части, заключенном в 1991 г. для несудоходных рек, граница устанавливается посередине русла или ее главного рукава, в котором сосредоточен наибольший расход воды, а для судоходных рек устанавливается посередине фарватера. Для Амура, относящегося к судоходным рекам, согласно принятому постановлению правительства от 2002 г., применяется последнее положение, что, в целом, создает предпосылки для возникновения вопросов о спорных территориях и необходимости проведения постоянных совещаний согласительной российско-китайской комиссии для определения положения государственной границы и принадлежности спорных территорий к тому или иному государству. Так, для Верхнего и Среднего Амура ежегодные потери территории в результате размыва берегов достигают 0,9-1,2 км². При этом за последние десятилетия, по предварительным оценкам, Россия утратила около 50-80 км² в виде островов (в том числе о. Тарабарова и части о. Большого Уссурийского в районе г. Хабаровск) в

результате изменения положения фарватера. Потенциально в ближайшие годы может последовать передача Китаю еще нескольких островов общей площадью свыше 70 км² [4]. Единственным выходом преломления сложившейся негативной тенденции для России по утрате своих территорий на Амуре может стать планирование и осуществление работ по стабилизации русловых процессов, особенно на наиболее проблематичных участках русла, где, возможно, в ближайшее время произойдет коренное изменение положения фарватера и государственной границы. Для осуществления таких мероприятий потребуется разработка совместной российско-китайской программы по организации комплексных исследований русловых процессов, с принятием и согласованием адекватных мер по защите берегов от размывов и стабилизации положения фарватера. Работы по стабилизации русловых процессов на Амуре в пределах пограничного участка обеспечат территориальную целостность Российской Федерации.

Конфликтные ситуации, связанные с водопользованием, занимают первое место по своей распространенности. Предметом межгосударственных дискуссий, особенно острых в вододефицитных регионах, как правило, оказывается практика использования водных ресурсов верховыми странами и возникающие при этом социальные, экономические и экологические последствия для низовых стран. Это связано с изменением водного режима рек вследствие регулирования стока воды, его перераспределения, изъятия и использования, выгодного только для верховых стран [5].

Сооружение плотин и водохранилищ в верхнем течении рек также может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние для нижних бьефов и нижних течений рек, которые часто располагаются на территории других стран. Регулирование стока в верховьях часто предохраняет нижерасположенные участки долины от разрушительных наводнений, но в то же время меняет водный, русловый, гидрохимический, термический и ледовый режимы реки, обостряет противоречия между государствами в сфере рыболовства, использования водного транспорта, водной рекреации и пр. [3].

Хорошо известный пример – противоречия между Россией и Китаем в бассейне Амура и его притока Аргуни. С августа 2009 г. на территории КНР осуществляется проект переброски части стока р. Аргунь (Хайлар) в оз. Далайнор. С китайской стороны планируется строительство нескольких водохранилищ для целей гидроэнергетики, ирригации, хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. Очевидно, что эти мероприятия приведут к снижению объемов стока Аргуни на территории РФ и трансформации водного режима приграничных регионов [6]. Оценка последствий перераспределения части стока р. Хайлар в оз. Далайнор показала, что в результате осуществления ряда водохозяйственных мероприятий максимальный сток летних месяцев, обеспечивающий режим обводнения поймы р. Аргунь, может сократиться на 30-40 % в условиях маловодных лет. Одновременно снизятся темпы горизонтальных русловых деформаций, уменьшится степень разветвленности русла. Вследствие отмирания второстепенных проток и перераспределения стока воды может возрасти нестабильность государственной российско-китайской границы. Для минимизации возможных национальных, экономических, социальных и экологических ущербов необходимо осуществить комплекс организационных, инженерных, юридических и иных мероприятий, что позволит уменьшить возможные негативные последствия переброски части стока р. Хайлар в оз. Далайнор, реализации других водохозяйственных проектов на территории КНР и Монголии.

Но есть и совершенно уникальная в мировой практике ситуация, когда страны, относящиеся к верхней части бассейна, имеют очень ограниченные права на использование вод. Речь идет о бассейне Нила. Среди государств бассейна сложилось положение искусственного неравенства, которое проявилось главным образом в

создании Великобританией неравноправного правового режима использования вод Нила. Такой режим был закреплён юридически, путем заключения в конце XIX – начале XX в. ряда договоров, фиксирующих для Египта, а затем и Судана, права на использование вод Нила и одновременно налагавших на другие страны бассейна обязанность не проводить мероприятия, изменяющие сток вод таким образом, чтобы это отражалось на положении стран, находящихся в нижнем течении реки. Заключенные во время английского присутствия в этом регионе соглашения имеют последствия для стран бассейна Нила и по настоящее время. Вклад Голубого Нила в общий объём нильских вод составляет, по разным данным, от 65% до 85%. Стремление Эфиопии играть более заметную роль в процессе управления водными ресурсами Нила и реализовать собственные программы идет вразрез с принципами египетско-суданского сотрудничества по Нилу. В настоящий момент Эфиопия, несмотря на протесты Египта и Судана, начала строительство ГЭС Grand Ethiopian Renaissance Dam (GERD). Межгосударственная напряжённость достигла столь высокого уровня, что Египет, считающий эфиопский проект экзистенциальной угрозой, обращается в Совет Безопасности ООН и ведёт речь о самых серьёзных мерах в случае пересечения эфиопской стороной определённых «красных линий».

Анализ многочисленных источников показывает, что:

1) заполнение водохранилища GERD приведет к снижению уровня воды и объёма водохранилища Насер, а также к сокращению выработки энергии Асуанской ГЭС, особенно в период наполнения водохранилища GERD;

2) после эксплуатации GERD ежегодные потери из водохранилища Насер увеличатся до 12 млрд м³ вместо 11,25 млрд м³;

3) усиление контроля за поступлением воды в Асуан может повлиять на права Египта и Судана на воду из воды Нила;

4) увеличение потерь от испарения повлияет на количество и качество воды Нила ниже по течению от GERD из-за увеличения солёности воды Нила;

5) заполнение GERD при среднем стоке Голубого Нила через 6, 3 и 2 года приведет к уменьшению полезной ёмкости водохранилища Насер на 13 287, 25 413 и 37 263 млрд м³ в течение каждого года;

6) заполнение GERD при минимальном стоке Голубого Нила в течение 6, 3 и 2 лет приведет к уменьшению полезной ёмкости водохранилища Насер на 44,398, 54,415 и 55,138 млрд м³ в течение каждого года. Есть также опасения, что из-за удержания ила эфиопской плотиной Судану придется повышать плодородие своих почв с помощью пестицидов. А это скажется на качестве воды, поступающей с суданской территории в Египет. Скорость течения Нила снизится на 5–42%, а температура на 1,5 С. Эти уменьшения вызовут изменения в водных экосистемах, которые эволюционировали в данной речной системе.

Ключевой вопрос для Судана и, особенно Египта, – это сроки, в течение которых будет заполняться водохранилище плотины «Возрождение» объёмом 74 млрд м³. Эфиопия намеревается заполнить его за 3 года, что означает для Судана и Египта ежегодную потерю около 25 млрд м³ воды, а Египет предлагает растянуть этот процесс на 10 лет. Тем не менее, избежать сокращения стока Голубого Нила в период заполнения водохранилища не удастся. Египет может компенсировать это сокращение только за счёт заметного понижения уровня водохранилища Насер, построенного при содействии Советского Союза. Однако это также будет иметь негативные последствия для экономики Египта. Проблема справедливого деления водных ресурсов р. Нил в интересах всех государств бассейна должна быть безусловно решена.

Водно-экологические конфликты в международных бассейнах приобретают глобальный характер, и прежде всего, связаны с трансграничным переносом загрязнений. Загрязнение трансграничных рек — одна из наиболее важных проблем взаимоотношений между Казахстаном и Россией в бассейне р. Урал, между Россией и

Китаем в бассейне р. Амур, Китаем, Казахстаном и Россией в бассейне Иртыша. Например, оценка качества воды и экологического состояния водных объектов бассейна Иртыша показала, что все водные объекты не соответствуют требованиям, предъявляемым к рыбохозяйственным водоемам. Подавляющая часть водных объектов бассейна или их участков непригодна для использования в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения без специального разрешения санитарно-эпидемиологических служб. Лимитирующими показателями являются органические вещества, нефтепродукты, фенолы, соединения железа. Повышенное содержание нефтепродуктов и фенолов (относительно ПДК) наблюдается во всех створах р.р. Иртыш, Омь и Ишим. Высокое содержание меди отмечается в Иртыше ниже г. Тобольск (до 15 ПДК). По экологическим критериям (ЕККВ) водные объекты относятся к водоемам от «чистых» (I класс) до «сильно загрязненных» (VI класс). Данные по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) показывают разброс значений индекса от 2,2 до 7,8. Самыми загрязненными реками бассейна являются Тобол и его притоки. Преобладающий класс по значению УКИЗВ – IV. Установлено, что существенное значение в формировании качества вод Иртыша имеет трансграничное поступление загрязняющих вещества из Казахстана [7].

Лишь в редких случаях верховые страны учитывают интересы низовых стран и готовы предпринимать совместные усилия по преодолению признаков деградации водных экосистем. Чаше снижение качества речных вод становится непреодолимым препятствием в поиске оптимального использования водных и иных ресурсов трансграничных рек.

Хотя экологическая опасность, возникающая при трансграничном переносе водой загрязняющих веществ, привязана к линейным объектам, результаты загрязнения рек сказываются на обширной территории, поскольку водные объекты используются в качестве источника питьевого и хозяйственного водоснабжения, рыбной продукции, орошения, а также как зоны рекреации. Антропогенное вмешательство в природные экосистемы при создании систем орошения или осушения, переброске воды, строительстве плотин и водохранилищ, обваловании влекут за собой физические изменения, которые оказывают существенное влияние на реку, в целом. Преодоление этих проблем зависит от совершенствования международного законодательства, регулирующего отношения верховых и низовых стран в бассейнах трансграничных рек, их права и обязанности в отношении пограничных водотоков.

Примеров использования этих принципов в практике регулирования отношений между разными странами в области водопользования достаточно много. Тем не менее, они часто рассматриваются лишь как аргументы обоснования «своих» прав на изменение (или сохранение) водопользования в желаемых формах и масштабах. Для некоторых стран, находящихся в бассейнах трансграничных рек, суверенитет над национальными участками бассейнов является достаточным основанием для существенного изменения водоносности рек, их водного режима, качества воды и пр.

Практика отношений между странами, находящимися в разных частях трансграничных речных бассейнов, остается сложной и неформализованной. Отсутствие общего понимания водохозяйственной и гидроэкологической ситуации преодолевается в процессе длительных переговоров. Если же компромисса не удастся достигнуть, конфликт замораживается на долгие годы. Наиболее острые дискуссии возникают в результате несовпадения экономических интересов верховых и низовых стран, технологий и методов оценки результатов мониторинга количества и качества вод, состава и точности гидрологической и водохозяйственной информации, интерпретации влияния водохозяйственной деятельности на гидрологическую и экологическую безопасность низовых стран.

Справедливое водоразделение – водопользование, одинаково выгодное для верховых и низовых стран. В условиях рыночной экономики основным признаком

справедливости в использовании и охране водных ресурсов станет суммарный экономический эффект от использования водных ресурсов. Эффективное и безопасное использование водных ресурсов трансграничных водных объектов требует реализации комплекса рекомендаций правового, информационного, экономического, организационного, технического характера.

Список литературы

1. Европейская экономическая комиссия. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. Вторая оценка трансграничных рек, озёр и подземных вод // Организация объединённых наций. Нью-Йорк и Женева. 2011.
2. Джамалов Р.Г., Хасиев Р.С. Современная водная дипломатия // Природа. 2011. № 9. С. 44-54.
3. Кoryтный Л.М., Жерелина И.В. Международные речные и озерные бассейны Азии: конфликты, пути сотрудничества//География и природные ресурсы.2010. № 2. С.11–19.
4. Завадский А.С. Пограничные проблемы на реках бассейна Амура, обусловленные русловыми процессами, и пути их решения // Водное хозяйство России. 2012. № 3. С. 30 – 43.
5. Христофоров А.В. Эколого-экономические основы водопользования. М.: Изд-во МГУ, 2010. 161 с.
6. Volgova M. V., Frolova N. L. Water regime of the Argun' river and lake Hulun Nur under anthropogenic impact // Geography and Natural Resources. 2012. Vol. 33. № 4. P. 277–284.
7. Фролова Н.Л., Воробьевский И.Б. Гидроэкологические ограничения водопользования в бассейне Иртыша // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 2011. № 6 С. 34–41.

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ РЕКИ АМУР НА ТРАНСГРАНИЧНОМ УЧАСТКЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ РФ С КНР В 2016-2020 гг.

Хорошевская В.О., Матвеева Н.П., Голубкина М.А.
ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону
E-mail: vv.z2@yandex.ru

Аннотация: В статье дается обзор по организации трансграничных пунктов наблюдений Росгидромета на р. Амур в районе государственной границы РФ с КНР. Приводятся данные по техногенной аварии на руднике компании «LumingMolybdenum», оказавшей воздействие на загрязнение ряда притоков р. Амур на территории КНР. Рассматриваются пространственно-временные характеристики максимальных концентраций ряда металлов, входящих в комплекс загрязняющих веществ, поступивших в результате аварии в бассейн р. Амур

Ключевые слова: цинк, свинец, кадмий, мышьяк, ртуть.

CHANGES IN POLLUTANTS CONTENT OF THE AMUR RIVER WATER AT THE TRANSBOUNDARY SECTION OF THE STATE BORDER BETWEEN THE RUSSIAN FEDERATION AND THE PRC IN 2016-2020

Khoroshevskaya V.O., Matveeva N.P., Golubkina M.A.
FSBI "Hydrochemical Institute", Rostov-on-Don

Abstract: The article provides an overview of organizing transboundary observation points of Roshydromet on the Amur River, in the area of the state border between the Russian Federation and the PRC. The data on the man-made accident at the mine, of the "Luming Molybdenum" company, which had an

impact on the pollution of a number of tributaries of the river in the PRC. The spatial and temporal characteristics of the maximum concentrations of a number of metals included in the complex of pollutants received as a result of the accident in the Amur River basin are considered.

Keywords: zinc, lead, cadmium, arsenic, mercury.

На участке р. Амур, по которому проходит государственная граница РФ с КНР, мониторинг состояния и загрязнения реки проводится в трёх пунктах Государственной наблюдательной сети (ГНС) Росгидромета, располагающихся на территории деятельности ФГБУ «Дальневосточное УГМС» (рис.1). Характеристика этих пунктов представлена в табл.1. Программа проводимых наблюдений включает 32 показателя в пункте 16050 с. Черняево, 42 показателя – в обоих створах пункта 16051 г. Благовещенск и 48 показателей – в первом створе пункта 16052 г. Хабаровск. Перечень показателей определяемых в замыкающем трансграничном створе г. Хабаровск расширен за счет таких показателей, характеризующих загрязнение, как жиры, хлороформ, хлорфенолы (2,4-дихлорфенол, 2,4,6-трихлорфенол), легкоокисляемые ароматические углеводороды (бензол, толуол, ортоксилол, М,п-ксилолы), хлорорганические пестициды (ДДЭ, ДДТ, ДДД, альфа-ГХЦГ, гамма-ГХЦГ, гексахлорбензол), гербициды (пропазин, симазин, прометрин, атразин, 2,4-Д). За рассматриваемый временной период с 2016-2020 гг. ни по одному из них не было зафиксировано превышение ПДК.

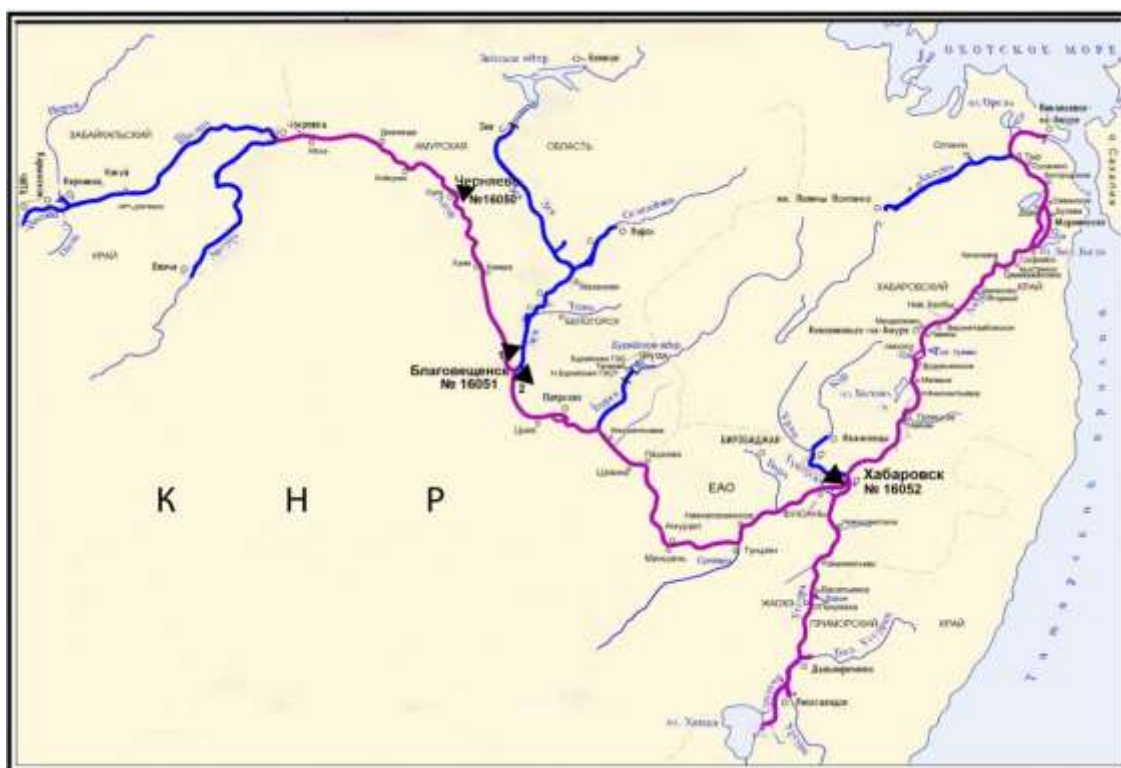


Рисунок 1 - Карта-схема расположения трансграничных створов пунктов наблюдений

Программой наблюдений во всех створах предусмотрено определение следующих соединений металлов: медь, цинк, марганец, алюминий, хром общий, хром (VI), ртуть, кадмий, никель, мышьяк, свинец. С 2020 г. в программу наблюдений включено определение молибдена.

Трансграничные пункты наблюдений на р. Амур были открыты достаточно давно, в в 40-70 гг. прошлого века (табл.1). На тот момент КНР была, в основном, аграрная страна. С 1998 г. по настоящее время в Китае проходит вторая промышленная

революция. Из-за чрезвычайно быстро расширяющегося внутреннего рынка товаров народного потребления произошел резкий рост объемов производства в отраслях тяжелой промышленности (добычи угля, производства стали, цемента, химических волокон, выпуска станков, кораблей) [2], в связи с чем значительно возросла антропогенная нагрузка на водные объекты КНР, в том числе на р. Амур.

Трансграничные створы на р. Амур расположены на таком удалении друг от друга (табл. 1), что затруднительно проследить влияние на качество р. Амур важного правобережного притока – р. Сунгари, водосборная площадь которой полностью находится на территории КНР. Сунгари является одной из главных рек КНР и самым длинным притоком р. Амур. Она протекает примерно в 1434 км (891 миля) от горной гряды Чанбайшань, на границе КНР с Северной Кореей и далее, через северо-восточные провинции КНР Цзилинь и Хэйлуцзян [3]. Река подвержена активной хозяйственной деятельности, в её бассейне расположены сельскохозяйственные угодья, населённые пункты, в том числе города Гирич, Харбин, Цзямусы. На берегу расположены предприятия химической промышленности, работающие с чрезвычайно опасными соединениями, необходимыми для производства металлов, химикатов различного уровня сложности для сельского хозяйства. Здесь находятся фабрики, добывающие и промывающие уголь.

Таблица 1 - Характеристика пунктов наблюдений расположенных на р. Амур (ФГБУ «Дальневосточное УГМС» Росгидромета)

Наименование пункта наблюдений	Расположение створа	Расстояние от устья, км	Расположение вертикали, доли ширины реки, от левого берега	Расположение горизонта, м от поверхности (от дна)	Категория пункта наблюдений	Год открытия пункта наблюдений
с.Черняево	0,5 км выше с.Черняево, гидроствор	2388	0,1	0,2-0,5	IV	1971
г.Благовещенск	1) 1км выше г. Благовещенск 6км выше гидропоста 2) 5км ниже г. Благовещенск, 5км ниже впадения р.Зея	1947	0,3	0,2-0,5 0,5 от дна	III	1963
г. Хабаровск	1) 7,5 км к З от г. Хабаровск, 1км выше х.Телегино	972	0,5	0,2-0,5	II	1949

Река оказывает значительное, преимущественно негативное, влияние на качество воды р. Амур, особенно в маловодные годы и при аварийных ситуациях в её бассейне. Кроме того, до трансграничного створа пункта наблюдений р. Амур - г. Хабаровск в р. Амур впадает еще левобережный большой приток – р. Бира, протекающая по территории РФ (рис.1). В связи с этим по имеющейся на сегодняшний день сети наблюдений Росгидромета затруднительно доказать влияние именно р.

Сунгари на качество воды р. Амур в нижнем течении в случае техногенных катастроф на территории КНР. В 2007 г. власти КНР закрыли 47 фабрик, расположенных на р. Сунгари. Закрытие предприятий, технологии которых не соответствуют государственным экологическим стандартам, осуществляется в рамках 5-летней программы по контролю за загрязнением р. Сунгари [1].

В горах Малого Хингана на руднике компания «LumingMolybdenum» производят высококачественный молибденовый концентрат с объёмом производства 50 000 т. руды в день и 15 млн. т. в год. 28 марта 2020 г. её гигантское хвостохранилище с плотиной высотой 196 м переполнилось и исторгло из себя в долину р. Ицзими 2,5 млн. м³ ядовитых отходов. Хвостохранилище комбината, одно из крупнейших в КНР, содержит как пустую породу, так и стоки производства. Согласно отчёту компании «LumingMining» за сентябрь 2019 г., его промышленные сточные воды и твёрдые отходы содержали, кроме самого молибдена, различные тяжёлые металлы, включая свинец, цинк, мышьяк, хром, ртуть и кадмий. При получении концентрата используются также такие реагенты, как сульфид или цианид натрия и нефтепродукты.

Масса перемолотой породы, пропитанная водой, дошла до притока второго порядка р. Ицзими, впадающего в р. Хулань, которая, в свою очередь, в черте г. Харбин впадает в р. Сунгари. [3]. Соответственно возникает вопрос, как эта авария могла сказаться на качестве воды р. Амур ниже впадения р. Сунгари? Анализ данных, полученных на сети Росгидромета по содержанию тяжёлых металлов в р. Амур, позволит нам это рассмотреть. Оцениваться будут максимальные концентрации в среднем за каждый год (период 2016-2020 гг.) по профилю р. Амур от с. Черняево до г. Хабаровск. В первую группу металлов входят те металлы, максимальные концентрации соединений которых снижались по профилю от с. Черняево до г. Хабаровск (рис. 2 - 4). Вторую группу составляют те металлы, максимальные концентрации соединений которых, наоборот, возрастают по течению р. Амур от с. Черняево до г. Хабаровск (рис. 5). Соединения ртути появляются в р. Амур только в районе трансграничного створа перед г. Хабаровск (рис. 7).

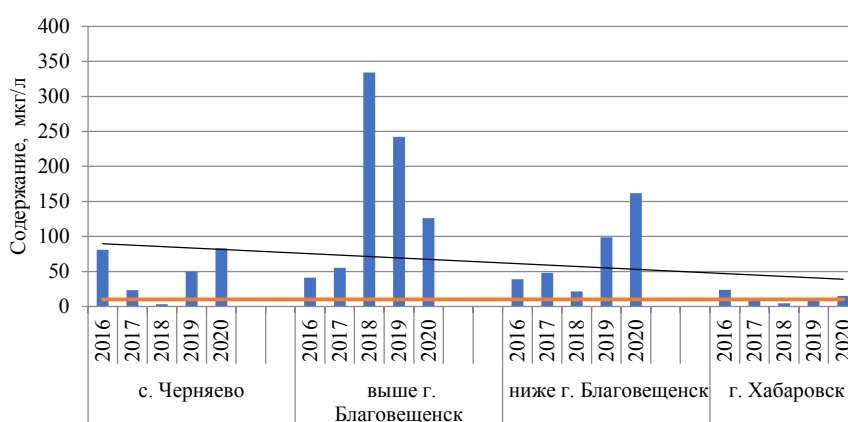


Рисунок 2 - Гистограмма распределения максимальных концентраций соединений цинка по профилю р. Амур за 2016-2020 гг., мкг/л

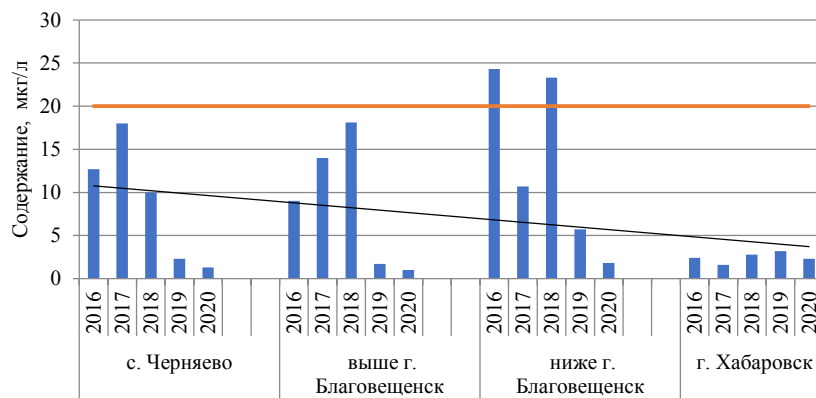


Рисунок 3 - Гистограмма распределения максимальных концентраций соединений хрома по профилю р. Амур за 2016-2020 гг., мкг/л

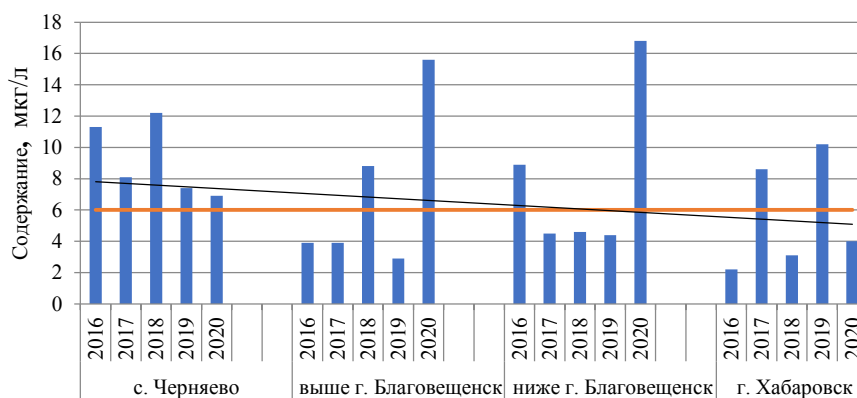


Рисунок 4 - Гистограмма распределения максимальных концентраций соединений свинца по профилю р. Амур за 2016-2020 гг., мкг/л

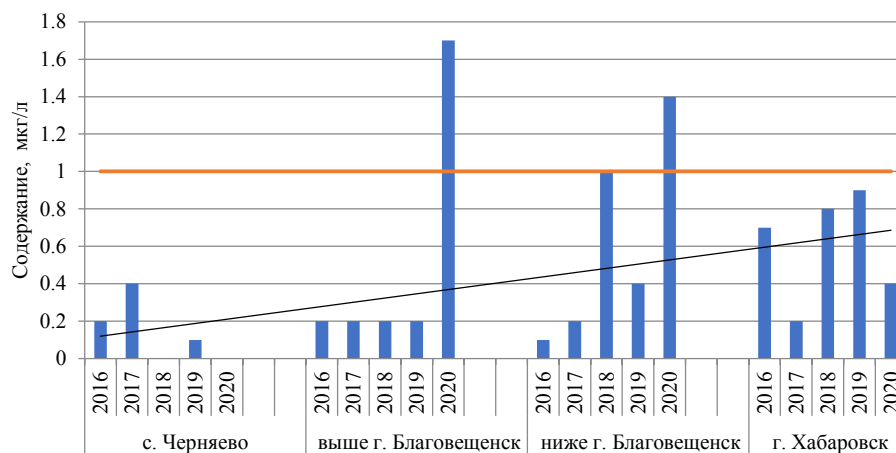


Рисунок 5 - Гистограмма распределения максимальных концентраций соединений кадмия по профилю р. Амур за 2016-2020 гг., мкг/л

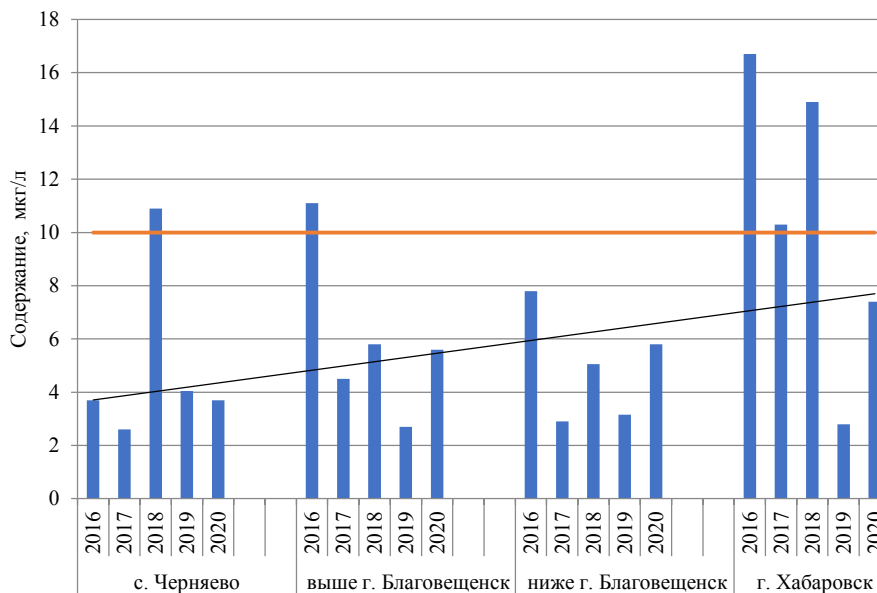


Рисунок 6 - Гистограмма распределения максимальных концентраций соединений мышьяка по профилю р. Амур за 2016-2020 гг., мкг/л

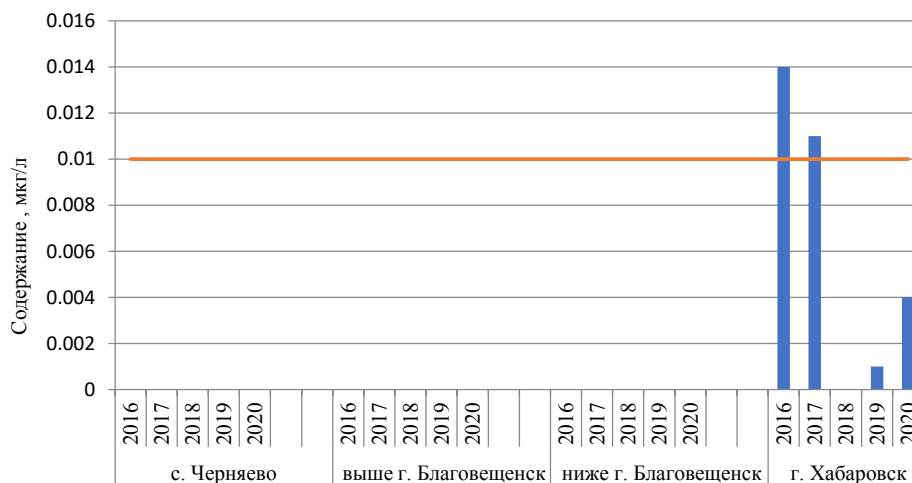


Рисунок 7 - Гистограмма распределения максимальных концентраций соединений ртути по профилю р. Амур за 2016-2020 гг., мкг/л

Установить, является ли китайская сторона виновной в появлении соединений ртути в воде р. Амур, китайская сторона не представляется возможным, в связи с отсутствием пункта наблюдений в районе впадения р. Сунгари, поскольку дальше по течению в р. Амур впадает р. Бира с российской территории. Анализ данных по максимальным концентрациям соединений мышьяка и ртути показывает, что в 2016-2018 гг. до аварии в КНР они значительно превышали ПДК в трансграничном створе выше г. Хабаровск. В 2020 г. их максимальные концентрации были значительно меньше. Одной из причин этого являлся повышенный водный сток р. Амур в 2020 г. по отношению к среднемноголетнему (рис. 8), что привело к разбавлению концентраций загрязняющих веществ.

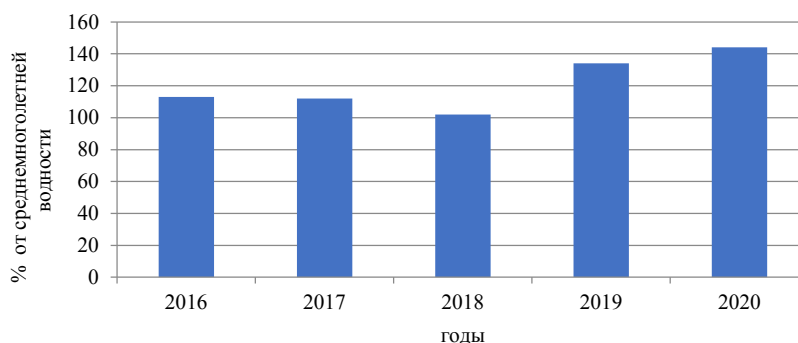


Рисунок 8 - Изменения водности р. Амур в районе г. Хабаровск

В целом, повышение вниз по течению р. Амур концентраций соединений таких металлов, как кадмий и мышьяк можно объяснить сменой физико-географических условий водосбора нижнего течения р. Амур от аридного климата к гумидному. При этом сменяются геохимические условия и усиливаются миграционные возможности этих металлов, попавших в результате аварии, наряду с молибденом, в значительных количествах в бассейн р. Амур. Максимальные же концентрации соединений молибдена, впервые определяемого в р. Амур в 2020 г., отмечались на уровне 0,8 мкг/л, среднегодовые 0,5 мкг/л, то есть всего 0,5 ПДК. Для оценки и прогноза загрязнения р. Амур важен тот факт, что соединения молибдена активно мигрируют в растворенном виде в геохимических условиях аридного климата, а для нижнего течения р. Амур характерен гумидный климат. То есть при смене геохимических условий по течению р. Сунгари, а потом р. Амур соединения молибдена из растворенных форм будут осаждаться в донные отложения со взвесью.

Следует отметить, что Гидрохимический институт, принимавший участие в выполнении НИР «Исследование динамики качества поверхностных вод рек Аргунь, Амур, Уссури, Раздольная и оз. Ханка за период 2007-2016 гг.», внёс предложение по открытию трансграничного пункта наблюдений на р. Амур вблизи от впадения в него р. Сунгари, что позволит заблаговременно получать информацию об изменении качества воды реки (особенно в случае ЧС в бассейне р. Сунгари) и принимать предупредительные меры до поступления волны загрязнения к водозабору г. Хабаровск [4].

Список литературы

1. URL. <https://smotrim.ru/article/2300297>. Власти Китая закрыли 42 предприятия из-за загрязнения реки Сунгари // Смотрим
2. URL. https://chinastudies.kz/ru/publications/modern_china/336/ Стремительный рост Китая: от отсталого аграрного общества к индустриальной державе всего за 35 лет
3. URL. <https://www.sibreal.org/a/30527881.html>. Куда впадает река Сунгари
4. Отчет о НИР по договору от 07.07.2017 г. № 29/17-2 по теме: «Исследование динамики качества вод рек Аргунь, Амур, Уссури, Раздольная и оз. Ханка за период 2006-2016 гг.».

ТРАНСГРАНИЧНЫЕ НАВОДНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АМУР

Шаликовский А.В.

Восточный филиал ФГБУ РосНИИВХ, г. Чита

E-mail: vostokniivh@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу выдающихся наводнений в бассейне р. Амур. Показано, что превышение опасных уровней воды на р. Амур связано с сочетанием стока шести основных притоков, водосборы двух из которых полностью или частично расположены в Китае. В связи с этим требуется расширение механизмов взаимного информирования о метеорологической и гидрологической ситуациях.

Ключевые слова: трансграничные речные бассейны, наводнения, гидрологические прогнозы.

TRANSBOUNDARY FLOODS IN THE AMUR RIVER BASIN

Shalikovsky A.V.

RosNIIVKh Eastern branch, Chita

E-mail: vostokniivh@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis of outstanding floods in the Amur River basin. It is shown that the excess of dangerous water levels on the Amur River is associated with a combination of the runoff of six main tributaries, the catchments of two of which are fully or partially located in China. In this regard, it is necessary to expand mechanisms for mutual information on the meteorological and hydrological situation.

Keywords: transboundary river basins, floods, hydrological forecasts.

Бассейн р. Амур является наиболее паводкоопасным в России, так как наводнения в его пределах отмечаются практически ежегодно. Однако большинство из них лишь вкратце упоминаются в местных СМИ, поскольку затрагивают отдельные сельские населенные пункты. Известность приобретают только наводнения с затоплением крупных населенных пунктов или охватывающие значительную территорию [1], что связано с большой площадью бассейна и высокой неравномерностью распределения осадков по территории и во времени.

Бассейн реки площадью 1856 тыс. км² (без учета водосбора оз. Далайнор) представляет собой преимущественно горную страну с чередованием низких и средневысоких гор. Равнины характерны для восточной части бассейна и значительной части бассейна р. Сунгари. Климат рассматриваемой территории изменяется от резко континентального на западе с годовой суммой осадков 250-500 мм до муссонного на востоке (700-900 мм и более). Реки бассейна по условиям водного режима относятся к дальневосточному типу с выраженным преобладанием дождевого стока.

В разных частях Амурского бассейна дождевые паводки наблюдаются неоднократно и в разное время – гидрографы стока имеют гребенчатый характер. Водный режим главной реки формируется путем сложения паводков на его притоках, поэтому для р. Амур (ниже впадения р. Зeya) характерен сглаженный гидрограф с длительным периодом повышенной водности (рис. 1). Высота его подъема определяется стоком 6 основных притоков – Сунгари, Зeya, Шилка, Уссури, Аргунь и Бурея [2], суммарная площадь бассейнов которых составляет 75 % водосбора р. Амур. Трансграничный характер наводнений характерен не только для основной реки, но и для р.р. Уссури и Аргунь, по которым проходит российско-китайская граница, а также для р. Онон (приток Шилки), высота паводков на которой полностью определяется стоком с территории Монголии.

Амурские наводнения формируются при различных сочетаниях стока основных притоков. Высокую водность в годы с выдающимися наводнениями имели [3]: - в 1958 г. – Зея, Шилка, Аргунь и Буряя; - в 1959 г. – Зея, Шилка, Усури и Буряя; - в 1984 г. – Зея, Аргунь и Шилка; - в 2013 г. – все основные притоки; - в 2019 г. – Сунгари, Зея, Усури и Буряя; - в 2020 г. – Зея, Сунгари и Усури.

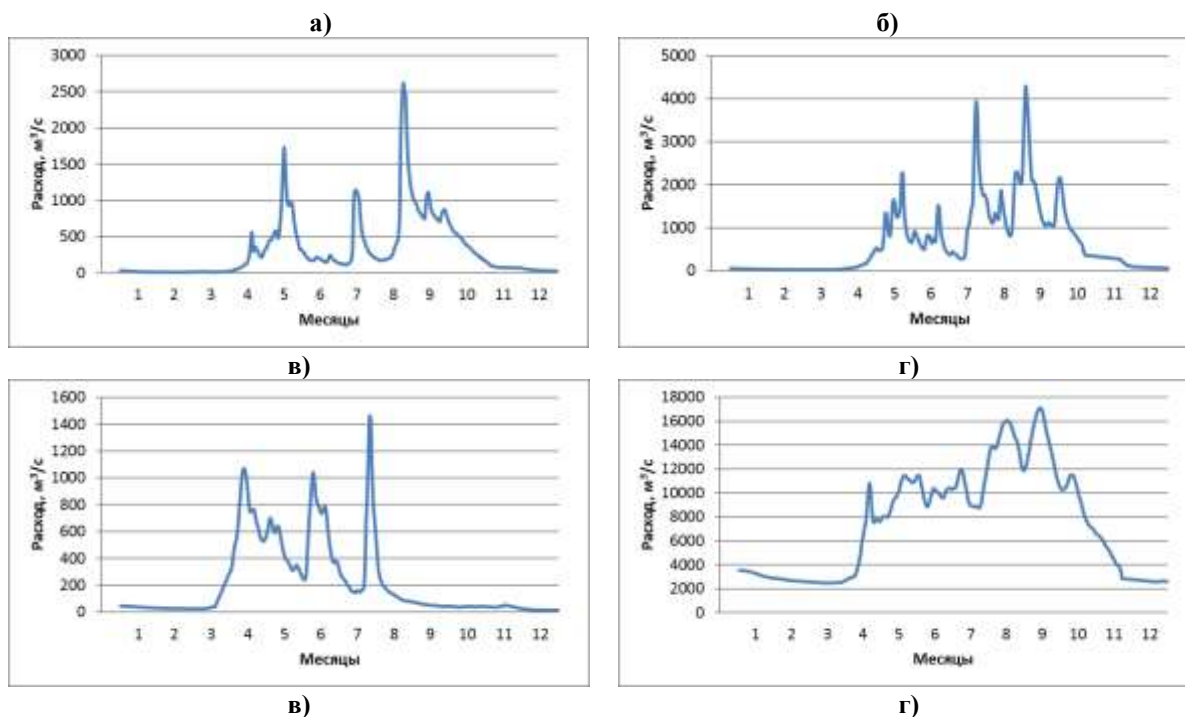


Рисунок 1 – Пример трансформации гидрографов притоков в гидрограф р. Амур (средний по водности 2017 г.): а – р. Шилка (Сретенск); б – р. Селемджа (Усть-Ильма); в – р. Усури (Кировский); г – р. Амур (Хабаровск)

Специфической особенностью бассейна р. Амур является очень низкая корреляция годовых сумм осадков в бассейнах разных притоков. Например, ряд осадков по метеостанции Экимчан, расположенной в бассейне р. Селемджа (приток р. Зея), не коррелирует с рядами по другим метеостанциям (рис. 2) и составляет $r = -0,1...+0,05$. Поэтому одним из условий формирования выдающихся наводнений на р. Амур является совпадение высокой увлажненности бассейна р. Зея с какими-либо другими бассейнами [4].

Проблемы прогноза трансграничных наводнений проявилась в 2013 г., когда произошло крупнейшее наводнение на Среднем и Нижнем Амуре (рис. 3). Сложная паводковая ситуация в бассейне р. Зея сложилась в конце второй – начале третьей декады июля, а 24 июля на территории Амурской области был введен режим чрезвычайной ситуации. Обильные осадки, выпавшие в конце июля в горах Большого Хингана, привели к формированию высокого паводка на р. Аргунь и на притоках р. Сунгари. Гребень паводка перемещался от Благовещенска до Хабаровска с 16 августа по 4 сентября, принимая максимумы паводков основных притоков [5].

Единственной критической проблемой взаимодействия российской и китайской сторон за период наводнения явилась ситуация на р. Аргунь. В результате упоминавшихся осадков в горах Большого Хингана сформировался паводок на р. Хайлар (название р. Аргунь в пределах КНР), гребень которого вышел к пограничному створу 9 августа. Но эти же осадки сформировали паводок на притоке р. Аргунь – р. Генхе, расход которого превышал расчетный расход 1%-ной обеспеченности р. Аргунь ниже впадения этого притока. Именно этот паводок 3-4 августа привел к затоплению ряда сел на р. Аргунь, а не тот, который в это время только перемещался по основному

руслу в направлении российской границы [1]. Отсутствие информации об этой гидрологической ситуации не позволило принять превентивные меры, включая эвакуацию населения и имущества.

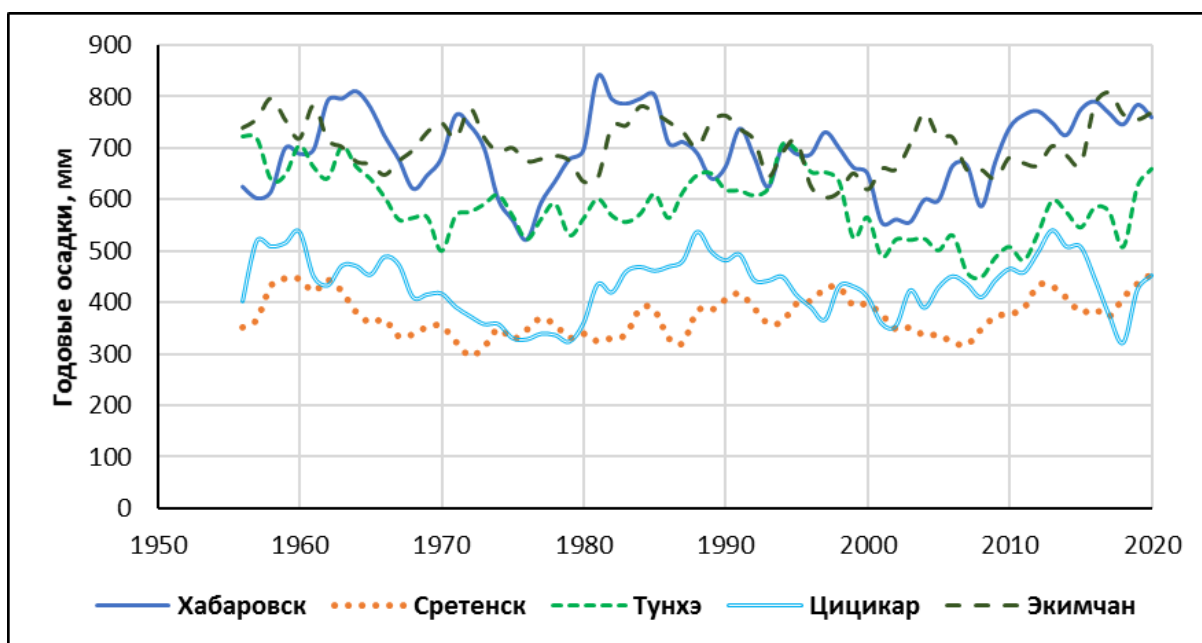


Рисунок 2 – Годовые осадки, сглаженные 5-летним скользящим взвешенным (WMA)

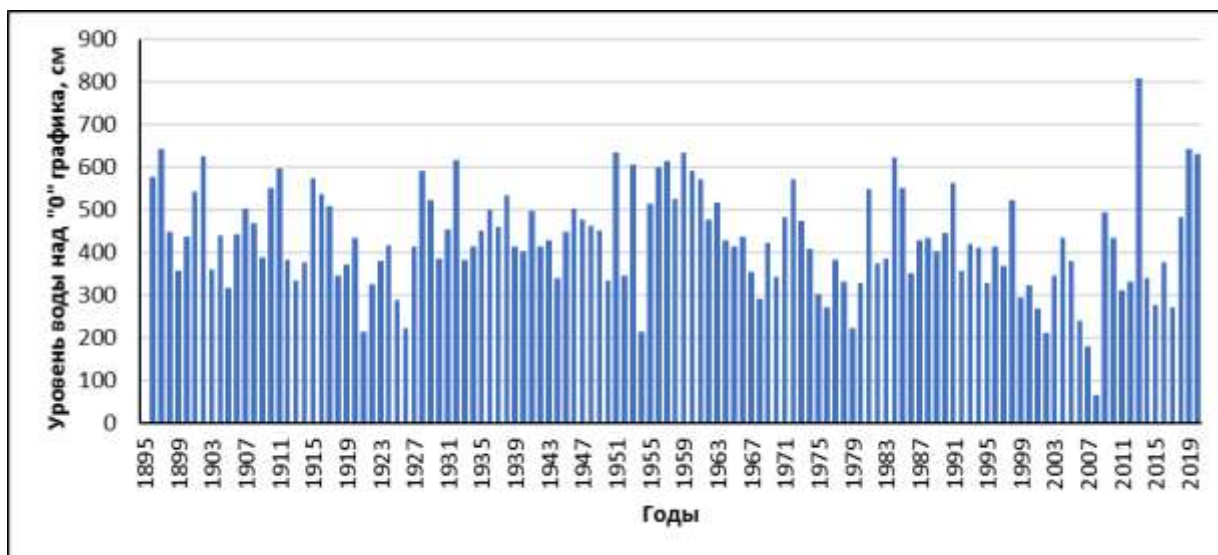


Рисунок 3 – Максимальные уровни р. Амур в г. Хабаровск

В остальных аспектах российско-китайское сотрудничество в 2013 г. показало достаточную эффективность – осуществлялась передача данных о гидрологической ситуации и режимах работы водохранилищ, а также прогнозов развития паводковой ситуации. Это было отмечено на 18-й встрече глав правительств России и Китая (октябрь 2013 г.), а также в Протоколе Совместной китайско-российской комиссии по рациональному использованию и охране трансграничных вод (январь 2014 г.).

В 2019 и 2020 гг. наблюдались очередные значительные наводнения на р. Амур. В 2019 г. в Амурской области в зону затопления попали 879 жилых домов, более 3 тыс. приусадебных участков; в ЕАО – 54 населенных пункта (число пострадавших – 6400 чел.); в Хабаровском крае – 815 частных жилых домов в 57 населённых пунктах, более

1,6 тыс. приусадебных участков и более 2,1 тыс. дач. В 2020 г. в Амурской области от наводнения пострадало 55 населенных пунктов, 330 частных и многоквартирных домов, 1,3 тыс. приусадебных участков; в ЕАО – 8 населенных пунктов, 1385 жилых домов; в Хабаровском крае – 11 населенных пунктов (общий размер выплат пострадавшим – около 17,9 млн. руб.). Уровни воды р. Амур в эти наводнения были повсеместно ниже, чем в 2013 г. (рис. 4), но во многих створах превышали отметку опасного явления (ОЯ).

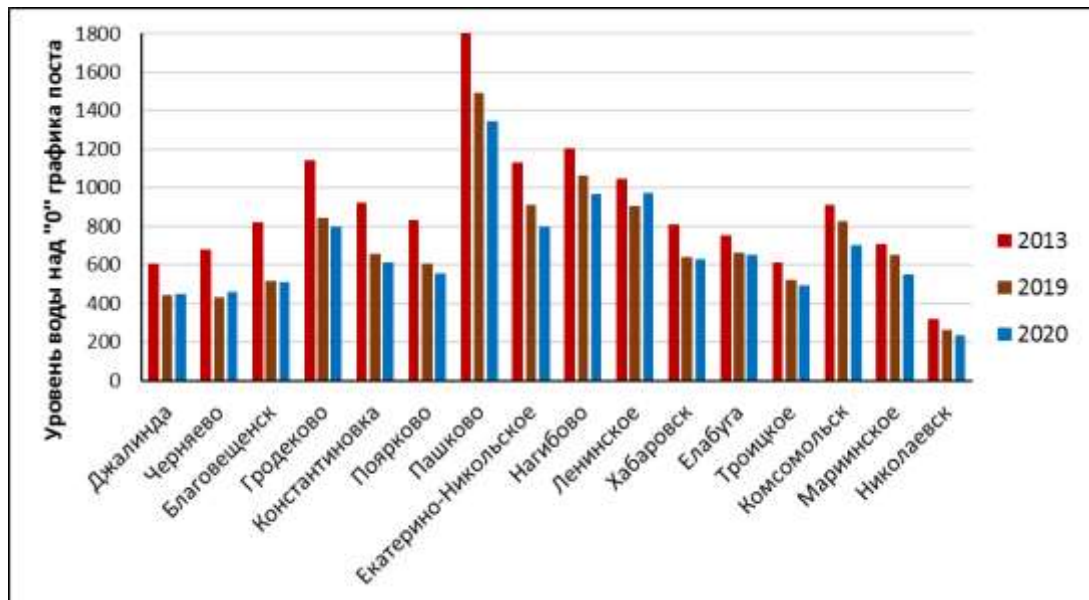


Рисунок 4 – Максимальные уровни р. Амур в 2013, 2019 и 2020 гг.

На 11-ом заседании рабочей группы по управлению водными ресурсами Совместной Российско-Китайской комиссии по рациональному использованию и охране трансграничных вод, которое состоялось в октябре 2020 г., было, в частности, решено:

- расширить перечень гидрологических постов, по которым производится обмен информацией до 29;

- представить на утверждение Совместной комиссии откорректированные и усовершенствованные «График проведения гидрологического мониторинга (измерения расходов воды) трансграничных водных объектов с пересечением государственной границы» и «Программу обмена гидрологической информацией по водным объектам бассейна р. Амур».

- разработать критерии для определения гидротехнических сооружений на трансграничных водных объектах, способных оказать значительное негативное влияние на сопредельную территорию.

В заключение следует отметить, что основным фактором значительных потерь от наводнений является не гидрологический режим рек бассейна р. Амур, а хозяйственное использование паводкоопасных территорий [6, 7], потому что здесь существенный ущерб причиняют паводки обеспеченностью даже 5-10 %, при которой в большинстве других регионов страны уровни рек не поднимаются до границ застройки.

Список литературы

1. Симонов Е.А., Никитина О.И., Осипов П.Е., Егидарев Е.Г., Шаликовский А.В. Мы и амурские наводнения: невыученный урок? М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2016. 216 с.

2. Болгов М. В., Алексеевский Н. И., Гарцман Б. И., Георгиевский В. Ю., Дугина И. О., Ким В. И., Махинов А. Н., Шалыгин А. Л. Экстремальное наводнение в бассейне Амура в 2013 году: анализ формирования, оценки и рекомендации // География и природ. ресурсы. 2015. № 3. С. 17-26.

3. Шалыгин А.Л. Факторы формирования амурских наводнений на основе пространственного анализа вероятностных характеристик выдающихся паводков в бассейне Амура // Экстремальные паводки в бассейне Амура: гидрологические аспекты / Под ред. Георгиевского В.Ю. СПб: ФГБУ «ГГИ». 2015. С. 84-90.

4. Амурская область: водные ресурсы и основы региональной водохозяйственной деятельности /под ред. В. Н. Заслоновского. Екатеринбург; Чита: Изд-во РосНИИВХ, 2005. 103 с.

5. Махинов А.Н., Ким В.И., Воронов Б.А. Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 2. С. 5-14.

6. Шаликовский А.В. Предупреждение и снижение негативных последствий наводнений в верхней части бассейна реки Амур. Чита: ЧитГУ, 2009. 226 с.

7. Шаликовский А. В., Курганович К. А. Оценка опасности и риска хозяйственного использования речных пойм бассейна Верхнего и Среднего Амура // Вестник Забайкальского гос. ун-та. 2011. № 11. С. 119–124.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ОЗЕРА ХАНКА

Шестеркин В.П.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

E-mail: shesterkin@ivep.as.khb.ru

Аннотация. Рассмотрено качество воды озера Ханка. Изучена сезонная и пространственная изменчивость содержания главных ионов. Отмечено увеличение содержания основных ионов, обусловленное активизацией хозяйственной деятельности на водосборе и особенностями гидрологического режима. Установлено, что в летне-осенний период 2008–2012 гг. содержание Cl^- в воде р. Сунгача, вытекающей из озера, возросло в 2 раза по сравнению с 1957–58 гг.

Ключевые слова: озеро Ханка, качество воды, загрязнение.

SPECIFIC FEATURES OF FORMING THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE WATER IN THE KHANKA LAKE

Shesterkin V. P.

Institute of water and ecology problems Feb RAS, Khabarovsk

Abstract. The features of forming the chemical composition of the water in the Khanka Lake are considered. Seasonal and spatial variability of the main ions content has been studied. The increase in the content of major ions due to the intensification of economic activity in the watershed and the peculiarities of the hydrological regime was noted. It was defined that Cl^- concentration had increased twice in the water of the Sungach River in summer-autumn period of 2008-2012 in comparison with 1957-1958.

Keywords: Khanka Lake, chemical composition of water, dissolved substances.

Озеро Ханка – крупнейший трансграничный водоем Дальнего Востока. Площадь водной поверхности при среднем многолетнем уровне составляет 4 070 км², в том числе в пределах России – 3 030 км² [1]. Площадь водосбора достигает 18 400 км², в российской части – 15 370 км². Озеро мелководное с наибольшими глубинами на севере

(до 5–6 м) и наименьшими на юге. Объем воды при среднем уровне составляет 18,5 км². Основные притоки – рр. Илистая, Комиссаровка и Спасовка. Вытекает р. Сунгача (приток р. Уссури), расходы воды которой в 1958 г. изменялись от 35,4 до 67,6 м³/с [1]. Озеро Мал. Ханка отделено от основного водоема узкой косой, средняя и максимальная глубины составляют 1,8 и 3,0 м, соответственно, площадь водоема – 176 км² [2].

Изучение качества воды оз. Ханка летом 1903 г. при содействии «Общества изучения Амурского края» свидетельствовало о больших различиях в содержании главных ионов из-за несовершенства методов анализа. Если в южной части озера, например, содержание хлоридов натрия и калия суммарно составляло 2,6 мг/л, а величина минерализации – 45 мг/л, то в р. Сунгача – 19,1 и 197 мг/л, соответственно [3].

Мониторинг за химическим составом воды оз. Ханка у с. Астраханка и с. Турий Рог в 1952 г. начинало УГМС Дальнего Востока. В 1957 г. появляются первые данные о качестве воды р. Сунгача у с. Ново-Михайловка. Активное освоение водных ресурсов озера для рисосеяния началось в 60–70-е гг. Исследования ТИГ ДВО АН СССР в 1982–1988 гг. свидетельствовали о загрязнении озерных вод пестицидами, тяжелыми металлами и биогенными веществами повышенной минерализации [4].

Эпизодические наблюдения за содержанием загрязняющих веществ (минеральных форм азота, органических веществ и микроэлементов) в воде р. Сунгача в истоке осуществляли во время российско-китайского мониторинга в 2008–2013 гг.

В последние годы были получены данные о качестве воды основных притоков, что дало возможность рассмотреть изменение содержания растворенных веществ в воде в оз. Ханка, среди которых особое внимание было уделено Cl⁻, отличающемуся высокой растворимостью и слабой способностью к сорбции взвешенными веществами.

Гидрохимические исследования осуществляли на притоках оз. Ханка (Спасовка, Илистая, Комиссаровка и др.) в сентябре 2018 г., феврале и октябре 2019 г. Пробы воды отбирали с поверхности, аналитические работы осуществляли по общепринятым при гидрохимических исследованиях методам. Содержание основных ионов (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻ и SO₄²⁻), нитратного и аммонийного азота определяли в ЦКП при ИВЭП ДВО РАН. В работе использовали опубликованные материалы УГМС ДВ за 1952–1958 гг. и совместного российско-китайского мониторинга в 2008, 2011–2013 гг.

Воды оз. Ханка по химическому составу относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу [5], который обусловлен муссонным характером климата, устойчивостью подстилающих пород водосбора к выветриванию.

Минерализация воды варьирует в широких пределах. В 1952–1958 гг. она изменялась от 65,6 до 187,9 мг/л (табл. 1). Значительная амплитуда колебаний была характерна для концентраций Na⁺, K⁺, SO₄²⁻, повышенные уровни которых могли быть вызваны высокой мутностью вод озера [4], т.к. в эти годы содержание SO₄²⁻ и Ca²⁺ определялось весовым, а Na⁺ и K⁺ – расчетным методам и поэтому концентрации этих ионов в воде были завышенными. Содержание остальных ионов изменялось в более узких пределах, максимальные значения в сезонном отношении отмечались зимой. Подобная сезонная динамика химического состава воды наблюдалась в 1957–1958 гг. в воде р. Сунгача.

Значения минерализации по акватории озера распределялись относительно равномерно. Среднемноголетнее содержание Cl⁻ в воде оз. Ханка у с. Турий рог составляло 3,8 мг/л, с. Астраханка – 3,7 мг/л, р. Сунгача – 3,2 мг/л.

В воде оз. Малая Ханка и китайской части оз. Ханка в 1983 г. [2] большие различия в содержании Ca²⁺ (19,0 и 20,9 мг/л) и Mg²⁺ (6,23 и 6,85 мг/л) отсутствовали, тогда как концентрация K⁺ сильно различалась (9,0 и 4,4 мг/л, соответственно). Наблюдения в российской части оз. Ханка в эти годы свидетельствовали о значительных колебаниях величины минерализации (60–120 мг/л) [4].

Таблица 1 – Сезонная динамика содержания главных ионов и величины минерализации в воде оз. Ханка в 1952–1958 гг., мг/л

Сезон	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Минерализация
с. Турый пор							
Зима	12,4–27,8	1,5–5,2	10–24,2	61,0–123,8	3,5–7,5	6,9–17,3	97,4–187,9
	18,1	3,1	15,9	79,8	5,2	12,6	135,6
Весна	8,6–13,6	0,4–2,6	7,8–18,0	43,9–62,8	2,9–4,9	2,3–27,7	75,6–112,6
	11,0	1,6	13,2	50,6	3,7	15,3	93,3
Лето	10,2–12,7	0,1–4,1	5,2–22,5	39,1–61,6	1,3–5,1	4,4–25,7	71,5–116,2
	11,3	1,5	14,0	49,5	3,4	15,1	95,6
Осень	10,0–13,2	0,7–3,7	5,5–31,8	43,3–52,5	2,8–3,8	3,9–19,6	77,5–96,9
	10,9	2,2	13,6	48,9	3,3	12,8	87,7
с. Астраханка							
Зима	10,2–20,5	0,2–6,1	9,2–20,2	45,8–94,6	4,1–6,7	4,0–21,4	78,5–166,4
	14,9	2,5	13,5	71,5	5,3	12,2	115,5
Весна	8,5–13,6	0,7–3,2	6,2–24,2	36,6–83,6	1,0–5,7	9,7–36,2	70,5–139,6
	10,4	1,9	14,8	53,3	3,2	17,2	102,0
Лето	10,0–12,4	0,2–3,2	5,8–19,5	36,6–50,6	1,8–6,7	5,3–29,1	65,6–109,5
	11,2	1,4	12,4	44,7	3,2	15,9	88,6
Осень	9,6–12,0	0,6–3,2	4,8–22,5	42,7–53,7	2,7–4,1	4,7–29,5	69,5–117,6
	11,0	1,7	14,9	46,4	3,2	20,7	98,0

Изучение химического состава вод р. Сунгача в 2008–2012 гг. свидетельствовало о более высоком содержании основных ионов. Концентрация Cl⁻ и значение минерализации в феврале, в среднем, составляли 12,6 и 169,4 мг/л, в мае-июне – 5,0 и 100,3 мг/л, июле-октябре – 7,0 и 128,8 мг/л, соответственно [7]. По данным российско-китайского мониторинга содержание Cl⁻ в феврале 2008 г. достигало 8,9 мг/л, в августе – 7,0 мг/л [8], т.е. значения мало отличались. По сравнению с 1957–1958 гг., содержание Ca²⁺ зимой возросло в 1,3 раза, HCO₃⁻ – 1,4 раза, Cl⁻ – 3,5 раза, Mg²⁺ – 4,1 раза. Выше была концентрация главных ионов и по сравнению с летне-осенним периодом: Ca²⁺ и HCO₃⁻ в 1,5 раза, Cl⁻ – в 2,0 раза, Mg²⁺ – 3,0 раза. Минерализация воды в эти сезоны повысилась в 1,6 и 1,4 раза, соответственно.

В период мониторинга содержание аммонийного азота в воде р. Сунгача в истоке изменялось в больших пределах (<0,02–0,44 мг N/л), незначительное загрязнение наблюдалось лишь в феврале 2011 г. и мае 2013 г. Содержание нитратного азота не превышало 0,47 мг N/л, часто находилось ниже предела обнаружения [7–10].

Сравнение материалов наблюдений за июнь 2017 г. [11] и май-июнь 2008–2012 гг. [6] также указывает на различия в содержании главных ионов. В воде р. Сунгача в июне 2017 г. минерализация и содержание Cl⁻ достигали 124,6 и 7,7 мг/л, соответственно, т.е. по сравнению с 2008–2012 гг. возросли в 1,2 и 1,5 раза. Среди катионов доминировал Ca²⁺ (49,5%-экв), среди анионов – HCO₃⁻ (74,5%-экв). Содержание остальных ионов было ниже: Mg²⁺ – 26,7%-экв, Na⁺ – 19,0%-экв, SO₄²⁻ – 12,2 %-экв и Cl⁻ – 13,2%-экв. Причем, в 2008–2012 гг. доля Cl⁻ составляла 9,4%-экв, а SO₄²⁻ – 21,9%-экв.

Такое изменение качества воды р. Сунгача свидетельствует об активизации хозяйственной деятельности в бассейне оз. Ханка (развитие мелиорации на российской и китайской территориях переброска вод р. Мулинхэ в озеро, широкое использование минеральных удобрений в сельском хозяйстве и др.).

В 2017 г. в китайской части бассейна оз. Ханка в структуре использования земель доминировали рисовые поля (1200,45 км²), пашня достигала 536,81 км². В российской части бассейна доля обрабатываемых земель составила 13,2%, причем в отличие от китайской части, преобладала пашня (2323,06 км²) [12].

Повышению минерализации вод озера способствует поступление большого объема сточных вод животноводческих ферм, промышленных и коммунальных сточных вод – в российской части бассейна проживает 205,1 тыс. чел., в китайской части – 400,7 тыс. чел. [12]. Поэтому в воде рр. Спасовка и Кулешовка в 1985–2004 гг. содержание Cl^- изменялось в пределах 5,0–202 и 12,4–254 мг/л, соответственно, а в 2005–2009 гг. – 5,0–54,6 и 7,1–69,8 мг/л, также соответственно. Минерализация воды в р. Спасовка в эти периоды времени находилась в пределах 84,2–763 и 63,2–413 мг/л, в р. Кулешовка – 91,2–2525 и 112–490 мг/л, соответственно [13]. Согласно данным Росгидромета, р.р. Спасовка и Кулешовка по качеству воды в 2019 г. относились к 4 классу «грязная», критическим показателем являлся аммонийный азот [14]. «Очень загрязненными» класса 3 б являлись р.р. Илистая и Мельгуновка.

Наблюдения в 2018–2019 гг. также свидетельствуют о поступлении больших количеств солей с водами р. Спасовка в оз. Ханка. Во время паводка, вызванного выходом экс-тайфуна Соулик, обусловившего подъем уровней воды на 1,0–3,0 м, подтопление хозяйственных строений и сельскохозяйственных угодий в пониженных местах, минерализация воды и содержание Cl^- в воде р. Спасовка были в 2 раза выше, чем в Мельгуновка (табл. 2). В зимнюю межень содержание растворенных веществ в воде притоков было значительно выше (Cl^- в 2,7–3,0 раза), причем воды р. Спасовка характеризуются загрязнением аммонийным (2,4 ПДК) и нитритным (1,8 ПДК) азотом.

Таблица 2 - Химический состав вод притоков оз. Ханка в 2018–2019 гг., мг/л

Дата	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	NO_3^-	Минерализация
р. Спасовка – с. Гайворон										
30.08.18	5,3	2,9	17,8	3,5	71	3,8	7,2	0,19	0,36	112,3
23.10.19	10,7	2,7	26,8	6,3	109	9,4	10,5	0,32	3,8	180,0
р. Спасовка – устье										
26.02.19	14,6	3,9	29,0	7,2	140	11,5	10,3	1,21	0,36	218,1
23.10.19	8,7	3,3	18,2	3,5	77,3	6,1	8,4	0,09	<0,04	125,6
р. Илистая – устье										
30.08.18	3,2	2,1	6,6	2,5	34	2,1	3,6	0,06	0,46	54,7
26.02.19	7,8	3,2	13,1	4,6	55	5,6	17,9	0,09	0,34	107,7
23.10.19	9,2	2,7	20,2	7,3	71,5	4,1	25	0,07	0,17	141,3
р. Комиссаровка – устье										
30.08.18	4,9	2,9	11,6	3,5	50	4,1	10,0	0,09	<0,04	87,1
р. Мельгуновка – устье										
30.08.18	3,2	2,7	6,6	2,5	33	1,8	2,9	0,18	<0,04	53,2
23.10.19	7,8	1,3	11,6	4,8	70,3	3,0	4,5	0,07	0,20	103,7

Большую роль в повышении концентраций солей играют особенности гидрологического режима водоема. Известно, что оз. Ханка относится к испарительно-нейтральным водоемам, полный водный обмен в котором происходит один раз в 10 лет. В расходной части водоема за 23-летний период наблюдений (1949–1971 гг.) на долю испарения приходилось 55,9%, на сток р. Сунгача из озера – 44,1% [1]. Поэтому при ограничении стока р. Сунгача (образование сплавин, кос и др.), содержание растворенных веществ в воде оз. Ханка будет расти. Как свидетельствуют материалы российско-китайского мониторинга, в августе 2011 и 2013 гг. расходы воды р. Сунгача составляли 12,2 и 17,7 м³/с соответственно [13–15], т.е. были в 2–3 раза ниже, чем в 1958 г. [1].

Учитывая гидрологические особенности этого водоема (преобладание притока над расходами), а также повышенный сток солей в озеро, в том числе и из бассейна р.

Мулинхэ, можно предполагать дальнейшее увеличение содержания основных ионов в воде оз. Ханка, а соответственно и р. Уссури. Проведение масштабных гидрохимических исследований на всей акватории этого водоема позволит оценить современное качество его вод и дать прогноз его изменения.

Таким образом, исследования свидетельствуют о больших изменениях в содержании растворенных веществ в воде оз. Ханка за многолетний период. Отмечено повышение концентраций главных ионов в озерной воде, обусловленное активизацией хозяйственной деятельности на водосборе и особенностями гидрологического режима. Показано относительно равномерное распределение содержания основных ионов по акватории в 1952–1958 гг. Установлено, что в летне-осенний период 2008–2012 гг. содержание хлоридного иона в воде р. Сунгача, вытекающей из озера, по сравнению с 1957–1958 гг., повысилось в 2 раза, значение минерализации – 1,4 раза.

Автор выражает благодарность сотрудникам ИВЭП ДВО РАН и ТИГ ДВО РАН за содействие в отборе проб воды рек – притоков оз. Ханка.

Список литературы

1. Васьковский М.Г. Гидрологический режим оз. Ханка. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 171 с.
2. Xangcan Jin. Lakes in China. V. 2. China Ocean Press. 1995. P. 58–69.
3. Оссендовский А.М. К вопросу об изучении гидрологии нашего Дальнего Востока // Журн. рус. физ.-хим. общ-ва. 1906. Т. XXXVIII. Ч. 2. Спб: Импер. Санкт-Петербургский ун-т. С. 1074–1079.
4. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука. 2002. 392 с.
5. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат. 1970. 413 с.
6. Луценко Т.Н., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Пространственно-временная динамика химического состава речных вод российской части бассейна р. Уссури // Водное хозяйство России. 2013. № 3. С. 65–79
7. Оценка данных совместного Российско-Китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2008 году. Южно-Сахалинск: Амурское бассейновое водное управление. 2009. 108 с.
8. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2011 году. Хабаровск: Росводресурсы. 2012. 122 с.
9. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2012 году. Хабаровск: Росводресурсы. 2013. 240 с.
10. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2013 году. Хабаровск: Росводресурсы. 2014. 158 с.
11. Шестеркин В.П., Крутикова В.О. Солевой состав вод реки Уссури // Региональные проблемы. 2018. Т. 21. № 2. С. 69–75.
12. Егидарев Е.Г., Базаров К.Ю., Мишина Н.В. Современное использование земель в бассейне озера Ханка // Геосистемы Северо-Восточной Азии: особенности их пространственно-временных структур, районирование территории и акватории. – Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2019. С. 197–203.
13. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Реки Дальнего Востока (гидрохимия и геоэкология). Ростов-на-Дону: НОК. Ч. IV. 2011. 324 с.
14. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2019 году. Владивосток. 2020. <https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/water/informatsiya-ob-osushchestvlenii-zakupok-tovarov-rabot-uslug-dlya-obespecheniya-gosudarstvennykh-nuzh.pdf> (дата обращения 12.05.2021).

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АММОНИЙНОГО АЗОТА В ВОДЕ РЕКИ АМУР В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ ПОСЛЕ ТРАНСГРАНИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В 2005 ГОДУ

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск

E-mail: shesterkin@ivep.as.khb.ru

Аннотация. Рассмотрена пространственная и временная изменчивость содержания аммонийного азота в воде р. Амур у Хабаровска в зимнюю межень после трансграничного загрязнения в 2005 году. Отмечено снижение его концентрации в зимнюю межень 2019–2021 гг. по сравнению с зимней меженью 2000–2005 гг. в 7,4 раза и отсутствие случаев загрязнения аммонийным азотом вод Амура.

Ключевые слова: река Амур, аммонийный азот, содержание.

CHANGES IN AMMONIUM NITROGEN CONTENT IN THE AMUR RIVER WATER DURING THE WINTER LOW-WATER PERIOD AFTER TRANSBOUNDARY POLLUTION IN 2005

Shesterkin V.P., Shesterkina N.M.

Institute of water and ecology problems FEB RAS, Khabarovsk

Abstract. The spatial and temporal variability of ammonium nitrogen content in the Amur River water near Khabarovsk during the winter low-water period after transboundary pollution in 2005 has been considered. 7.4-fold decrease in its concentration in the winter low water of 2019–2021 compared to the winter low water of 2000–2005 and no cases of ammonium nitrogen pollution of the Amur River waters were noted.

Keywords: Amur River, ammonium nitrogen, content.

Введение. Аммонийный азот – вещество, которое лимитирует качество поверхностных вод, значение ПДК составляет 0,39 мг N/л. Мониторинг за его содержанием в воде р. Амур у г. Хабаровск с 1975 г. ведет Росгидромет, с 1997 г. – ИВЭП ДВО РАН. Анализ этих материалов за период 1975–2005 гг. позволил выявить загрязнение вод Амура аммонийным азотом в 1977, 1984 и 1987 гг. (ПДК было выше в 3 и более раза [1, 2]), изучить многолетнюю динамику его содержания и сток в воде среднего Амура [3], установить влияние вод р. Сунгари на сток аммонийного азота [2].

Большое внимание проблема качества вод Амура привлекла после крупной аварии на химическом комбинате г. Цилинь (КНР) в ноябре 2005 г., которая вызвала поступление более 100 т загрязняющих веществ в р. Сунгари. Мониторинг в декабре 2005 г. ниже устья этой реки на р. Амур у пос. Нижнелинское свидетельствовал о низком содержании аммонийного азота в российской части русла Амура (0,2–0,4 мг N/л) и загрязнении его китайской части (до 3,8 ПДК) [4].

Объекты и методы. Гидрохимические исследования осуществляли в 2006–2021 гг. в основном на р. Амур у г. Хабаровск. Выбор этого участка реки обусловлен его наибольшей гидрологической и гидрохимической изученностью. Пробы воды отбирали с поверхности на 5–6 равномерно распределенных по ширине реки вертикалях в декабре-марте 1–2 раза в месяц. На пограничных участках Амура в районе пос. Амурзет и Нижнеленинское, расположенных выше и ниже устья р. Сунгари, пробы воды брали эпизодически. Анализ образцов проводили в Центре коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН. Содержание аммонийного азота определяли фотометрически в виде индофенолового синего по ПНД Ф 14.2.4.209-05 [5].

Результаты и обсуждение. Выше устья Сунгари, в районе пос. Амурзет, концентрация аммонийного азота в марте 2006 г. по ширине Амура распределялась относительно равномерно (0,23–0,30 мг N/л). Аналогичные значения отмечались во

время совместного российско-китайского мониторинга в 2008, 2012 [6] и 2013 гг. В многоводную зиму 2017 г. содержание аммонийного азота было значительно ниже (0,02–0,03 мг N/л), т.е. различия по ширине практически отсутствовали.

Ниже устья р. Сунгари, в районе пос. Нижнеленинское содержание аммонийного азота по ширине Амура в 2006 г. также как в предыдущие годы [4] распределялось крайне неравномерно. Если в российской части русла Амура концентрация не превышала значения ПДК, то в китайской части достигала 6,0 ПДК. По сравнению с декабрем 2005 г. в правобережной части Амура она была выше в 1,9 раза. В 2008 и 2011 гг. содержание аммонийного азота у китайского берега составляло 6,9 и 8,8 ПДК, тогда как у российского берега – 0,5 и 1,3 ПДК, соответственно. Более низкие (в 3,3 раза), чем в 2006 и 2008 гг. отмечались концентрации в китайской части русла Амура во время российско-китайского мониторинга в 2012–2014 гг. В последующие годы стало отмечаться отсутствие загрязнения вод Амура аммонийным азотом. В марте 2017 г. в китайской части русла Амура у пос. Нижнеленинское содержание аммонийного азота достигало 0,8 ПДК, в российской части – 0,06 ПДК.

Такое значительное улучшение качества вод р. Сунгари, а соответственно и р. Амур, могло быть обусловлено проведением природоохранных мероприятий в Китае после аварии в 2005 г. Некоторые предприятия были закрыты, введены в строй новые и модернизированы изношенные очистные сооружения и др., что способствовало снижению выноса аммонийного азота в р. Амур.

Улучшению качества вод Амура также способствовало повышение его водности из-за увеличения расходов воды зарегулированной в 2003 г. р. Бурей. В зимнюю межень 2010–2020 гг. они возросли в среднем в 1,6 раза по сравнению с 2005–2007 гг. [7], в 2019–2021 гг. достигали максимального значения (835 м³/с). В 2005–2007 гг. суммарные расходы воды р.р. Зeya и Бурей ниже ГЭС, в среднем, составляли 1219 м³/с, в 2012–2013 гг. – 1978 м³/с, а в 2013–2014 гг., после исторического наводнения 2013 г. – 2161 м³/с [7].

Повышенный сток р.р. Зeya и Бурей, наряду с улучшением качества воды р. Сунгари, оказал большое влияние на содержание и сток аммонийного азота в воде р. Амур у Хабаровска. В 2000–2005 гг. его концентрация, в среднем, составляла 0,74 мг N/л, в 2006–2010 гг. – 0,47 мг N/л, т.е. снизилась в 1,6 раза (рис. 1). Загрязнение воды в эти годы, в основном отмечалось на середине Амура, среднегодовое значение было ниже ПДК.

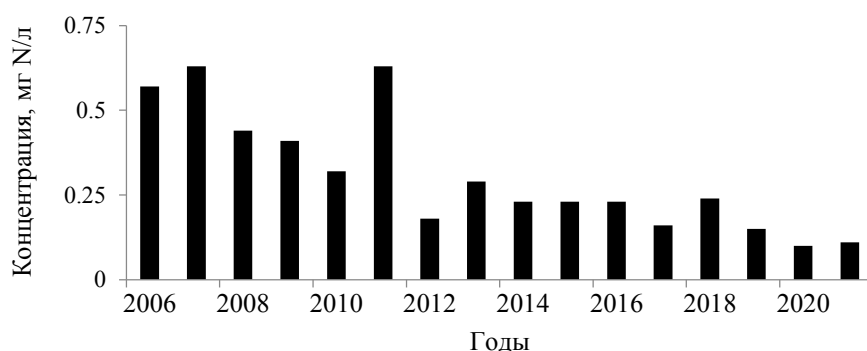


Рисунок 1 – Среднее за зимнюю межень содержание иона аммония в воде р. Амур у г. Хабаровск в 2006–2021 гг.

В 2010–2014 гг. содержание аммонийного азота в среднем составляло 0,35 мг N/л. Наибольшее значение отмечалось в многоводном 2011 г. (0,63 мг N/л), минимальные – в маловодном 2012 г. (0,18 мг N/л) и многоводном 2014 г. (0,23 мг N/л) [8]. Максимальный сток аммонийного азота в этот период времени наблюдался в 2011 г. (4316 т/мес.), минимальные в 2012 г. (885 т/мес.) и 2014 г. (1484 т/мес.). Такая

значительная величина стока в 2011 г. в условиях стабильных расходов воды рр. Зея и Бурея ниже ГЭС (1610–1693 м³/с) могла быть связана с повышенной водностью р. Сунгари после наводнения 2010 г. [9].

В 2015–2021 гг. содержание аммонийного азота в амурской воде стабилизировалось на уровне 0,10–0,23 мг N/л, т.е. отличалось небольшим межгодовым варьированием значений, снижением средней многолетней концентрации (0,17 мг N/л), по сравнению с 2010–2014 гг. в 2 раза. Незначительное загрязнение вод Амура (до 1,1 ПДК) отмечалось лишь на середине реки в феврале 2015 г. [9], в 2020–2021 гг. максимальное значение составляло 0,49 ПДК. Наименьшая концентрация иона аммония наблюдалась в феврале 2017 г. (0,05 мг N/л), когда суммарные расходы воды рр. Зея и Бурея ниже ГЭС составляли 1616–2021 м³/с.

В эти годы определенная зависимость между содержанием аммонийного азота и водностью Амура зимой проявлялась слабо. Наибольшие концентрации, в основном, наблюдались в маловодные зимы 2015, 2016 и 2018 гг. (рис. 1), наименьшие – как в зимы с повышенной водностью (2017, 2020), так и в средний по водности год (2019). Повышенный сток аммонийного азота в 2016 и 2018 гг. свидетельствует об активизации хозяйственной деятельности в бассейне Амура, прежде всего в китайской его части.

Наибольшие различия в содержании аммонийного азота по ширине Амура отмечались в зимнюю межень 2014–2015 гг. (0,40 мг N/л), наименьшие – в 2019–2021 гг. (0,06 мг N/л). Максимальные концентрации в основном наблюдались на середине реки, наименьшие – в левобережной части (рис. 2). Такие отличия в концентрациях по поперечному профилю реки обусловлены неодинаковым содержанием ионов аммония в воде основных его притоков: в правобережной части Амура отчетливо проявляется влияние р. Уссури, на середине – р. Сунгари, в левобережной части – рр. Зея и Бурея.

В течение ледостава содержание аммонийного азота в амурской воде изменяется. В маловодные зимы (2019 г.) концентрация возрастает вследствие усиления влияния р. Сунгари в условиях низких расходов воды рр. Зея и Бурея (рис. 2). Обратная картина отмечалась в многоводные зимы (2017, 2020 гг.).

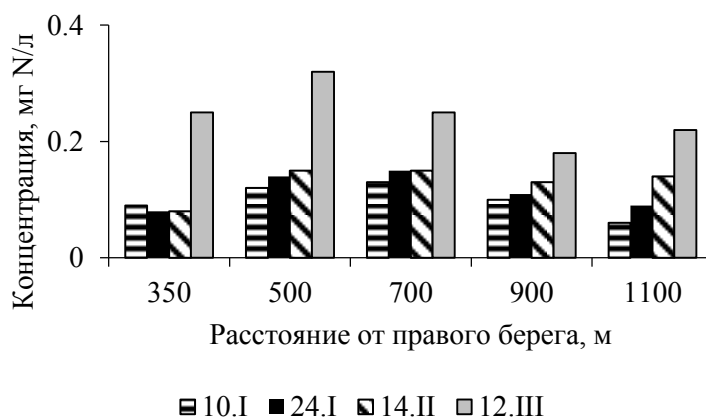


Рисунок 2 – Изменение содержания аммонийного азота в воде р. Амур у г. Хабаровск по ширине в январе-марте 2019 г.

В зимнюю межень 2019 г. в правобережной и левобережной частях его русла концентрации, по сравнению с серединой реки, были ниже в 1,5 и 2,0 раза, соответственно (рис. 2). В течение января-февраля содержание аммонийного азота в правобережной части Амура постепенно снижалось, в то время как на остальных участках реки повышалось, причем в левобережной части значительно. В середине марта содержание по всей ширине Амура резко возросло, больше стали различия в значениях между средней и левобережной частями. Подобные изменения в содержании N аммония могли быть обусловлены усилением воздействия р. Сунгари на сток

растворенных веществ в период ледостава, в марте – поступлением загрязненных талых снеговых вод.

Содержание аммонийного азота в воде Амура в зимнюю межень 2019–2021 гг. в среднем составляло 0,1 мг N/л, т.е. по сравнению с 2000–2005 гг. снизилась в 7,4 раза

Заключение. Активизация гидротехнического строительства в бассейне Амура и природоохранные мероприятия в бассейне р. Сунгари после аварии в г. Цилинь в 2005 г. обусловили снижение содержания аммонийного азота в воде р. Амур у Хабаровска в зимнюю межень. В 2019–2021 гг. по сравнению с 2000–2005 гг., содержание аммонийного азота уменьшилось в 7,4 раза, не стало отмечаться загрязнения вод Амура этим веществом.

Список литературы

1. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Трансграничное загрязнение Амура биогенными веществами // География Азиатской России на рубеже веков: материалы XI науч. совещ. географов Сибири и Дальнего Востока. 2001. С. 184.

2. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Содержание аммонийного азота в воде Среднего Амура в зимнюю межень // География и природные ресурсы. 2003. № 2. С. 93–97.

3. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Многолетняя динамика содержания и стока аммонийного азота в воде Среднего Амура // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 2. С. 33–41.

4. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Фокина Ю.А., Ри Т.Д. Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005–2006 гг. // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 40–44.

5. ПНД Ф 2:4. 209-05 МВИ массовой концентрации аммоний-ионов в пробах питьевых и природных вод фотометрическим методом в виде индофенолового синего. Утв. ФГУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия», 15.06.2005

6. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2011 году. Хабаровск: Росводресурсы. 2012. 122 с.

7. Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М. Воздействие гидроэнергетического строительства на содержание и сток растворенных веществ в воде реки Бурей // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 4. С. 72–83.

8. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Трансформация химического состава вод среднего Амура в зимнюю межень после трансграничного загрязнения 2005 года // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 52-58.

9. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Многолетняя динамика качества вод среднего Амура // Водные ресурсы России: современное состояние и управление: Материал. Всерос. науч.-практ. конф. Сочи. 2018. Т. 2. С. 288–293.

ПРОБЛЕМЫ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ УРАЛ (ЖАЙЫК)

Юмина Н.М., Магрицкий Д.В., Ефимова Л.Е.

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

E-mail: yuminanm@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные проблемы водопользования в низовьях р. Урал (Жайык), особенно на территории Атырауской области. Показано, что в настоящее время регулярное и достаточное обеспечение водохозяйственного комплекса ограничено природными факторами, климатическими и антропогенными изменениями в бассейне реки. Среди основных водопользователей наибольшие изменения произошли для орошаемого земледелия, для которого за 25 лет в 4 раза сократились объемы забора воды, по сути безвозвратного.

Ключевые слова: река, сток, водопользование, водопотребление

OF WATER USE PROBLEMS IN THE LOWER REACHES OF THE URAL RIVER (ZHAIYK)

Yumina N.M., Magritsky D.V., Efimova L.E.

¹Department of Geography, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1,
Moscow

E-mail: yuminanm@mail.ru

Abstract. The main problems of water use in the lower reaches of the Ural River (Zhaiyk), especially in the Atyrau region, are discussed in the article. It is shown that at present the regular and sufficient supply of the water management complex is limited by natural factors, climatic and anthropogenic changes in the river basin. Among the main water users, the greatest changes occurred for irrigated agriculture, for which the volume of water intake, which is essentially irrevocable, has decreased by 4 times in 25 years.

Keywords. River, runoff, water use, water consumption

Введение. Река Урал (Жайык) – трансграничная река, верхний и средний участки которой расположены на территории Российской Федерации, а нижнее течение находится в Республике Казахстан. Сток и водный режим реки формируются преимущественно в российской части водосбора. В нижнем течении (от г. Уральск), в пределах Республики Казахстан, река течет с севера на юг по Прикаспийской низменности, не получая дополнительного питания и теряя по пути к морю часть своих вод по естественным причинам (на испарение, обводнение почвогрунтов, поймы и сухоречий) и вследствие водозабора (населенными пунктами, каналами, предприятиями).

Водные ресурсы реки активно используются для орошения земель, водоснабжения предприятий и населенных пунктов. В бассейне создано много водохранилищ и прудов разного назначения, заметно регулирующих сток, как самой реки, так и ее притоков. В бассейне Урала расположены такие крупные промышленные центры, как Магнитогорск, Новотроицк, Орск, Оренбург, Уральск, Атырау и Актобе. Здесь много предприятий обрабатывающей и добывающей промышленности, теплоэлектростанций, развитое сельское хозяйство. Примерно 3,95 млн. чел. проживает на территории бассейна [1].

В нижней части бассейна р. Урал (Жайык) дефицит пресноводных ресурсов, обусловлен высокой межгодовой и внутригодовой изменчивостью стока рек, нестабильным водным режимом, нередко сочетающим глубокие гидрологические засухи и катастрофические наводнения, неравномерным распределением водных ресурсов по территории и наличием обширных засушливых районов. Основными водопотребителями в нижней части бассейна являются населенные пункты,

предприятия, каналы, биоценозы поймы и дельты, включая нерестилища. Для населенных пунктов и предприятий вода необходима круглогодично и примерно одного и того же объема и хорошего качества; для орошения сельхозугодий – в вегетационный сезон, для рыбного хозяйства – весной, во время половодья. Рост численности населения, масштабов водохозяйственной деятельности, усиление климатической неустойчивости в регионе лишь усложняет описанную ситуацию в низовьях бассейна реки.

Для эффективного решения вопросов совместного использования водных ресурсов РФ и РК на международном уровне разработаны и приняты соглашения по трансграничному водопользованию. Однако, в условиях меняющегося климата и гидрологического режима рек, роста численности населения и масштабов водопользования, повышения внимания к вопросам экологии и охраны здоровья человека, подобные международные соглашения необходимо подкреплять данными о современных климатических и антропогенных изменениях на территории бассейна, как соответствуют действующие правила водопользования современным гидрологическим условиям, насколько они отвечают задаче региональных властей повышать качество жизни людей, обеспечивать устойчивый экономический рост региона, решать природоохранные мероприятия и т.п. В связи с этим задача анализа рационального использования водных ресурсов и выявления проблем водопользования в условиях происходящих гидроклиматических и водохозяйственных изменений на территории бассейна трансграничной р.Урал, особенно в нижней его части, становится важной и актуальной.

Материалы исследования. Основная часть актуальных сведений о водопользовании в населенных пунктах нижнего течения р. Жайык и гидротехнических сооружениях на р. Жайык (в Атырауской и Западно-Казахстанской областях) получена авторами работы во время комплексных экспедиций в марте и июле 2019 г., а также по результатам дешифрирования спутниковых снимков высокого разрешения. Собственные материалы были дополнены данными из открытых источников: федеральных и региональных информационных бюллетеней и национальных докладов «О состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов РК», справочников «Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество», информационно-аналитических отчетов областных департаментов и комитетов по экологии и охране окружающей среды, статей и интернет-ресурсов.

Результаты и обсуждение. Контрастное распределение водного стока по территории бассейна Урала, его временные изменения, значительная хозяйственная освоенность и заселенность территории потребовали реализации в течение XX в. целого комплекса водохозяйственных мероприятий, повлиявших на сток и гидрологический режим р. Урал. Они включали создание в бассейне, во-первых, большого числа прудов и водохранилищ, позволявших регулировать речной сток, формировать пресноводные запасы и выполнять ряд других важных экономических и экологических функций; во-вторых, многочисленных водозаборных и водосбросных сооружений, каналов и, в целом, обширной мелиоративной сети. В настоящее время в бассейне р. Урал насчитывается 25 (12 на территории Казахстана) больших и около 62 (23 на территории Казахстана) средних по размеру водохранилищ. Их суммарная площадь и полный объем равны примерно 695 км^2 и 5270 млн. м^3 (890 млн. м^3 в Казахстане) и около 160 км^2 и 400 млн. м^3 (110 млн. м^3 в Казахстане) [2]. Водоохранилища и пруды значимо влияют на сток в конкретные годы (особенно маловодные) и на отдельные элементы внутригодового режима реки. Создание водохранилищ и прудов инициировало рост водозабора в бассейне реки. Забор речных и подземных вод на нужды промышленности, теплоэнергетики, коммунального хозяйства, орошения и сельскохозяйственного водоснабжения напрямую влияет на

сезонный и годовой сток рек, но особенно к его снижению приводит безвозвратное водопотребление.

Заметный рост водопотребления в бассейне Урала произошел во второй половине 1950-х и в 1960-х гг. Он был вызван заполнением Ириклинского и Верхнеуральского водохранилищ; ростом забора свежей воды Магнитогорским, Гайско-Ириклинским, Орско-Новотроицким, Медногорским и Оренбургским промышленными узлами; освоением целинных земель и сопровождавшим его увеличением объемов лиманного и регулярного орошения, забора воды в Кушумский канал, появлением новых и расширением существовавших населенных пунктов [3].

Больше всего забранной воды в нижнем течении реки расходовалось на производственные нужды (58,6%) и орошение (25,5%). В настоящее время в Казахстане 44% забранной воды используется на регулярное и лиманное орошение, 41% - на нужды прудового и рыбного хозяйства, 7% - для водоснабжения промышленности и теплоэнергетики [4]. В российской части бассейна 85% воды расходуется на производственные нужды, 12% - на хозяйственно-питьевые, 2% - на орошение. В целом, весь комплекс антропогенных факторов, включая дополнительное испарение с водохранилищ, уменьшил годовой сток реки примерно на 2,44 км³/год в 1985–1990 гг. (20–21% условно-естественного стока в эти годы) и на 1,43 км³/год - в 1999–2013 гг. (около 17%).

Помимо прямого воздействия, на сток и водный режим реки заметное, но опосредованное влияние оказало антропогенное преобразование поверхности бассейна, влекущее изменение условий стокоформирования на его склонах и поступления дождевых, снеготалых и подземных вод в речную сеть. К мероприятиям по преобразованию поверхности речных бассейнов относятся вырубка лесов, мелиоративные и агротехнические мероприятия, урбанизация территории и др. Они способны как увеличивать, так и уменьшать сток.

Существенное влияние на водные ресурсы бассейна Урала оказывают и значимые климатические изменения в регионе, начавшиеся примерно с 1978 г. Начиная с 2006–2008 гг., в бассейне наблюдается маловодный период колебаний стока, обусловленный естественными (климатическими) изменениями. Это рост температуры воздуха и потери на испарение, снижение суммы осадков за год, увеличение потерь осадков зимой и весной - в период снегонакопления и формирования стока половодья, основной фазы водного режима Урала. При этом огромный вклад хозяйственного снижения стока не отрицается. Современный период отличает также существенное снижение размаха межгодовых колебаний стока, что позитивно для многолетнего регулирования стока и водопользователей.

В казахстанской части бассейна р. Урал (Жайык) водопользование осуществляется на территории трех областей – Атырауской, Западно-Казахстанской (ЗКО) и Актюбинской. Актюбинская область охватывает часть бассейна р. Илек (крупного левого притока р. Урал), и водохозяйственная деятельность на ее территории влияет на сток и водный режим как самого притока, так и главной реки ниже г. Илек. Водопользование на территории Атырауской и Западно-Казахстанской областей (ЗКО) непосредственно уменьшает сток р. Жайык на всем его протяжении - от границы между РФ и РК и до Каспийского моря.

Забор воды во всех трех областях производится в основном из поверхностных водных объектов, в первую очередь, рек. Основными потребителями забранной воды выступают сельское хозяйство, в первую очередь для целей орошения и обводнения сельхозугодий. Водные ресурсы также потребляют теплоэлектроэнергетика, промышленные предприятия и коммунальное хозяйство. Показатели забора воды на промышленные и коммунальные нужды, в целом, с начала 1990-х гг. изменились мало. Забор воды на орошение (лиманное, регулярное орошение и обводнение пастбищ) при этом сократился: вначале во второй половине 1990-х гг., второй раз – после 2005 г. В

несколько раз уменьшилась площадь орошаемых и обводняемых земель. Забор воды на регулярное орошение уменьшился с 115–140 до 75–85 млн. м³/год (при сокращении орошаемых площадей с 18–23 до 2,5–4,7 тыс. га), на лиманное – с 200–340 до 55–60 млн. м³/год [5]. Главным следствием этого стало снижение суммарного хозяйственного водопотребления.

Помимо речной воды в бассейне и долине р. Жайык имеет место использование подземных вод с утвержденными запасами 59,4 млн. м³/год [2]. Одно из активно используемых месторождений – Серебряковское, расположенное на правом берегу р. Жайык, в 25–30 км юго-западнее г. Уральск. Другие месторождения – Уральское, Кулшык, Январцевское.

Главными субъектами водохозяйственного комплекса ЗКО, использующими воду р. Жайык, являются водное хозяйство г. Уральска (и соседних населенных пунктов) и Кушумский канал Урало-Кушумской ООС. Вода Урало-Кушумской ООС расходуется на лиманное и регулярное орошение, обводнение пастбищ, водоснабжение предприятий, общее водопользование, в частности сельским населением, межбассейновую переброску стока в р. Большой Узень, наполнение водохранилищ и экологические цели, создавая необходимый запас воды в озерах и прудах рыбохозяйственного и водопойного назначения.

Практически единственным источником пригодных (для хозяйственного и питьевого водоснабжения) пресноводных ресурсов в Атырауской области служат реки, которых в области мало. На поверхностные водные объекты в 2008–2017 гг. приходилось 89% всего водозабора в области, а отдельно в 2014–2017 гг. – все 99% [5]. В настоящее время (2008–2014 гг.) по объемам водопотребления в области лидируют промышленность и сельское хозяйство (забор воды на орошение и обводнение сельхозугодий, водопой скота) – 95 и 81 млн. м³/год, соответственно. Водоемкая промышленность присутствует, главным образом, в г. Атырау и г. Кульсары, на южных и юго-восточных месторождениях нефти и газа. Коммунальное хозяйство потребляет около 30 млн. м³/год. По территориальному распространению и приоритету доминируют домовые хозяйства сельских населенных пунктов. Многие поселения по берегам рек имеют свой водозабор. Тем не менее, не все население и населенные пункты до сих пор гарантированно обеспечены питьевой и технической водой должного количества и качества. Значение судоходства в системе водопользования минимальное. Водный транспорт осуществляет свою деятельность лишь в дельте Жайыка, хотя условно весь Жайык в пределах РК считается судоходной рекой.

В Атырауской области, с одной стороны, создана сложная мелиоративная сеть, позволяющая распределять речные воды на значительную территорию, с другой – отсутствуют внутригодовые и межгодовые регуляторы стока – водохранилища, что серьезно ограничивает водопользование в течение года. Единственный нелимитирующий период охватывает всего 1–3 месяца половодья, во время которого затраты на водоподготовку (из-за высокой мутности паводковых вод) очень большие, а где-то забор таких вод попросту невозможен. Отдельным и особым водопользователем в области являются уникальные водные и околородные экосистемы, в частности в дельте р. Жайыка, на пойменных лугах и нерестилищах, а также рыбохозяйственная отрасль, занимающаяся как разведением и выращиванием рыбы (3 предприятия в устье Жайыка), так и ее выловом и переработкой.

В нижнем течении р. Жайык влияние хозяйственной деятельности сказывается и на качестве воды. Коммунально-бытовые и ливневые стоки часто сбрасываются «на рельеф местности» – в естественные понижения рельефа, отводятся на площадки

испарения, на поля фильтрации. Сравнение объема сточных вод с объемами забранной воды свидетельствует об огромных безвозвратных потерях для поверхностных вод, в первую очередь, для речного стока. Ежегодное увеличение сбросов загрязняющих веществ в г. Атырау, поступающих на поля фильтрации, приводит к подтоплению и заболачиванию прилегающих земель и загрязнению грунтовых вод.

Климатические и антропогенные изменения водности привели к увеличению минерализации воды как в период половодья, так и в межень. По сравнению с условно-естественным фоном конца 70-х гг. XX в, минерализация воды в период половодья увеличилась в 2,5 раза, в межень - на 5-8%. Загрязнение нижнего течения р. Жайык (Урал) обусловлено в основном поступлением загрязняющих веществ из вышерасположенных участков реки (от Ириклинского водохранилища до г. Уральска) и из Актюбинской области.

Заключение

Успешное решение выявленных проблем невозможно без понимания будущих климатических и водохозяйственных изменений стока и водного режима рек бассейна, без знания условий и характера развития опасных гидрологических процессов и явлений, без полноценного понимания всех природных и антропогенных процессов на водосборе реки, достоверных данных гидрологического и водохозяйственного мониторинга.

В настоящее время водохозяйственный комплекс в нижнем течении р. Жайык сохранил основные показатели водопользования, за исключением орошаемого земледелия, для которого за 25 лет в 4 раза сократились объемы забора воды, по сути безвозвратного. Водохозяйственный комплекс постоянно модернизируется, территориально расширяется, охватывая все новые субъекты. В будущем объемы водопользования, вероятнее всего, будут расти в связи с запуском новых промышленных предприятий и месторождений, положительной динамикой численности населения, расширением существующих населенных пунктов и жилого фонда в них, круглогодичным обеспечением сельского населения пресноводными ресурсами достаточного объема и качества. Упомянутые субъекты водохозяйственного комплекса, сложившегося на базе использования вод р. Жайык, оказывают влияние на общий сток реки, уменьшая его, особенно в маловодные годы. Нижняя часть бассейна реки, расположенная в Атырауской области, безусловно, относится к водно-дефицитным территориям.

Список литературы

1. Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина Н.М., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова Г.С. Изменения стока в бассейне р.Урал // Вестн. Моск. Ун-та. Сер.5. Геог. 2018. №1. С.90-101.
2. СКИОВО. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Урал (Российская часть). Т. 1–6. Екатеринбург: ФГУП «РосНИИВХ», 2013.
3. Родионов В.З. Влияние хозяйственной деятельности на сток р.Урала // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 239. С. 109–122.
4. Демин А.П. Современные изменения водопотребления в бассейне Каспийского моря // Водные ресурсы. 2007. Т.34. №3. С. 259–275
5. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное изд. Алматы, Астана, 2010–2018.

Научное издание

**ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ:
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ, ОХРАНА**

*Сборник материалов Всероссийской
научно-практической конференции
с международным участием*

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 09.09. 2021 г.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 47,43. Уч. изд. л. 48,0. Тираж 500. Заказ № 47-7587.

Издательство Лик
346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский 82 Е
тел: 8(8635)226-442, 8-952-603-0-609

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе «Колорит»
346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский 82 Е
тел: 8(8635)226-442, 8-918-518-04-29, center-op@mail.ru