

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ**

## **MODERN PROBLEMS OF RESERVOIRS AND THEIR CATCHMENTS**

**Труды VIII Всероссийской  
научно-практической конференции  
с международным участием  
(г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.)**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ**

## **MODERN PROBLEMS OF RESERVOIRS AND THEIR CATCHMENTS**

Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием  
(г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.)



Пермь 2021

УДК 556.552: 551.579

ББК 26.222

C568

- C568 **Современные проблемы водохранилищ и их водосборов** = Modern problems of reservoirs and their catchments [Электронный ресурс] : труды VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.) / науч. ред. А. Б. Китаев, В. Г. Калинин, О. В. Ларченко, М. А. Бакланов ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2021. – 8,20 Мб ; 542 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/modern-problems-of-reservoirs-and-their-catchments.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3639-6

Рассматриваются вопросы влияния глобальных изменений климата на гидрологический режим естественных и искусственных водных объектов; особенности водного баланса, уровня, скоростного и ледового режимов озер и водохранилищ. Представлены последствия протекания оползневых и абразионно-аккумулятивных процессов на берегах водохранилищ Волжско-Камского каскада; представлены предложения по оптимизации режима работы водохранилищ; рассмотрены вопросы водопользования в трансграничных регионах России и Казахстана, водообеспеченности вододефицитных районов Средней Азии.

Представлены вопросы загрязнения естественных и искусственных водных объектов России и стран ближнего зарубежья. Изучена трансформация биогенных и органических веществ в водохранилищах. Дана оценка химического состава донных отложений; рассмотрена миграция и трансформация лекарственных веществ в водных объектах; дана оценка фосфорной нагрузки на озера различных ландшафтов.

Рассмотрено влияние сбросов тепловых электростанций на окружающую среду; представлены гидроэкологические проблемы водоохранных зон водных объектов; рассмотрены вопросы качественного водоснабжения городов; дана оценка качества воды водохранилищ по индексам разнообразия и сапробности; рассмотрены особенности развития фито- и зоопланктона в различных частях водоемов.

Конференция посвящена памяти Заслуженного деятеля науки и техники РФ, академика РАН, доктора географических наук, профессора Матарзина Юрия Михайловича.

Материалы конференции предназначены для специалистов в области гидрологии, водного хозяйства, геоэкологии и гидробиологии.

УДК 556.552: 551.579

ББК 26.222

*Печатается по решению оргкомитета конференции*

*Научные редакторы: А. Б. Китаев, В. Г. Калинин, О. В. Ларченко, М. А. Бакланов*

ISBN 978-5-7944-3639-6

© ПГНИУ, 2021

UDC 556.552: 551.579  
LBK 26.222

**Modern** problems of reservoirs and their catchments: proceedings of the VIII All-Russian scientific-practical conference with international participation (Perm, May, 27-30, 2021): Scientific editors A.B. Kitaev, V.G. Kalinin, O.V. Larchenko, M.A. Baklanov; Perm State University. – Perm, 2021. – 8,20 Mb ; 542 pp.

ISBN 978-5-7944-3639-6

The issues of the influence of global climate changes on the hydrological regime of natural and artificial water bodies; features of the water balance, level, speed and ice regime of lakes and reservoirs are considered. The consequences of landslide and abrasion-accumulative processes on the banks of reservoirs of the Volga-Kama cascade are presented; proposals for optimizing the operation of reservoirs are given; the issues of water use in the transboundary regions of Russia and Kazakhstan, water supply of water-deficient regions of Central Asia are considered.

The issues of pollution of natural and artificial water bodies in Russia and neighboring countries are considered. The transformation of biogenic and organic substances in reservoirs (Ivankovo, Mozhaishk, Bureya, Kanev, etc.) is presented. The chemical composition of bottom sediments is estimated; the migration and transformation of medicinal substances in water bodies is considered; the phosphorus load on lakes of various landscapes is estimated; the methane flow at the boundaries "bottom sediments-water" and "water-atmosphere" is estimated (on the example of the Mozhaishk reservoir).

The influence of thermal power plant discharges on the environment is considered; hydroecological problems of water protection zones of water bodies are presented; the issues of quality water supply in cities and settlements are considered; the water quality of reservoirs is assessed according to the indices of diversity and saprobity; the features of the development of phyto- and zooplankton in different parts of reservoirs are considered.

The conference is dedicated to the memory of Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Geographical Sciences, Professor Y. Matarzin.

The conference proceedings may be interesting for the specialists in hydrology and geoecology.

**UDC 556.552: 551.579**  
**LBK 26.222**

*Published on the decision of the Organization Committee*

*Scientific editors: A.B. Kitaev, V.G. Kalinin, O.V. Larchenko, M.A. Baklanov*

ISBN 978-5-7944-3639-6

© Perm State University, 2021



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ГИДРО- И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b>	<b>18</b>
<i>Агафонова С.А., Банищикова Л.С.</i> Многолетние изменения ледового режима в нижнем бьефе Рыбинской ГЭС .....	18
<i>Акматов Р.Т., Аламанов С.К., Почечун В.А.</i> Влияние водной массы Токтогульского водохранилища на местный климат .....	23
<i>Баранова М.С., Кочеткова А.И., Брызгалина Е.С., Объедкова О.А., Леонтьев Д.А.</i> Предварительные закономерности формирования абразионно-аккумулятивных пересыпей во входных створах заливов озерного участка Волгоградского водохранилища .....	27
<i>Батмазова А.А., Гайдукова Е.В., Винокуров И.О.</i> К вопросу использования Autocad для оценки скоростей потока (на примере Камского водохранилища) .....	32
<i>Будник С.В.</i> О переносе створов гидрологических постов и однородности данных наблюдений за стоком воды .....	36
<i>Ветров А.Л., Тиунов А.А.</i> Численное моделирование двух паводкоформирующих ливней Уральского Прикамья .....	40
<i>Гайнуллин И.И., Усманов Б.М.</i> Переформирование берегов Куйбышевского водохранилища, как фактор разрушения объектов археологического наследия .....	45
<i>Гафуров А.М., Ермолаев О.П., Усманов Б.М.</i> Оценка оползневых процессов на берегах Куйбышевского водохранилища инструментальными методами .....	50
<i>Горелиц О.В., Ермакова Г.С., Крыжов В.Н.</i> Аномальные условия притока к водохранилищам Волжско-камского каскада в осенне-зимний период 2019-2020 гг. ....	55
<i>Горошкова Н.И., Дрегваль М.С., Сикан А.В.</i> Влияние изменений климата на продолжительность навигационного периода на р.Лене и ее притоках	61
<i>Давыденко Е.В., Сикан А.В.</i> Расчет максимальных уровней озер северо-запада России при отсутствии данных гидрометрических наблюдений ....	68
<i>Добровольский С.Г., Истомина М.Н., Лебедева И.П., Соломонова И.В.</i> Водохранилища мира и явление «перемежающейся нестационарности» в многолетних изменениях стока регулируемых ими рек .....	73
<i>Драшкович Б., Гуталь М.</i> Водные аккумуляции в Боснии и Герцеговине	79
<i>Дубняк С.С.</i> Стадиальные особенности формирования берегов крупных равнинных водохранилищ .....	84

<i>Законнов В.В.</i> Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада в XXI веке .....	89
<i>Калинин В.Г., Микова К.Д., Чичагов В.В.</i> Влияние современных климатических изменений на сроки ледообразования на Камском водохранилище .....	94
<i>Калинин В.Г., Шайдулина А.А., Русаков В.С., Фасахов М.А.</i> О верификации модельных расчетов пространственного распределения снежного покрова в период снеготаяния .....	99
<i>Калугин А.С.</i> Моделирование изменения притока воды в Камское водохранилище .....	106
<i>Китаев А.Б.</i> Оценка водности в Камском и Воткинском водохранилищах в многолетнем аспекте .....	110
<i>Клименко Д.Е., Остахова А.Л.</i> Оценка безвозвратного удержания жидких атмосферных осадков луговыми травостоями Среднего Урала.....	114
<i>Ковязина И.А., Баяндина Д.С.</i> Оценка внутригодового распределения стока взвешенных наносов основных притоков Камского водохранилища .....	119
<i>Кондакова О.В.</i> Водный баланс озера Чаны в многоводные и маловодные периоды .....	125
<i>Коробкина Е.А., Филиппова И.А.</i> Влияние климатических изменений на приток к Москворецко-Вазузской гидротехнической системе .....	130
<i>Куровская В.А., Черноморец С.С., Виноградова Т.А., Крыленко И.Н., Гуломайдаров А.Г., Раимбеков Ю.Х.</i> Сценарные расчеты прорывных паводков и селевых потоков .....	135
<i>Лебедева Л.С., Густафссон Д.</i> Изменение стока рек в бассейне Вилуйского водохранилища .....	140
<i>Магрицкий Д.В., Самохин М.А., Соколов Д.И., Ерина О.Н., Гончаров А.В., Терешина М.А., Сурков В.В., Морейдо В.М., Архипкин В.С.</i> Неблагоприятные гидролого-морфологические изменения в Аграханском заливе .....	144
<i>Масликова О.Я., Грицук И.И., Ионов Д.Н.</i> Исследование устойчивости берегового склона, в том числе около транспортных сооружений, в условиях криолитозоны .....	150
<i>Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Шерстюков Б.Г., Мирсаева Н.А., Аухадеев Т.Р., Парубова Е.М., Мягков М.А.</i> Температурно-влажностный режим Волжского бассейна в период 1976 – 2019 гг. ....	155
<i>Поддубный С.А., Кутузов А.В., Цветков А.И.</i> Структура течений и водообмен зарастающего мелководья (на примере Волжского плеса Рыбинского водохранилища) .....	160

<i>Поздняков Ш.Р.</i> Современные проблемы исследования наносов в водохранилищах .....	166
<i>Сидорова М.В.</i> Влияние глобальных климатических изменений на режим половодья в XXI в. ....	170
<i>Смирнов А.И.</i> Типы и переработка (переформирование) берегов Нугушского водохранилища на Южном Урале (Республика Башкортостан) .....	175
<i>Соколов Д.И., Чалов С.Р., Терёшина М.А., Ерина О.Н., Шинкарёва Г.Л.</i> Особенности гидрологического режима урбанизированной реки Сетуни .....	180
<i>Турутина Т.В., Рахуба А.В., Шмакова М.В.</i> Пространственное распределение донных отложений приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища .....	185
<i>Хомяков П.В., Усманов Б.М.</i> Оценка состояния дна Куйбышевского водохранилища в местах добычи ПГС .....	190
<i>Шмакова М.В., Рахуба А.В.</i> Пространственно-временные закономерности переформирования дна Куйбышевского водохранилища .....	195
<b>УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ</b> .....	200
<i>Болгов М.В.</i> Уровни Байкала: можно ли определить приемлемый диапазон колебаний? .....	200
<i>Двинских С.А., Павлова Д.Л., Ларченко О.В.</i> Расчет удельной водообеспеченности в пределах административных районов Пермского края .....	205
<i>Милютин И.Ю., Сапожникова А.А., Горелиц О.В., Землянов И.В.</i> Научное обоснование предложений по оптимизации режима Верхне-Свирского водохранилища.....	210
<i>Молдошев К.О., Акматов Р.Т., Чодураев Т.М.</i> К вопросу о водообеспеченности Таласской долины .....	215
<i>Падалко Ю.А.</i> Проблемы и тенденции использования водных ресурсов в Российско-Казахстанском трансграничном регионе .....	221
<i>Сивохин Ж.Т., Павлейчик В.М.</i> Региональные особенности водопользования в условиях дефицита водных ресурсов трансграничных рек степной зоны .....	226
<i>Хафизов А.Р., Гайсин И.З., Хазипова А.Ф., Камалетдинова Л.А., Комиссаров А.В., Низамова Р.А.</i> Современное водохозяйственное состояние водохранилищ бассейна реки Урал .....	231

## КАЧЕСТВО ВОДЫ

<i>Базова М.М.</i> Фосфорная нагрузка в условно-фоновых озерах Европейской Территории России (от тундровой до степной зоны).....	237
<i>Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кременецкая Е.Р., Ломова Д.В.</i> Факторы формирования аноксидных условий в водных объектах Европейской России.....	237
<i>Гончаров А.В., Варенцова Н.А.</i> Трансформация вещества по длине долинного водохранилища.....	242
<i>Гончаров А.В., Варенцова Н.А.</i> Трансформация вещества по длине долинного водохранилища.....	247
<i>Гречушников М.Г., Ломова Д.В., Кременецкая Е.Р., Ломов В.А.</i> Пространственно-временная неоднородность потоков углерода из донных отложений.....	250
<i>Григорьева И.Л.</i> Изменение содержания биогенных элементов и показателей органического вещества в воде Иваньковского водохранилища за многолетний период.....	255
<i>Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.</i> Моделирование реакции экосистемы Иваньковского водохранилища на изменение внешней химической нагрузки.....	260
<i>Ерина О.Н., Терешина М.А., Шинкарева Г.Л., Соколов Д.И.</i> Продольная трансформация природного фонового качества воды реки Москвы.....	265
<i>Демин А.П., Зайцева А.В.</i> Сточные воды и загрязнение водных объектов в бассейне реки Дон (1995-2018 гг.).....	270
<i>Жежеря Т.П., Жежеря В.А.</i> Биогенные вещества в воде Каневского водохранилища в ретроспективе и современных условиях.....	275
<i>Захаров С.Г.</i> Антропогенная трансформация озер Тургой и Большой Кисегач на Южном Урале.....	280
<i>Казанцева А.С., Кадебская О.И.</i> Гидрохимия рек бассейна Камы на территории Северного и Среднего Урала.....	285
<i>Камалетдинова Л.А., Хафизов А.Р., Гайсин И.З., Низамова Р.А.</i> Многолетняя динамика химического состава воды в акватории Павловского водохранилища.....	289
<i>Козлова М.А., Щеголькова Н.М.</i> Пути миграции и трансформации лекарственных веществ в водной среде.....	293
<i>Коробченкова К.Д., Ершова А.А.</i> Построение модели выноса биогенных элементов с водосбора с применением ГИС-технологий.....	298
<i>Кулявина Т.И., Ашихмина Т.Я.</i> Оценка качества воды Омутнинского водохранилища по гидрохимическим показателям за период с 2011 по 2020 год.....	303

<i>Латина Е.Е., Кудряшова В.В.</i> Тенденции изменения качества грунтовых вод вокруг Иваньковского водохранилища за 20 лет.....	307
<i>Линник П.Н., Жежеря В.А.</i> Сосуществующие формы металлов в воде Каневского водохранилища.....	312
<i>Ломов В.А.</i> Методы инструментальной оценки потока метана в водохранилищах.....	317
<i>Макарова А.С., Ерина О.Н.</i> Структура водопользования в бассейне р.Москвы за период с 2009 по 2019 г.....	322
<i>Меньшикова Е.А., Ушакова Е.С., Блинов С.М.</i> Оценка микроэлементного состава речных вод в зоне влияния шахтного самоизлива.....	327
<i>Морозова А.А., Дьяченко Т.Н.</i> К вопросу о влиянии водяного ореха (Таракатанс) на экологическое состояние верхних участков Киевского и Каневского водохранилищ по гидрохимическим показателям.....	332
<i>Полева А.О., Абдрахманов Р.Ф., Дурнаева В.Н.</i> Макро- и микроэлементный состав донных отложений Павловского водохранилища.....	339
<i>Пуклаков В.В., Даценко Ю.С.</i> Оценка влияния нижекамского гидроузла на экологическое состояние куйбышевского водохранилища.....	344
<i>Разумовский В.Л.</i> Анализ донных отложений водохранилищ Волжского каскада.....	349
<i>Рахуба А.В.</i> Численное моделирование пространственно-временной изменчивости содержания фосфора и развития фитопланктона в Куйбышевском водохранилище.....	353
<i>Рахуба А.В., Тихонова Л.Г.</i> Гидрохимические исследования влияния строительства мостового перехода через реку Волга на качество воды Приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища.....	359
<i>Строков А.А., Санин А.Ю.</i> Динамические процессы на берегах Верхне-Свирского водохранилища и их воздействие на качество вод водоема.....	364
<i>Терешина М.А., Ерина О.Н., Соколов Д.И., Шинкарева Г.Л., Васильчук Д.Ю.</i> Продольная трансформация загрязненности воды р. Сетуни.....	369
<i>Хрусталева М.А., Суслов С.В., Бойценюк Л.И., Груздев В.С.</i> Влияние антропогенных факторов ландшафтов водосбора на качество вод.....	374
<i>Чекмарева Е.А., Григорьева И.Л.</i> Анализ содержания тяжелых металлов в воде малых притоков Иваньковского водохранилища.....	378
<i>Чередниченко А.В., В.С. Чередниченко, Чередниченко Ал.В., Нысанбаева А.С., Мадиеков А.С., Жумалипов А.Р.</i> Аэросиноптические условия экстремально высоких концентраций загрязняющих веществ в снежном покрове.....	382

<i>Чуйко Г.М.</i> Методологический подход при определении районов водных объектов, загрязненных СОЗ (ПХБ, ДДТ, ГХЦГ) из организованных локальных стоков и рассеянных источников.....	387
<i>Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Далечина И.Н.</i> Особенности гидрохимического состава и структуры фитопланктона крупного водохранилища в годы, контрастные по гидрологическому и температурному режиму.....	392
<i>Шестеркин В.П.</i> Многолетняя динамика содержания минеральных форм азота в воде Бурейского водохранилища.....	397
<i>Шешнёв А.С., Маджид Д.С.</i> Тяжелые металлы в наносах овражно-балочных комплексов городов правобережья Волгоградского водохранилища.....	402
<i>Ясинский С.В., Веницианов Е.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Ершова А.А., Макеева И.Н.</i> Вклад микрочастиц в перенос загрязнения реками и подземными водами в крупном городе.....	407
<i>Возняк А.А.</i> Диффузное загрязнение камских водохранилищ.....	412

## ГЕОЭКОЛОГИЯ

<i>Алфёров И.Н., Гаев А.Я.</i> Формирование гидрогеоэкологической обстановки в регионах с недостаточным увлажнением.....	417
<i>Балина Т.А., Николаев Р.С., Столбов В.А., Чекменева Л.Ю.</i> Камская речная система как драйвер регионального развития.....	426
<i>Васькова Е.А.</i> Безопасность гидротехнических сооружений.....	433
<i>Второва А.И., Мякишева Н.В.</i> Особенности влияния тепловых электростанций на окружающую среду на примере бассейна реки Уй.....	438
<i>Горячев В.С.</i> Обеспечение водоснабжения городов и населенных пунктов в среднем течении реки Белой Республики Башкортостан в условиях изменяющегося климата.....	443
<i>Ефимова Л.Е., Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж., Гончаров А.В.</i> Современное гидроэкологическое состояние р. Урал в нижнем течении...	447
<i>Китаев А.Б.</i> Оценка качества воды малых рек г. Перми.....	452
<i>Клименко Д.Е., Черепанова Е.С., Хомылева А.А.</i> Влияние постпирогенных сукцессий лесов Урала на формирование максимальных расходов воды дождевых паводков.....	458
<i>Коновалов В.Е., Почечун В.А., Семячков А.И.</i> Рациональное использование земель, занятых обводненными карьерами, в Уральском горнопромышленном регионе.....	464

<i>Минкина А.В.</i> Пространственная характеристика экологического состояния водных ресурсов административных районов Пермского края...	469
<i>Несмелов Н.М.</i> Аспекты водохозяйственного и геоэкологического состояния водных ресурсов Московской области.....	474
<i>Семячков А.И., Кучин В.В., Архипов М.В.</i> Региональный водно-экологический анализ горно-металлургического комплекса Среднего Урала.....	479
<i>Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б.</i> Геоморфометрический подход в геоэкологической оценке подземных вод на территории Архангельской области.....	483
<i>Щукин И.С.</i> Применение дождевых садов для очистки поверхностного стока в условиях умеренного климата.....	488

## ГИДРОБИОЛОГИЯ И ИХТИОЛОГИЯ

	494
<i>Беляева П.Г.</i> Состав и структура фитопланктона Камского и Воткинского водохранилищ летом 2019 года.....	494
<i>Гуламанова Г.А., Полева А.О.</i> Оценка качества воды Павловского водохранилища по индексам разнообразия и сапробности.....	499
<i>Жихарев В.С., Гаврилко Д.Е., Шурганова Г.В.</i> Структурная организация сообществ зоопланктона устьевых областей притоков Чебоксарского водохранилища.....	503
<i>Калениченко В.М., Ерина О.Н., Замана Г.Т., Пуклаков В.В.</i> Многолетняя динамика зимнего фитопланктона Можайского водохранилища.....	508
<i>Михеев П.Б., Михеева О.И., Ваганов С.С., Пузик А.Ю., Бакланов М.А.</i> Влияние климата на пространственное распределение и рост рыб в водосборе Камского водохранилища.....	513
<i>Мухутдинов В.Ф.</i> Вертикальное распределение хлорофилла <i>a</i> , оценка трофического статуса и качество воды Павловского водохранилища в летнюю межень 2019 года.....	519
<i>Разумовский Л.В.</i> Оценка информативности новой концепции комплексного мониторинга на примере Рыбинского и Ивановского водохранилищ.....	525
<i>Старцева Н.А., Воденеева Е.Л., Кулизин П.В., Шарагина Е.М., Охапкин А.Г.</i> Фитопланктон уникальных карстовых озер (на примере оз. Ключик, бассейн Чебоксарского водохранилища).....	530
<i>Холмогорова Н.В., Каргапольцева И.А.</i> Оценка качества воды притоков Ижевского водохранилища по показателям макрозообентоса.....	535

## CONTENT

<b>HYDRO- AND GEODYNAMICS PROCESSES</b>	18
<i>Agafonova S.A., Banshchikova L.S.</i> Long-term changes in the ice regime in the lower pool of the Rybinsk HPS .....	18
<i>Akmatov R.T., Alamanov S.K., Pochechun V.A.</i> The influence of water masses of the Toktogul reservoir to local climate .....	23
<i>Baranova M., Kochetkova A., Bryzgalina E., Ob'edkova O., Leont'ev D.</i> Preliminary patterns of formation of abrasion-accumulative jumpers in the entrance gates of the bays of lake area of the Volgograd reservoir .....	27
<i>Batmazova A., Gaidukova E., Vinokurov I.</i> To the question of using Autocad for estimating flow rates (on the example of the Kamsky reservoir) .....	32
<i>Budnik S.V.</i> About carry gauge line hydrological posts and uniformity of the given supervision over a drain of water .....	36
<i>Vetrov A., Tiunov A.</i> Numerical modeling of two cases flood heavy rain in the Ural Kama region .....	40
<i>Gainullin I., Usmanov B.</i> Kuibyshev reservoir shore transformation as a factor of archaeological heritage objects destruction .....	45
<i>Gafurov A., Yermolaev O., Usmanov B.</i> Assessment of landslide processes on the Kuybyshev reservoir banks using instrumental methods .....	50
<i>Gorelits O.V., Ermakova G.S., Kryjov V.N.</i> Anomalous conditions of the inflow to reservoirs of the Volga-Kama cascade in the autumn-winter 2019-2020 .....	56
<i>Goroshkova N., Dregval M., Sikan A.</i> Climate change effects on the duration of the navigation period on the river Lena and its tributaries .....	62
<i>Davydenko E., Sikan A.</i> Calculation of the maximum levels of lakes in north-west Russia in the absence of hydrometric observation data .....	68
<i>Dobrovolski S., Istomina M., Lebedeva I., Solomonova I.</i> World reservoirs and the phenomenon of intermittent nonstationarity in long-term runoff changes in regulated rivers .....	74
<i>Drashkovich B., Gutal M.</i> Water reservoirs in Bosnia and Herzegovina .....	79
<i>Dubnyak S.S.</i> Stage features of coast formation of large plain reservoirs.....	84
<i>Zakonnov V.V.</i> Sedimentation in the Volga cascade reservoirs in the 21st century	89
<i>Kalinin V.G., Mikova K.D., Chicagov V.V.</i> Climatic changes impact on the Kamsky reservoir's ice formation dates .....	94



<i>Kalinin V.G., Shaydulina A.A., Rusakov V.S., Fasakhov M.A.</i> On the verification of model calculations of the snow cover spatial distribution during the spring period .....	99
<i>Kalugin A.</i> Modelling of changes in the inflow into the Kama reservoir .....	106
<i>Kitaev A.B.</i> Assessment of water life in Kamsk And Votkinsk reservoirs in a long-term aspect .....	110
<i>Klimenko D.Ye., Ostakhova A.L.</i> Assessment of irretrievable retention of liquid atmospheric precipitation by meadow grasses of the Middle Urals .....	115
<i>Kovyazina I.A., Bayandina D.S.</i> Estimation of the intra annual distribution of the suspended sediment runoff of the main tributaries of the Kama reservoir .....	120
<i>Kondakova O.V.</i> Water balance of lake Chany in high-water and low-water periods .....	125
<i>Korobkina E., Filippova I.</i> Climatic changes impact on the inflow to the reservoirs of the Moscow water supply system .....	131
<i>Kurovskaya V.A., Chernomorets S.S., Vinogradova T.A., Krylenko I.N., Gulomaydarov A.G., Raimbekov Y.Kh.</i> Scenario calculations of outburst flood and debris flows .....	136
<i>Lebedeva L., Gustafsson D.</i> River streamflow changes in the Viluy reservoir catchment .....	141
<i>Magritsky D.V., Samokhin M.A., Sokolov D.I., Erina O.N., Goncharov A.V., Tereshina M.A., Surkov V.V., Moreido V.M., Arkhipkin V.S.</i> Adverse hydrological and morphological changes in the Agrakhan bay .....	145
<i>Maslikova O.Ya., Gritsuk I.I., Ionov D.N.</i> Study of the stability of the coastal slope, including near the transport facilities, in the cryolithozone .....	151
<i>Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M., Sherstyukov B.G., Mirsaeva N.A., Aukhadeev T.R., Parubova E.M., Myagkov M.A.</i> Temperature and humidity regime of the Volga basin in the period 1976 – 2019 .....	155
<i>Poddubnyi S.A., Kutuzov A.V., Tsvetkov A.I.</i> The structure of currents and water exchange of overgrowing shallow water (by an example of the Volga reach of the Rybinsk reservoir) .....	161
<i>Pozdniakov Sh.R.</i> Contemporary problems of a study of deposits in the reservoirs .....	166
<i>Sidorova M.</i> Global climate change impact on spring flood regime in the 21st century .....	171
<i>Smirnov A.I.</i> Types and processing (reforming) of shore Nugush reservoir in the South Urals (Republic Of Bashkortostan) .....	175
<i>Sokolov D., Chalov S., Tereshina M., Erina O., Shinkareva G.</i> Peculiarities of the hydrological regime of the urban Setun river .....	181

<i>Turutina T.V., Rakhuba A.V., Shmakova M.V.</i> Spatial distribution of bottom sediments of the near-dam ples of Kuibyshev reservoir .....	185
<i>Khomyakov P., Usmanov B.</i> Assessment of the Kuibyshevsky reservoir bed state in the places of sand and gravel extraction .....	191
<i>Shmakova M.V., Rakhuba A.V.</i> Space-time patterns of reformation bottom of the Kuibyshev reservoir .....	196

## WATER RESOURCES MANAGEMENT

<i>Bolgov M.V.</i> Baikal levels: can an acceptable range of fluctuations be determined? .....	200
<i>Dvinskih S.A., Pavlova D.L., Larhcenko O.V.</i> Calculation of specific water availability within the administrative regions of the Perm Krai .....	205
<i>Milyutina I.Yu., Sapozhnikova A.A., Gorelits O.V., Zemlyanov I.V.</i> Scientific basis of proposals for optimizing the operating mode of the Upper-Svir reservoir .....	210
<i>Moldoshev K.O., Akmatov R.T., Choduraev T.M.</i> To the question of water resistance of the Thalass valley .....	216
<i>Padalko Yu.A.</i> Problems and trends in the use of water resources in the Russian-Kazakhstan transboundary region .....	221
<i>Sivokhip Zh.T., Pavleychik V.M.</i> Regional features of water use under conditions of water deficiency of transboundary rivers of the steppe zone .....	227
<i>Khafizov A., Gaysin I., Khazipova A., Kamaletdinova L., Komissarov A., Nizamova R.</i> Current water management status of reservoirs in the Ural river basin .....	232

## WATER QUALITY

<i>Bazova M.M.</i> Phosphoric load in the conditional background lakes of the European Territory of Russia (from the tundra to the steppe zone).....	237
<u><i>Brekhovskikh V.F.</i></u> , <i>Volkova Z.V., Kremenetskaya E.R., Lomova D.V.</i> Factors of formation of anoxic condinions in water bodies of the European Russia.....	242
<i>Goncharov A.V., Varentsova N.A.</i> Transformation of matter along the length of a valley reservoir.....	247
<i>Grechushnikova M.G., Lomova D.V., Kremeneckaya E.R., Lomov V.A.</i> Spatially-heterogeneity of carbon fluxes from bottom sediments.....	250
<i>Grigorieva I.L.</i> Changes in the content of biogenic elements and indicators of organic matter in the water of the Ivankovo reservoir over a long-term period.....	255
<i>Datsenko Yu.S., Puklakov V.V.</i> Modeling the response of the Ivankovo reservoir ecosystem to changes in the external chemical load.....	260

<i>Erina O.N., Tereshina M.A., Shinkareva G.L., Sokolov D.I.</i> Transformation of natural water quality along The Moskva river.....	265
<i>Demin A.P., Zaitseva A.V.</i> Waste water and pollution of water bodies in the Don river basin (1995-2018).....	270
<i>Zhezherya T.P., Zhezherya V.A.</i> Biogenic substances in the water of the Kanev reservoir in retrospective and modern state.....	275
<i>Zakharov S.G.</i> Anthropogenic transformation of lakes Turgoyak and Bolshoi Kisegach in the South Urals.....	280
<i>Kazantseva A.S., Kadebskaya O.I.</i> Hydrochemistry of the rivers of the Kama basin in the Northern and Middle Urals.....	285
<i>Kamaletdinova L.A., Khafizov A.R., Gaysin I.Z., Nizamova R.A.</i> Long-term dynamics and current trend of change of water chemical composition in the water area of Pavlovsk reservoir.....	289
<i>Kozlova M.A., Shchegolkova N.M.</i> Migration and transformation routes of pharmaceutical substances in the aquatic environment.....	293
<i>Korobchenkova K.D., Ershova A.A.</i> Construction of a model of nutrient export from the catchment using GIS-technologies.....	298
<i>Kutyavina T.I., Ashikhmina T.Ya.</i> Assessment of water quality of Omutninsky reservoir by hydrochemical indicators for the period from 2011 to 2020.....	303
<i>Lapina E.E., Kudrjashova V.V.</i> Tendencies of groundwater quality changes around Ivankovo reservoir over 20 years.....	307
<i>Linnik P.N., Zhezherya V.A.</i> Coexisting forms of metals in the water of the Kanev reservoir.....	312
<i>Lomov V.A.</i> Methods for instrumental assessment of methane fluxes in reservoir.....	317
<i>Makarova A.S., Erina O.N.</i> Water use in the Moskva river basin from 2009 to 2019.....	322
<i>Menshikova E.A., Ushakova E.S., Blinov S.M.</i> Trace element composition assessment of river water in the zone of acid mine water influence.....	327
<i>Morozova A.A., Dyachenko T.N.</i> To the question about the influence of water nuts (Trapa natans) on the ecological state of the upper sections of Kievsky and Kanevskoye reservoirs by hydrochemical indicators.....	332
<i>Poleva A.O., Abdrakhmanov R.F., Durnaeva V.N.</i> Macro- and microelement composition of bottom sediments of Pavlovskoe reservoir.....	339
<i>Puklakov V.V., Datsenko Y.S.</i> Assessment of the impact of the Nizhnekamsk dam on the environmental state of the Kuybyshev reservoir.....	344
<i>Razumovsky V.L.</i> Bottom sediments analysis of the Volga cascade reservoirs .....	349

<i>Rakhuba A.V.</i> Numerical modeling of spatial-time variability of phosphorus content and development of phytoplankton in Kuibyshevsk reservoir.....	353
<i>Rakhuba A.V., Tikhonova L.G.</i> Hydrochemical studies of the impact of the construction of a bridge over the Volga river on the water quality of the Kuibyshev reservoir in front of the dam.....	359
<i>Strokov A.A., Sanin A.Yu.</i> Dynamic processes on the Upper-Svir reservoir coasts and their impact on the reservoir water quality.....	364
<i>Tereshina M.A., Erina O.N., Sokolov D.I., Shinkareva G.L., Vasilchuk D.Yu.</i> Longitudinal transformation of water pollution in the Setun river.....	369
<i>Khrustaleva M.A., Suslov S.V., Boytsenyuk L.I., Gruzdev V.S.</i> Influence of anthropogenic factors of landscapes drainage for water quality.....	374
<i>Chekmareva E.A., Grigoryeva I.L.</i> Analysis of the concentration of heavy metals in the water of small rivers of the Ivankovo reservoir.....	378
<i>Cherednichenko A.V., Cherednichenko V.S., Cherednichenko Al.V., Nyssanbayeva A.S., Madibekov A.S., Zhumalipov A.R.</i> Aerosynoptical conditions of extremely high concentrations of pollutants in the snow cover.....	382
<i>Chuiko G.M.</i> Methodological approach for determining areas of water bodies contaminated with POPS (PCBS, DDT, HCCH) from organized local runoff and diffuse sources.....	387
<i>Shashulovskaya E.A., Mosiyash S.A., Dalechina I.N.</i> Specific features of the hydrochemical composition and structure of phytoplankton of a large reservoir in years, contrast on the hydrological and temperature regime.....	392
<i>Shesterkin V.P.</i> Long-term dynamics of content of mineral forms of nitrogen in water at the Bureya reservoir.....	397
<i>Sheshnev A.S., Majeed D.S.</i> Heavy metals in bottom sediments of gully systems in the cities of the right bank of the Volgograd reservoir.....	402
<i>Yasinskii S.V., Venitsianov E.V., Kashutina E.A., Sidorova M.V., Ershova A.A., Makeeva I.N.</i> Contribution of microparticles to the transport of pollution by rivers and groundwater in a large city.....	407
<i>Wozniak A.A.</i> Diffuse pollution of the Kama reservoirs.....	412
<b>GEOECOLOGY</b>	
<i>Alferov I.N., Gaev A.Ya.</i> Generation of the hydrogeoecological situation in regions with deficient humidification.....	417
<i>Balina T.A., Nikolaev R.S., Stolbov V.A., Chekmeneva L.Yu.</i> Kamskaya river system as a driver regional development.....	426
<i>Vaskova E.A.</i> Safaty of hydraulic facilities .....	433

<i>Vtorova A.I., Myakisheva N.V.</i> Features of the impact of thermal power plants on the environment on the example of the Uy river basin.....	438
<i>Goryachev V.S.</i> Providing water supply to cities and towns in the middle reaches of the river in the Republic of Bashkortostan in the face of changing climate.....	443
<i>Efimova L.E., Magritskiy D.V., Kenzhebaeva A.Zh., Goncharov A.V.</i> Current hydroecological state of the Ural river in the lower reaches.....	447
<i>Kitaev A.B.</i> Assessment of water quality of small rivers of Perm.....	452
<i>Klimenko D.Ye., Cherepanova E.S., Khomyleva A.A.</i> Influence of postpyrogenic successions of the forests of the Urals for the formation of the maximum water consumption of rainflows .....	458
<i>Konovalov V.E., Pochechun V.A., Semyachkov A.I.</i> Rational usage of watered quarries lands in Urals mining industrial region.....	464
<i>Minkina A.V.</i> Spatial characterization of the ecological status of water resources in the administrative areas of Perm territory.....	469
<i>Nesmelov N.M.</i> Aspects of water management and geoecological state of water resources of the Moscow region.....	474
<i>Semyachkov A.I., Kuchin V.V., Arkhipov M.V.</i> Regional water-ecological analysis of the mining and metallurgical complex of the Middle Urals.....	479
<i>Polyakova E.V., Kutinov Yu.G., Mineev A.L., Chistova Z.B.</i> Geomorphometric approach in geoecological assessment of groundwater in the territory of Arkhangelsk region.....	483
<i>Shchukin I.S.</i> Application of raingardens for surface runoff treatment in moderate climate.....	488

## HYDROBIOLOGY AND ICHTHYOLOGY

<i>Belyaeva P.G.</i> Composition and structure of phytoplankton of the Kama and Votkinsk reservoirs in summer.....	494
<i>Gulamanova G.A., Poleva A.O.</i> Assessment of water quality of the Pavlovskoe reservoir by of diversity indices and saprobic index.....	499
<i>Zhikharev V.S., Gavrilko D.E., Shurganova G.V.</i> Structural organization of zooplankton communities in the mouth rivers tributaries of the Cheboksary reservoir.....	503
<i>Kalenichenko V.M., Erina O.N., Zamana G.T., Puklakov V.V.</i> Long-term dynamics of winter phytoplankton in the Mozhaysk reservoir.....	508
<i>Mikheev P.B., Mikheeva O.I., Melnikova A.G., Vaganov S.S., Puzik A.Yu., Baklanov M.A.</i> Climate effect on the spatial distribution and growth of fish in the Kama reservoir catchment.....	513

<i>Muhutdinov V.F.</i> Vertical distribution of chlorophyll a, assessment of trophysical status and water quality of Pavlovsk reservoir in summer low-water period of 2019.....	519
<i>Razumovsky L.V.</i> Evaluation of the new concept of integrated monitoring effectiveness on the example of Rybinsky and Ivankovsky reservoirs.....	525
<i>Startseva N.A., Vodeneeva E.L., Kulizin P.V., Sharagina E.M., Okhapkin A.G.</i> Phytoplankton of unique karst lakes (by the example of lake Klyuchik, the basin of the Cheboksary reservoir).....	530
<i>Kholmogorova N.V., Kargapol'tseva I.A.</i> Estimation of the water quality of the Izhevsk reservoir tributaries by macrozoobenthos indicators.....	535

# ГИДРО- И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 556.553.55.013

С.А. Агафонова<sup>1</sup>, Л.С. Банщикова<sup>2</sup>

[sv\\_ice@list.ru](mailto:sv_ice@list.ru), [balju@rambler.ru](mailto:balju@rambler.ru)

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им.М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия*

## МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ РЫБИНСКОЙ ГЭС

В работе представлен анализ наблюдаемых изменений характеристик ледового режима нижнего бьефа Рыбинской ГЭС. В качестве исходных данных использованы материалы наблюдений на гидрологических постах г. Тутаев, г. Ярославль и г. Кострома за период с 1941 по 2020 гг. В пределах исследуемого участка наблюдается сокращение продолжительности периода с ледовыми явлениями и периода ледостава. В последние годы меняется уровеньный режим в период с ледовыми явлениями. Растет повторяемость уровней воды, превышающих отметку неблагоприятного явления.

*Ключевые слова:* ледовый режим, нижний бьеф ГЭС, Горьковское водохранилище, опасные гидрологические явления, изменение климата

S.A. Agafonova<sup>1</sup>, L.S. Bانشchikova<sup>2</sup>

[sv\\_ice@list.ru](mailto:sv_ice@list.ru), [balju@rambler.ru](mailto:balju@rambler.ru)

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia*

## LONG-TERM CHANGES IN THE ICE REGIME IN THE LOWER POOL OF THE RYBINSK HPS

The paper presents an analysis of the observed changes in the characteristics of the ice regime of the lower pool of the Rybinsk HPS. As the initial data, the materials of observations at the hydrological posts of Tutaev, Yaroslavl, and Kostroma for the period from 1941 to 2020 were used. Within the study area, there is a reduction in the duration of the period with ice phenomena and the period of stable ice cover. In recent years, the level regime has changed during the period with ice phenomena. The frequency of water levels exceeding the level of an adverse event is increasing.

*Keywords:* river ice, lower pool, Gorkovskoe reservoir, dangerous hydrological phenomena, climate change

### **Введение**

Условия формирования ледяного покрова в нижних бьефах ГЭС определяются не только климатическими факторами, но и режимом работы гидроузлов. Зарегулированные участки рек часто характеризуются повышенными значениями расходов воды в зимний период, что растягивает

период замерзания. Оптимальный режим попусков позволяет «настроить» ледовые условия и уровни воды в нижнем бьефе, учитывая интересы водопользователей: обеспечить уровни воды, необходимые для нормальной работы водозаборов или снизить повторяемость затопления территории при образовании заторов и зажоров [1; 4; 6-7].

Наблюдаемые климатические изменения влияют на гидрологический режим водохранилищ, меняются, в том числе режим сработки и наполнения [5]. Оценки будущих изменений характеристик ледового режима зарегулированных участков рек обычно учитывают не только возможные гидроклиматические изменения, но и изменения спроса на электроэнергию [11].

Исследуемый участок р. Волга (от Рыбинского гидроузла до г. Кострома) расположен в зоне влияния Рыбинского и Горьковского гидроузлов (рис. 1). В результате работы Рыбинской ГЭС здесь четко выражена суточная и недельная цикличность в колебаниях уровня воды [3]. Рыбинское водохранилище осуществляет многолетнее регулирование стока, Горьковское – сезонное [9; 10].



Рис. 1. Исследуемая территория

Зимой 2020 г. аномальные погодные условия и высокие сбросные расходы воды спровоцировали развитие ледохода и образование заторно-зажорных скоплений в нижнем бьефе Рыбинской ГЭС. Из-за резкого роста уровней воды были затоплены набережные в г. Ярославль, причал в г. Рыбинск и более 300 приусадебных участков [2]. Уровень воды 7 февраля 2020 г. стал высшим за период эксплуатации гидроузла, уровни выше неблагоприятных отметок сохранялись в течение 18 дней. Действующие правила использования водных ресурсов Рыбинского и Горьковского водохранилищ приписывают в зимний период обеспечить равномерную сработку [8]. При этом ограничения сбросных расходов в период с ледовыми явлениями не установлены.



Целью данного исследования было выделить наблюдаемые изменения сроков и продолжительности ледовых явлений и характерных уровней воды на участке от г. Рыбинск до г. Кострома.

### **Материалы и методы исследования**

Для оценки изменения условий замерзания и вскрытия исследуемого участка за период с 1941 по 2020 гг. использованы данные температур воздуха и осадков по метеостанциям Рыбинск и Кострома. В качестве гидрологической исходной информации для оценки характеристик ледового режима, таких как даты появления льда, установления ледостава, начала весеннего ледохода и очищения ото льда, продолжительность шугохода, осеннего и весеннего ледоходов, а также характеристик уровня режима приняты данные наблюдений на постах Тутаев, Ярославль и Кострома за период с 1941 по 2020 год.

Исходная информация была обобщена в специально созданную базу данных. В работе использовались статистические методы анализа данных. Рассматривались значения характеристик за 3 периода — с начала наблюдений до 1956 г. (условно бытовой), 1957-1977 гг. и 1978-2020 гг.

### **Анализ результатов**

По данным мс Рыбинск и Кострома после 1977 г. отмечается заметный рост температур воздуха и сумм осадков холодного периода (рис. 2). Среднемесячные температуры воздуха за декабрь-март выросли на 1–3° С, сумма отрицательных температур воздуха сократилась по данным мс Рыбинск на 14%, по данным мс Кострома – на 20%. Среднее число дней с температурой ниже –15° С уменьшилась с 26 до 19 сут.

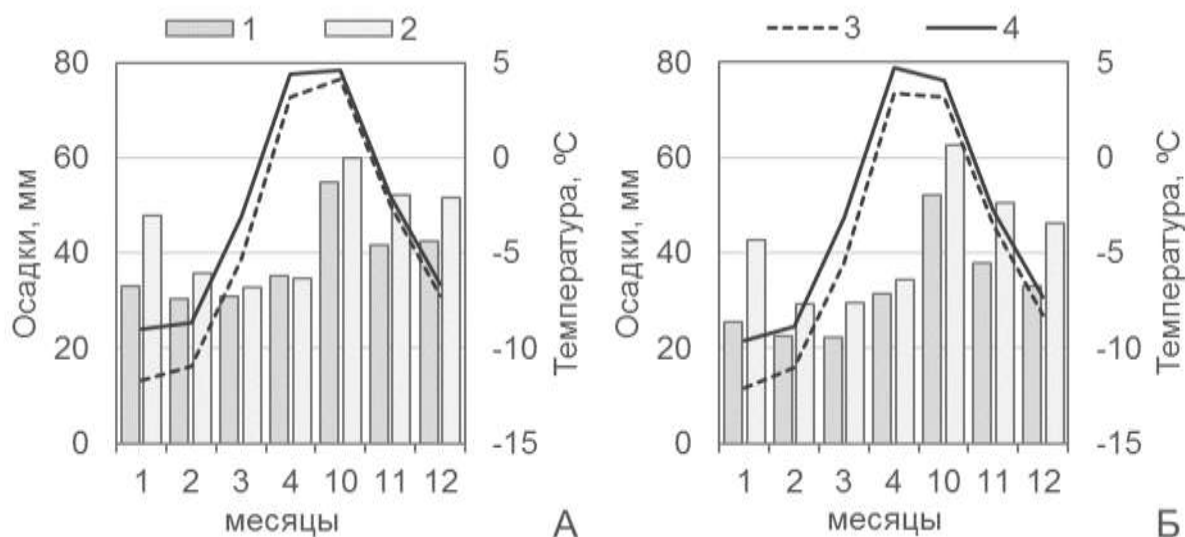


Рис.2. Климатические характеристики: 1 – средняя сумма осадков за 1941 – 1977 гг., 2 – средняя сумма осадков за 1978 – 2020 гг., 3 – среднемесячная температура воздуха за 1941–1977 гг., 4 – среднемесячная температура воздуха за 1978 – 2020 гг.  
(А – мс Рыбинск, Б – мс Кострома)

В период 1957-1977 гг. средняя продолжительность периода с ледовыми явлениями на участке Горьковского водохранилища от г. Тутаев до г. Кострома

составляла 155 сут. Средние сроки установления ледостава в створе поста г. Кострома – 21 ноября, г. Ярославль – 28 ноября, г. Тутаев – 1 декабря. При сравнении 2-х периодов (1957–1977 и 1978–2020 гг.) смещение сроков появления льда составило 7 сут., установления ледостава – 10 сут., очищения ото льда – 4 сут. Продолжительность периода с ледовыми явлениями на участке г. Ярославль – г. Кострома сократилась на 12–15 сут.

При формировании максимальных уровней воды в период с ледовыми явлениями важную роль играет режим пусков. Скачкообразный временной ход расходов воды приводит к непрерывному образованию и разрушению ледяного покрова. В пределах исследуемого участка наблюдаемые климатические изменения и повышенные сбросные расходы воды в зимний период меняют уровенный режим. Наиболее заметный рост уровней воды наблюдается в январе и феврале, когда срыв кромки льда сопровождается подвижками, торошением и подныриванием льдин, а также формированием заторно-зажорных скоплений, вызывающих резкие подъемы уровней воды и затопление территории. Уровни появления льда и уровни весеннего ледохода остаются низкими, не превышающими отметку неблагоприятного явления (рис.3).

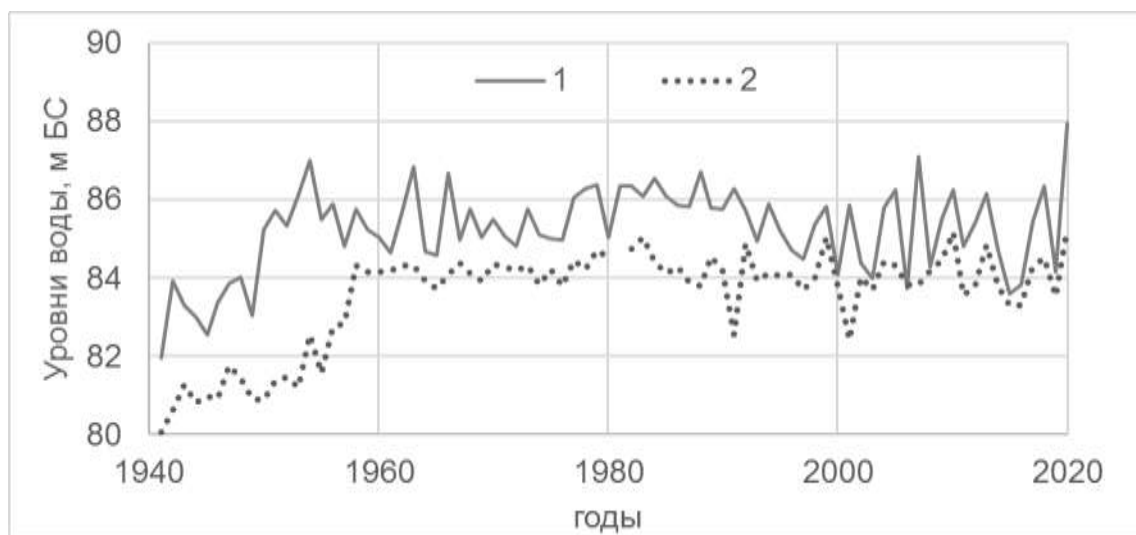


Рис. 3. Максимальные за период с ледовыми явлениями уровни воды и уровни воды при появлении льда (гп Ярославль)

### **Выводы**

Для исследуемой территории наблюдаемые климатические изменения меняют условия формирования и разрушения ледяного покрова на водных объектах. По данным мс Рыбинск и Кострома после 1977 г. отмечается сокращение сумм отрицательных температур воздуха, заметный рост осадков холодного периода, а также рост числа оттепельных дней. В створе гидрологического поста Ярославль сроки появления льда при сравнении 2-х периодов (1957–1977 и 1978–2020 гг.) сместились на 7 сут., сроки ледостава – на 10 сут. в сторону более поздних, продолжительность периода с ледовыми явлениями сократилась на 12 сут. Изменился режим уровней воды в период с

ледовыми явлениями. С начала эксплуатации Горьковского водохранилища максимальный уровень воды в период с ледовыми явлениями превышал 86,0 м БС по данным поста Ярославль 18 раз, причем за период с 1977 по 2020 гг. – 15 раз. Формирование опасных заторно-зажорных скоплений в нижнем бьефе Рыбинского гидроузла отмечалось зимой 2007 и 2020 гг. В меняющихся условиях возникает необходимость корректировки действующих правил использования водохранилищ и обоснования режима зимних попусков, обеспечивающих безопасную динамику кромки ледяного покрова в нижнем бьефе.

### Библиографический список

1. *Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кудишин А.В.* Ледотермический режим нижнего бьефа Новосибирского гидроузла. // Водные ресурсы, 2014, Т. 41. № 2. С. 123–130.
2. *Беднарук С.Е., Козлов Д.В.* Причины и последствия затороопасной ледовой обстановки в нижнем бьефе Рыбинского гидроузла. // Природообустройство, 2020. №2. С.81–98.
3. *Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги.* Л.:Гидрометеиздат, 1975. 291 с.
4. *Готлиб Я.Л., Донченко Р.В., Пехович А.И., Соколов И.Н.* Лед в водохранилищах и нижних бьефах ГЭС. Л.:Гидрометеиздат, 1983. 200 с.
5. *Гречушникова М.Г., Эдельштейн К.К.* Возможные изменения гидрологического режима Рыбинского водохранилища при потеплении климата. // Вестник Московского университета. Серия 5 География, 2012. №6. С. 61–67.
6. *Донченко Р.В.* Ледовый режим рек СССР. Л.:Гидрометеиздат, 1987. 247 с.
7. *Калинин В.Г.* Зимний режим водохранилищ и его определяющие факторы // Географический вестник. 2012. №1(20). С. 52–55.
8. *Основные правила использования водных ресурсов Рыбинского и Горьковского водохранилища на р. Волге.* М., 1983. 53 с.
9. *Салтанкин В.П.* Горьковское (Нижегородское) водохранилище. URL: [https://water-f.ru/Водные\\_объекты/932/Горьковское\\_\(Нижегородское\)\\_водохранилище](https://water-f.ru/Водные_объекты/932/Горьковское_(Нижегородское)_водохранилище) (дата обращения: 01.08.2020)
10. *Салтанкин В.П.* Рыбинское водохранилище. URL: [https://water-f.ru/Водные\\_объекты/780/Рыбинское\\_водохранилище](https://water-f.ru/Водные_объекты/780/Рыбинское_водохранилище) (дата обращения: 01.08.2020).
11. *Gebre S., Alfredsen K., Lia L., Stickler M., Tesaker E.* Review of Ice Effects on Hydropower Systems. – Journal of Cold Regions Engineering, 2013, Vol. 27, №. 4, pp. 196–222. doi: 10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000059

## **ВЛИЯНИЕ ВОДНОЙ МАССЫ ТОКТОГУЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА МЕСТНЫЙ КЛИМАТ**

Статья посвящена анализу влияния Токтогульского водохранилища на местный климат в условиях глобального изменения климата. Поскольку на территории Кыргызстана происходит процесс глобального потепления, одним из важнейших научных и практических вопросов является оценка воздействия построенных в Кыргызстане водохранилищ на климат. В ходе исследования было установлено, что Токтогульское водохранилище обладает эффектом повышения температуры воздуха. В долине Кетмень-Тюбе повышение температуры воздуха зависит от объема воды в Токтогульском водохранилище. Так, в годы маловодья в водохранилище (1-6,5 млрд м<sup>3</sup>) среднегодовая температура воздуха составляла 10,4°C, а в средневодные годы (6,6-14 млрд м<sup>3</sup>) 11,1°C и в многоводные годы (14,1-19,5 млрд м<sup>3</sup>) увеличивалась до 11,3°C.

*Ключевые слова:* среднегодовая температура воздуха, маловодные годы, средневодные годы, многоводные годы.

R.T. Akmatov, S.K. Alamanov, V.A. Pochechun

[viktoriyapochechun@mail.ru](mailto:viktoriyapochechun@mail.ru)

*Kyrgyz State University named after I. Arabaev, Bishkek, Kyrgyzstan  
Institute of Geology named after M. Adyshev NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan  
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia*

## **THE INFLUENCE OF WATER MASSES OF THE TOKTOGUL RESERVOIR TO LOCAL CLIMATE**

The article is devoted to the analysis of the impact of the Toktogul reservoir on the local climate in the context of global climate change. There is a global warming trend. In this regard, since the process of global warming is taking place on the territory of Kyrgyzstan, one of the most important scientific and practical issues is the assessment of the impact of the reservoirs built in Kyrgyzstan on the climate. The study found the Toktogul reservoir has the effect of increasing air temperature. In the Ketmen-Tyube valley, the increase in air temperature depends on the volume of water in the Toktogul reservoir. So, in the years of low water in the reservoir (1-6.5 billion m<sup>3</sup>), the average annual air temperature was 10.4° C, and in average water years (6.6-14 billion m<sup>3</sup>) 11.1°C and increased to 11.3°C in high-water years (14.1 - 19.5 billion m<sup>3</sup>).

*Keywords:* average annual air temperature, dry years, average water years, high-water years.

## ***Введение***

Кыргызстан не располагает работами, с научно-обобщенными оценками количественных и качественных характеристик влияния водохранилищ на природную среду прилегающих территорий. Вместе с тем, в будущем планируется построить в стране еще 18 крупных и около 100 малых водохранилищ, более 60 малых гидроэлектростанций. Поэтому, анализ влияния действующих водохранилищ на климат прилегающих территорий с целью их использования для оценки экологических и социально-экономических последствий планируемых к строительству водохранилищ является актуальной научно-практической задачей.

## ***Материалы и методы исследования***

В качестве фактического и аналитического материала в статье использованы материалы Государственной службы по гидрометеорологии МЧС КР и Государственного агентства промышленности, энергетики и недропользования при Правительстве КР. Полученные материалы были проанализированы на основе статистических, метеорологических и географических методов экстраполяции и аналогий с использованием критерия статистической достоверности Стьюдента.

## ***Анализ результатов***

Из-за отсутствия сети метеорологических станций в непосредственной близости к водохранилищам, построенных в Кыргызстане, сложно изучить их влияние на климат. Однако, основываясь на анализе многолетних данных метеостанций, расположенных в пределах котловин на некотором удалении от водоёма, можно сделать вывод, что строительство водохранилищ в Кыргызстане может заметно изменить климат на его берегах. Например, под влиянием водной массы Токтогульского водохранилища в долине Кетмень-Тюбе, значение среднегодовой температуры воздуха на м/с Токтогульская в 1953-2020 гг. повысилось на 2,3°C (табл. 1).

Таблица 1

### **Многолетняя среднемесячная температура воздуха до и после строительства Токтогульского водохранилища на Токтогульской метеостанции**

<i>Период</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>	<i>Год</i>
1952-74	-14,3	-10,7	1,6	13,5	18	21,7	24,4	24	19,4	10,9	2,7	-6	8,8
1979-2020	-5,1	-2,6	4,9	13,1	17,3	21,1	24,2	24,3	19,9	12,3	5,5	-1,6	11,1
<b>Различие</b>	<b>9,2</b>	<b>8,1</b>	<b>3,3</b>	<b>0,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>1,4</b>	<b>2,8</b>	<b>4,4</b>	<b>2,3</b>

Для определения достоверности этих изменений нами использован критерий статистической достоверности Стьюдента.

$$\tau = \left( \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{s^2}} \right) \sqrt{\frac{m \cdot n}{n + m}}$$

где  $\tau$  – показатель статистического критерия. Если  $|\tau| < 2$ , точность влияния водохранилища является неопределенной, если  $|\tau| > 2,5$  – статистическая достоверность верна.

По расчётам, критерий Стьюдента, для исследованного ряда наблюдений равен 5,34, что подтверждает достоверность оценки о повышающем воздействии Токтогульского водохранилища на температуру воздуха в прилегающей к нему территории.

Для анализа влияния объема воды в Токтогульском водохранилище на температуру воздуха в прилегающей к нему части котловины, период с 1975 по 2020 гг. разделили на 3 уровня по степени наполненности чаши водой. Таким образом, к маловодным годам отнесли годы с наполнением от 1 до 6,5 млрд м<sup>3</sup>, к средневодным – 6,6-14 млрд м<sup>3</sup>, многоводным – 14,1-19,5 млрд м<sup>3</sup>. Они соответствуют техническим параметрам Токтогульского водохранилища (6,5 млрд м<sup>3</sup> – неизменный объем, 14 млрд м<sup>3</sup> – полезный объем и 19,5 млрд м<sup>3</sup> – полный объем). За основу анализа принят среднегодовой объем воды в водоеме. Такой подход принят в связи с большими колебаниями объёма воды в течение года [3]. Например, в 1987 г. с января по июнь в водохранилище воды было менее 5 млрд м<sup>3</sup>, но с июня по декабрь объём воды увеличился до 14,4 млрд м<sup>3</sup>.

В маловодные 1983, 1984, 1985 и 1986 гг., среднегодовая температура воздуха составляла 10,4°C. В средневодные годы (6,6-14 млрд м<sup>3</sup>) она повышалась до 11,1°C, а в многоводные годы (14,1-19,5 млрд м<sup>3</sup>) составила 11,3°C (табл. 2). Следовательно, наблюдаемое повышение температуры воздуха достоверно зависит от объема воды в водохранилище.

Таблица 2

**Многолетняя среднемесячная температура воздуха при маловодье, средневодье и многоводье в Токтогульском водохранилище**

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>	<i>Год</i>	<i>Объём вдхр.</i>
-6,7	-5	2	13	16,9	21	26,3	26,3	20,6	11,9	4,2	-5,3	10,4	Маловодье
-5,2	-2,5	4,9	13,6	17,7	21,2	24,2	24	19,8	12,2	4,9	-1,3	11,1	Средневодье
-4,5	-2,2	5,5	12,8	16,9	20,9	23,9	24,2	19,9	12,6	6,5	-1,1	11,3	Многоводье

Из-за воздействия водохранилища в маловодные годы средняя многолетняя температура воздуха в месяцы осенне-зимнего периода изменялась от -6,7°C до 11,9°C. В средневодные годы – от -5,2°C до 12,2°C, в многоводные годы – от -4,5°C до 12,6°C. Таким образом, видно, что с увеличением массы воды в водохранилище, возрастает её согревающее воздействие на окружающую среду.

До строительства Токтогульского водохранилища, предгорья долины Кетмень-Тюбе находились на высоте 700-900 м над уровнем моря, над узкой котловиной. Согласно таблице 1, зимой наблюдался длительный застой холодного воздуха, многолетняя средняя температура составляла 8,8°C, а среднемесячная многолетняя температура января достигала -14,3°C [4; 5].

Со строительством Токтогульского водохранилища уровень воды в водохранилище поднялся до 900 м, объем составил 19,5 млрд м<sup>3</sup>. В результате

сформировался согревающий эффект водоема, и в январе среднемноголетняя температура воздуха составила  $-5,1^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, температура воздуха повысилась на  $9,2^{\circ}\text{C}$ . Мы полагаем, что это изменение связано как с изменением характера природной среды, так и местоположения метеостанции. До строительства Токтогульского водохранилища метеостанция располагалась в котловине, на высоте 821 м над уровнем моря, после строительства водохранилища ее переместили на равнинную поверхность – на высоту 983 м над уровнем моря [1;2]. В этих условиях прекратилось накопление холодного воздуха в низкой части котловины, температура окружающей среды изменилась в сторону потепления. Таким образом, можно считать, что Токтогульское водохранилище оказывает прямое влияние на повышение многолетней средней температуры воздуха на  $2,3^{\circ}\text{C}$  в долине Кетмень-Тюбе.

Отмечается, что водная масса в водохранилище влияет не только на тепловые условия осенне-зимнего периода, но и на условия весенне-летнего периода. Таким образом, под влиянием охлаждающего воздействия водоема в месяцы весенне-летнего периода средняя многолетняя температура воздуха в маловодные годы колеблется от  $13^{\circ}\text{C}$  до  $26,3^{\circ}\text{C}$ . В средневодные годы колебания составляли от  $13,5^{\circ}\text{C}$  до  $24,2^{\circ}\text{C}$ , в многоводные годы амплитуда снижалась - от  $12,8^{\circ}\text{C}$  до  $23,9^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, можно отметить, что в зависимости от объема воды в водохранилище, в весенне-летний период водная масса водоема обладает охлаждающим эффектом, равным  $0,7-2^{\circ}\text{C}$ .

До строительства водохранилища многолетняя сумма среднемесячных положительных температур воздуха составляла  $136,6^{\circ}\text{C}$ , в годы маловодья в водохранилище она повышалась до  $142,2^{\circ}\text{C}$ , в средневодные годы составляла  $142,4^{\circ}\text{C}$ , многоводные –  $143,2^{\circ}\text{C}$ .

На основании анализа влияния Токтогульского водохранилища на климат прилегающих территорий можно сделать следующие **выводы**. Чем больше воды задерживается в водохранилище, тем он теплее в холодное время года и тем прохладнее в жаркое время года. Так, до строительства Токтогульского водохранилища средняя температура января составляла  $-14,3^{\circ}\text{C}$ , в период маловодья в водохранилище  $-6,3^{\circ}\text{C}$ , а в годы многоводья в водохранилище  $-4,5^{\circ}\text{C}$ . До строительства водохранилища средняя температура июля составляла  $24,4^{\circ}\text{C}$ , а в годы, когда водохранилище было многоводным, она снизилась до  $23,9^{\circ}\text{C}$ .

### Библиографический список

1. Акматов Р.Т. Влияние Токтогульского водохранилища на климатические характеристики Кетмен-Тюбинской котловины // Вестник ЖАГУ. Жалал-Абад. 2000. №1. С. 95-97.
2. Акматов Р.Т. Влияние водохранилищ Кыргызстана на окружающую среду и социально-экономическое положение населения: автореф. дисс.... канд. геогр. наук. Бишкек. 2002. 58 с.
3. Гидрологический прогноз реки Нарын. Отчет о НИР / Департамент науки МОиН КР; рук. Т.М.Чодураев. Бишкек, 2017. 32 с.

4. Чодураев Т.М., Акматов Р.Т. Влияние Токтогульского водохранилища на окружающую среду: тр. IV Междунар. науч.-практ. конференции. Екатеринбург, 2016. С. 41-46.

5. Чодураев Т.М., Акматов Р.Т. Изучение влияния водохранилищ Кыргызстана на изменения характеристик климата, прилегающих территорий // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование: мат. Междунар. науч.-практ.конференции. Алма-Ата, 2016. С. 92-95.

УДК 504.455; 551.435.326; 551.435.323

М.С. Баранова, А.И. Кочеткова, Е.С. Брызгалина, О.А. Обьедкова,  
Д.А. Леонтьев, [unlesi@mail.ru](mailto:unlesi@mail.ru), [maria\\_baranova2902@rambler.ru](mailto:maria_baranova2902@rambler.ru)  
*Волжский филиал «Волгоградский государственный университет»,  
г. Волжский, Россия*

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АБРАЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПЕРЕСЫПЕЙ ВО ВХОДНЫХ СТВОРАХ ЗАЛИВОВ ОЗЕРНОГО УЧАСТКА ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Статья содержит предварительные закономерности процесса, полученные в результате исследования некоторых репрезентативных заливов Волгоградского водохранилища в 2019-2020 гг., а так же анализа архивных материалов, карт и спутниковых снимков. Выявлено, что процесс отделения заливов зависит от первоначального объема, морфологических особенностей, литологического состава берегов, скорости и направление волнения, частоты и повторяемости штормов, антропогенного фактора. Существуют некоторые отличия в формировании пересыпей на право- и левобережье водоема. Выявлена пространственно-временная динамика формирования и развития устьевых пересыпей заливов Волгоградского водохранилища.

*Ключевые слова:* Волгоградское водохранилище, заливы, абразионно-аккумулятивные пересыпи, входной створ залива, закономерности процесса, пространственно-временная динамика.

M. Baranova, A. Kochetkova, E. Bryzgalina, O. Ob'edkova,  
D. Leont'ev, [unlesi@mail.ru](mailto:unlesi@mail.ru), [maria\\_baranova2902@rambler.ru](mailto:maria_baranova2902@rambler.ru)  
*Volzhskiy branch of the federal state autonomous educational institution of higher  
education Volgograd State University, Volzhskiy, Russia*

## **PRELIMINARY PATTERNS OF FORMATION OF ABRASION- ACCUMULATIVE JUMPERS IN THE ENTRANCE GATES OF THE BAYS OF LAKE AREA OF THE VOLGOGRAD RESERVOIR**

The article contents preliminary process patterns. They were obtained as a result of a researching of some representative bays of the Volgograd reservoir in 2019-2020, as well as an analysis of archival materials, maps and satellite images. We reveal that the separation process of the



bays depends on the initial volume, morphological features, lithological composition of the coasts, the speed and direction of wave, the frequency and repeatability of storms, and the anthropogenic factor. There are some differences in the formation of the abrasion-accumulative jumpers on the right and left coasts of the reservoir. The spatiotemporal dynamics of the formation and development of bays estuarine abrasion-accumulative jumpers of the Volgograd reservoir was revealed.

*Keywords:* Volgograd reservoir, bays, abrasion-accumulative jumpers, entrance gate of bay, process patterns, spatiotemporal dynamics.

### ***Введение***

Вдольбереговой транспорт наносов, возникающий вследствие разрушения берегов, стал причиной производного процесса на Волгоградском водохранилище – полного или частичного отчленения его заливов от основной акватории водоема абразионно-аккумулятивными пересыпями (ААП). Наиболее активно процесс развивается на озерном участке водохранилища (плотина Волжской ГЭС – пос. Ровное).

Процесс перекрытия устьевых створов пересыпями является одной из региональных экологических проблем и приводит к потере ряда заливов Волгоградского водохранилища как части кормовой базы, зон нереста, нагула молоди гидробионтов и экологической среды их обитания.

При исследовании заливов и ААП нами использовался комплексный подход для изучения процесса формирования и развития устьевых пересыпей.

### ***Материалы и методы исследования***

Материалами работы послужили: данные экспедиционных исследований 2019-2020 гг. некоторых репрезентативных заливов озерного участка Волгоградского водохранилища; архивные материалы экспедиций по проекту «Волжский плавучий университет» Волжского филиала ВолГУ 2008, 2010-2016 гг.; спутниковые снимки Landsat 1986-2016 гг. [2] и Google Планета Земля 2002-2018 гг. [5]; карты из альбома планов [4] и атласа [1].

В работе были применены полевые и аналитические методы исследования.

Полевые методы включают в себя: гидростатическое нивелирование, геометрическое нивелирование, отбор проб наносов, техническое фотографирование участков работ.

При выполнении работы были применены следующие аналитические методы: картографический метод с применением ГИС-технологий; графический метод; математические методы, в том числе метод математической статистики.

### ***Анализ результатов***

В настоящей статье содержатся результаты обработки и анализа полевых экспедиционных материалов 2019-2020 гг., архивных данных 2008, 2010-2016 гг., карт [1; 4] и спутниковых снимков [2; 5]. Эта работа была проведена нами в 2019-2020 гг. Полевые исследования заливов и работа по анализу полученных материалов будет продолжена и в 2021 г., поэтому выявленные закономерности пока носят предварительный характер.

По итогам работы 2019-2020 гг. были выявлены следующие закономерности формирования абразионно-аккумулятивных пересыпей во входных створах заливов озерного участка Волгоградского водохранилища:

1. *Первоначальный объем залива* (объем в 1958 г. при создании Волгоградского водохранилища) является определяющим, но не единственным фактором, способствующим его отделению. Наиболее активно отделяются малые заливы (с первоначальным объемом менее 300 тыс. м<sup>3</sup>), в меньшей степени – средние (с объемом 300-1000 м<sup>3</sup>). Большие заливы (с первоначальным объемом более 1000 тыс. м<sup>3</sup>) к настоящему времени еще не закрылись пересыпями. Исключение составили дву- и трехрогие заливы левобережья. Вследствие интенсивного размыва берегов вблизи устья, они постепенно утратили свои ответвления и разделились на две или три отдельные акватории (заливы Терновы, Шарова Балка и др.).

2. *Морфологические особенности.* За время существования Волгоградского водохранилища образовались значительные по протяженности абразионно-аккумулятивные отмели (шириной 100-300 м и более) у обоих берегов водоема, которые переходят в устьевые ААП заливов.

На большинстве заливов процесс образования пересыпей во входном створе начинается с южной косы, которая образуется и начинает увеличиваться раньше, чем северная (заливы Рубежный (рис.1), Широкий, Водяной и др.). Формирующаяся южная коса, как правило, изогнута внутрь залива. Последняя особенность была отмечена как классификационный признак прибрежных аккумулятивных форм В.П. Зенковичем (1962) [3].



Рис.1. Во входном створе залива Рубежный активно формируется правобережная (южная) коса (фотография сделана авторами 24.07.2019 г.)

Входные створы заливов, расположенных ниже (южнее) выступающих береговых мысов закрываются медленнее (заливы Гусева, Рубежный и др.), т.к. подобные мысы ограничивают сектор разгона ветровых волн.

Со стороны водохранилища около входных створов заливов зачастую формируются лункообразные «карманы» или рынки, образованные под

воздействием «фрикционных стоковых течений» (заливы Большой, Ростовый, Другалка и др.). «Фрикционные стоковые течения» способствуют отложению взвешенных наносов на абразионно-аккумулятивных косах и пересыпях.

На озерном участке водоема севернее Бутковского рынка (расположен в 201 км к северу от плотины Волжской ГЭС) процесс размыва берегов распространен меньше, здесь береговые деформации происходят в основном за счет речной эрозии. Из-за дефицита строительного материала, обусловленного снижением энергетики ветрового волнения, заливы, расположенные севернее Бутковского рынка, также медленнее закрываются (заливы Сухая Осина, Байдаков Овраг и др.).

### *3. Литологический состав берегов Волгоградского водохранилища.*

Правобережье водохранилища, сложенное, преимущественно, песчаниками (в том числе, опоковидными и кремнистыми), опоковидными глинами, и опоками, поставляет на устьевые ААП гальку и гравий всех фракций, крупные пылеватые фракции. Наличие песка на пересыпях определяется рыхлыми или слабоуплотненными песками и песчаниками в составе берега.

Левобережье водоема сложено супесями, различными фракциями песка и в значительно меньшей степени – суглинками; на значительном протяжении берега наблюдаются выходы хвалынских шоколадных глин. Левобережье поставляет на ААП, в основном, песок всех фракций, в меньшей степени – крупные пылеватые частицы, иногда – глинистые частицы.

### *4. Некоторые отличия в формировании ААП право- и левобережья водоема.*

На правом берегу большие заливы еще не закрылись пересыпями, как было указано выше. Завершающая стадия формирования ААП заливов правобережья непродолжительна по времени (иногда менее 3 лет).

На левом берегу образование пересыпей во входных створах заливов замедлено ввиду дефицита строительного материала. Предположительно, образованию донного порога во входных створах заливов препятствуют сейшевые течения. Заливы левобережья долгое время находятся в завершающей стадии отделения (до 10-15 лет).

### *5. Пространственно-временная динамика формирования и развития абразионно-аккумулятивных пересыпей.*

Период образования пересыпи во входном створе залива, начиная с момента ее активного нарастания, занимает от 7 (заливы Короткий Липовый, Мостовой и др.) до 20 лет (заливы Большой, Бирючья Балка и др.). Активизация процесса происходит при формировании пересыпи за пределами прибрежной отмели, образованной до начала абразионно-аккумулятивных процессов на Волгоградском водохранилище. Проведенные исследования подтверждают развитие (увеличение ширины и длины) уже сформированных пересыпей во времени.

6. *Антропогенный фактор.* Некоторые формы антропогенного воздействия на входные створы заливов препятствуют перекрытию последних. Например, устья некоторых заливов подвергались расчистке (заливы Сухой,

Котловый, Татаркина и др.). В других случаях во входном створе (заливы Камышинский, Осадный и др.) или вблизи устья залива (залив Беленький) было проведено берегоукрепление, что препятствует размыву берегов и отделению залива.

Другими факторами, способствующими отделению залива, являются скорость и направление волнения, а также частота и повторяемость штормов на Волгоградском водохранилище. Эти факторы активно прорабатываются авторами, поэтому материалы по ним пока здесь не приведены.

### **Выводы**

В результате проведенного исследования было выявлено, что процесс отделения заливов Волгоградского водохранилища зависит от первоначального объема, морфологических особенностей, литологического состава берегов, скорости и направление волнения, частоты и повторяемости штормов, антропогенного фактора. Существуют некоторые отличия в формировании ААП на право- и левобережье водоема. Проведенные исследования подтверждают пространственно-временное развитие сформированных пересыпей.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19–45–343002 р\_мол\_а «Закономерности формирования абразионно-аккумулятивных пересыпей во входных створах заливов озерного участка Волгоградского водохранилища».*

Авторы благодарят заведующего учебно-научной лабораторией экологических и социальных исследований Волжского филиала ВолГУ к.г.н. О.В. Филиппова за бесценные советы при подготовке этой публикации.

### **Библиографический список**

1. *Атлас* единой глубоководной системы европейской части РСФСР. Река Волга. От Саратовского гидроузла до Астрахани // Под редакцией Приватовой И.М. и Мирошниковой Е.Т. М.: Министерство речного флота РСФСР. Главводпуть. Волжское бассейновое управление пути, 1988 г. 52 л.
2. *Глобальный архив* геологической службы США (USGS) [Электронный ресурс]. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 20.08.2019)
3. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. 710 с.
4. *Сталинградская электростанция* на реке Волге. Альбом планов судового хода на участке от плотины до Балаково. Л.: Изд-во Государственного института проектирования на речном транспорте Ленгипроречтранс, 1958. 54 л.
5. *Google Планета Земля* [Электронный ресурс] URL: <https://www.google.ru/intl/ru/earth/> (дата обращения: 17.02.2020)

А.А. Батмазова, Е.В. Гайдукова, И.О. Винокуров, [oderiut@mail.ru](mailto:oderiut@mail.ru)  
*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г.Санкт-Петербург, Россия*

## **К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ AUTOCAD ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТЕЙ ПОТОКА (НА ПРИМЕРЕ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

Предлагается метод визуализации и последующего анализа скоростного поля потока. Метод основан на использовании возможностей программного комплекса *AutoCAD*. В результате проделанной работы удалось визуализировать скоростные поля потоков на прямолинейных участках р. Кама. Применяемый способ оказался трудоемким, но показательным, его нельзя пока использовать для створов, расположенных за поворотом или далеко друг от друга, и на участках с притоками.

*Ключевые слова:* программный комплекс, скоростное поле, участки реки, интерполяция, трехмерные изображения, *AutoCAD*.

A. Batmazova, E. Gaidukova, I. Vinokurov, [oderiut@mail.ru](mailto:oderiut@mail.ru)  
*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia*

## **TO THE QUESTION OF USING AUTOCAD FOR ESTIMATING FLOW RATES (ON THE EXAMPLE OF THE KAMSKY RESERVOIR)**

A method of visualization and subsequent analysis of the flow velocity field is proposed. The method is based on using the capabilities of the *AutoCAD* software package. As a result of the work done, it was possible to visualize the velocity fields of flows on the straight sections of the river Kama. The method used turned out to be laborious, but indicative; it cannot yet be used for posts located around the bend or far from each other, and in areas with inflows.

*Keywords:* software package, speed field, river sections, interpolation, three-dimensional images, *AutoCAD*.

### ***Введение***

Программный комплекс *AutoCAD* – одна из наиболее известных и распространенных систем автоматизированного проектирования и черчения в нашей стране [9], его многофункциональность позволяет создавать не только чертежи, но также визуализацию и анимацию [5].

Для гидрологических целей *AutoCAD* может использоваться, например [1-4; 6-8] при выполнении следующих видов работ: определение длин рек и иных водотоков, отбивка и определение площадей водосборов рек и озер, работа с топографическими планами и обработка русловой съемки, импорт промеров глубин и тахеометрической съемки в чертеж, цифровая модель местности, построение продольных и поперечных разрезов, сравнение цифровых моделей местности, построение картограмм деформаций русла, объемов дноуглубления, проведение расчета зон затопления.

Цель исследования заключается в расширении практических возможностей программы *AutoCAD* для решения гидрометрических задач, а именно, оценка скоростей потока водного объекта, на примере Камского водохранилища.

### ***Методы и исходная информация***

Построение скоростного потока в формате 3D осуществляется в программе *AutoCAD* следующим образом:

1) берутся изображения поперечных профилей с промерами скоростей и глубин и импортируются в *AutoCAD*;

2) с помощью инструмента рисования «Полилиния», который находится во вкладке «Главная – Рисование», оконтуриваются горизонтالي и другие линии;

3) далее удаляется подложка и остаются два профиля по выше и ниже лежащим створам в формате «Полилинии», которые уже можно преобразовывать в 3D объекты;

4) меняется рабочее пространство из «Рисования и аннотации» на «3D – моделирование»;

5) включается «Свободная орбита» и с ее помощью меняется угол обзора отрисованных створов таким образом, чтобы они просматривались спереди и сбоку;

6) створам придается объем следующим образом: полностью выделяется створ вместе с горизонталями и аннотациями, далее на вкладке «Главная» берется инструмент «Выдавить» и вводится то значение расстояния, на которое будет объект-полилиния экструдирован;

7) створы размещаются друг над другом так, чтобы было удобно соединять изотахи;

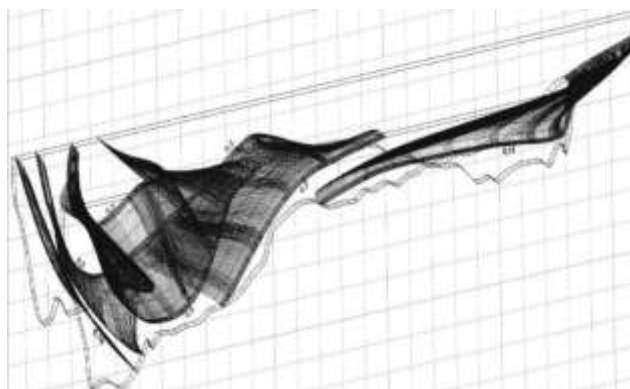
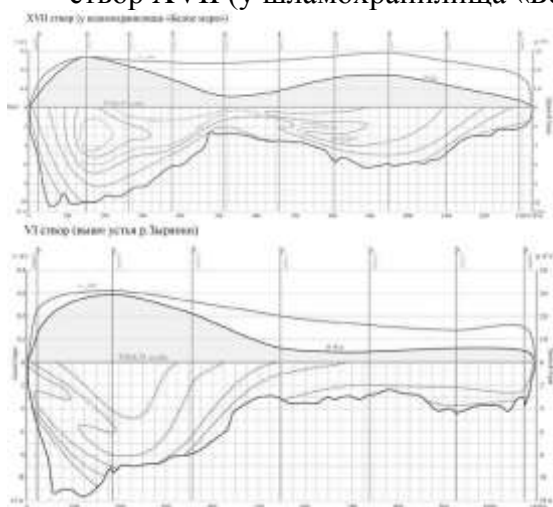
8) соединение изотак разных створов для визуализации скоростного потока осуществляется с помощью инструмента «Переход», который расположен на вкладке «Поверхность».

Для исследования скоростного потока было выбрано Камское водохранилище, поскольку для него имеется необходимый набор данных (карты-схемы створов, измеренные скорости потока и глубины), предоставленный ПАО «Уралкалий».

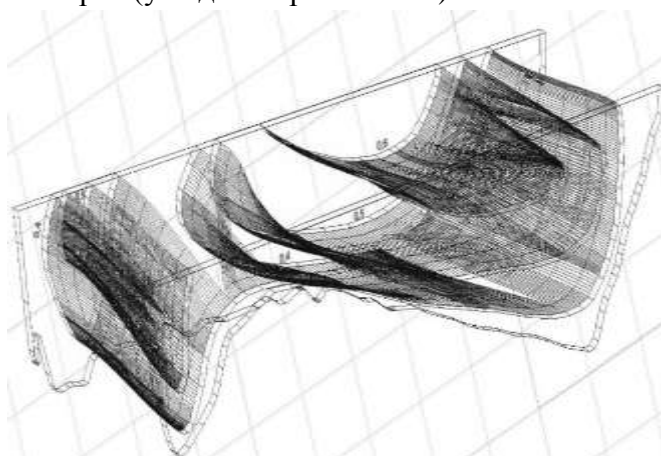
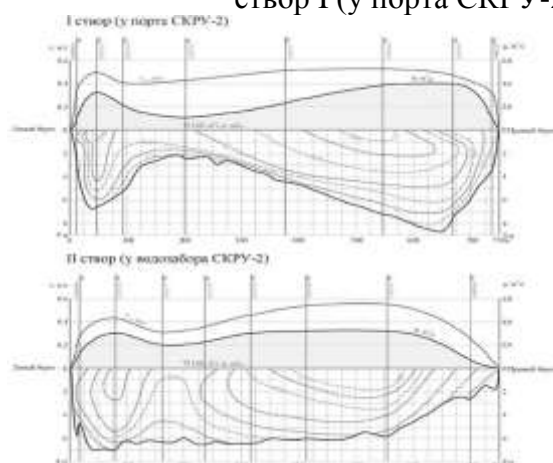
Исследование скоростного потока проводилось по данным измерений 2019г. В этот год вплоть до середины октября уровень воды Камы стоял сравнительно высоко, снижения отметок уровня с конца половодья практически не наблюдалось, только в конце октября – начале ноября началась более интенсивная сработка Камского водохранилища, которое является водохранилищем сезонного регулирования. Измерения скоростей течения было выполнено в июле, сентябре и октябре.

Для реализации выше описанного алгоритма были выбраны следующие створы: 1 – участок 1: створ XVII (у шламохранилища «Белое море») – створ VI (выше устья р. Зырянки); 2 – участок 2: створ I (у порта СКРУ-2) – створ II (у водозабора СКРУ-2); 3 – участок 3: створ XIV (у впадения р. Пыскорки) – створ XV (у д. Заразиль) (рисунок).

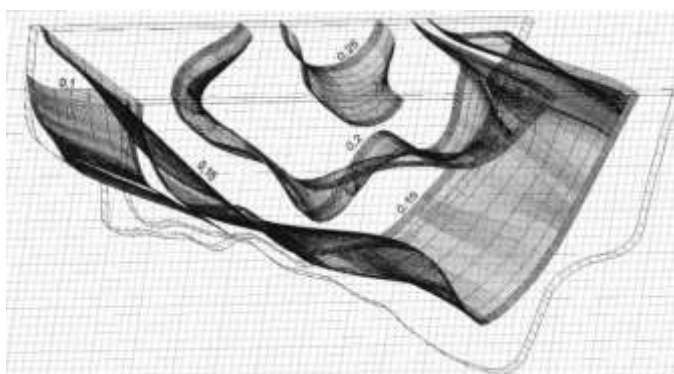
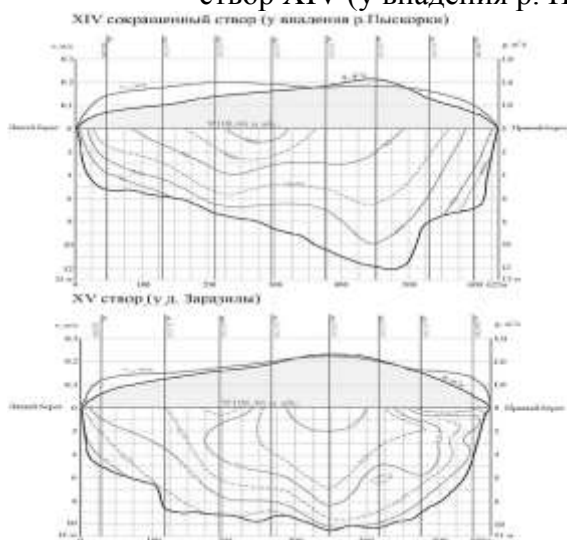
а) створ XVII (у шламохранилища «Белое море») – створ VI (выше устья р. Зырянки)



створ I (у порта СКРУ-2) – створ II (у водозабора СКРУ-2)



створ XIV (у впадения р. Пыскорки) – створ XV (у д. Заразилы)



Пример визуализации скоростного поля потока (б) между створами (а)



### **Результаты исследования**

На рисунке показаны некоторые участки, для которых была предпринята попытка визуализации скоростного поля потока. Здесь же приведены и полученные скоростные 3D поля по выбранным участкам. На рисунке видна связь между распределениями скоростей на двух соседних створах. Скорости хорошо интерполируются, при этом на первом и третьем участках видна не только линейная интерполяция. Но для третьего участка отсутствуют скоростные поверхности небольших локальных изоток, присущих нижнему створу. Для лучшей интерполяции необходимо иметь эпюры с одинаковым шагом изменения скорости течения.

Использование программы AutoCad позволяет вращать полученные изображения для наилучшего анализа скоростного поля потока.

Предлагаемый метод анализа полей характеристик можно применять не только для скоростей, но и, например, для показателя минерализации и величин концентраций примесей, что как раз актуально для водных объектов, в которые происходит сброс отходов калийного производства.

### **Выводы**

В статье предлагается метод анализа скоростных полей потока на примере Камского водохранилища. В ходе разработки и апробации этого метода можно сделать следующие выводы: для реализации метода необходима достаточно полная информация о скоростях потока на нескольких створах, подход годится для визуализации скоростного поля потока на прямолинейных участках, метод оказался трудоемким, но показательным, его нельзя пока использовать на створах, расположенных за поворотом или далеко друг от друга, и на участках с притоками.

### **Библиографический список**

1. *Афонин В.В., Карпушкин А.В., Корсак В.В., Фалькович А.С., Хачатрян В.А.* Программа построения продольного профиля русла реки по цифровой модели рельефа. // Аграрный научный журнал. № 6. 2018. С. 32–36.
2. *Бондаренко Ю.В., Фисенко Б.В., Афонин В.В., Ткачев А.А., Карпушкин А.В., Киселева Ю.Ю.* Алгоритм принятия решений по снижению вероятности возникновения гидрологических чрезвычайных ситуаций // Научное обозрение. 2012. № 6. С. 285–289.
3. *Заносова В.И., Коломоец С.Ю.* Автоматизация проектных работ при реконструкции русла р. Кыргай в Кемеровской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (149). С. 61–66.
4. *Костюкова Т.П., Саубанов В.С., Шаяхов О.Ф.* Построение 3D-моделей как способа мониторинга и диагностики инфраструктуры территории // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн; мат. IV Междунар.научно-практической конференции. 2017. С. 102–108.
5. *Науменко Н.О., Кобзарь Ж.Д., Убайдуллаева А.А.* Анализ систем автоматизированного проектирования BricsCAD и AutoCAD в землеустройстве и кадастре // Дневник науки. 2020. №12 (48). С. 26.



6. Пронько Н.А., Корсак В.В. Современные информационные технологии рационального природопользования на орошаемых землях Поволжья // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2009. № 3. С. 27–29.

7. Пургина Д.В., Кузеванов К.И. Анализ методов оценки запасов подземных вод на примере Никитинского месторождения (Кузбасс) // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 1 (125). С. 46–58.

8. Пургина Д.В., Строкова Л.А., Кузеванов К.И. Моделирование гидрогеологических условий для обоснования противооползневых мероприятий на участке набережной реки Камы в городе Перми // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Т. 327. № 1. 2016. С. 116–127.

9. Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Глазков Р.Е. Анализ программного обеспечения для обработки данных наземного лазерного сканирования // Современное промышленное и гражданское строительство. 2016. Т.12. № 3. С. 127–140.

УДК 551.48

С.В. Будник, [svetlana\\_budnik@ukr.net](mailto:svetlana_budnik@ukr.net)

*Центральная геофизическая обсерватория им.Б.Срезневского, г.Киев, Украина*

## **О ПЕРЕНОСЕ СТОРОВ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСТОВ И ОДНОРОДНОСТИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СТОКОМ ВОДЫ**

Показано влияние переноса створов наблюдений на результаты наблюдений на гидрологических постах. Рекомендуются не переносить створы гидрологических наблюдений, а организовывать подвесные мостики, люльки и пр. для удобства проведения гидрологических работ в различные сезоны года.

*Ключевые слова:* расход воды, створ наблюдений, кривые связи

S.V. Budnik, [svetlana\\_budnik@ukr.net](mailto:svetlana_budnik@ukr.net)

*The central geophysical observatory of a name of Boris Sreznevskogo, Kiev, Ukraine*

## **ABOUT CARRY GAUGE LINE HYDROLOGICAL POSTS AND UNIFORMITY OF THE GIVEN SUPERVISION OVER A DRAIN OF WATER**

In work influence of carry gauge line supervision on results of supervision on hydrological posts is shown. It is recommended to not transfer створы hydrological supervision, and to organize pendant bridges, crables and so forth for convenience of carrying out of hydrological works during various seasons of year.

*Keywords:* the charge of water, gauge line supervision, curve communications

Обеспечение однородности и достоверности материалов наблюдений за стоком воды важная часть систематической работы по формированию государственного водного кадастра. О чем свидетельствуют существующие нормативные документы гидрометслужб разных государств [6-8 и др.]. Иногда исследователи констатируют наличие неоднородности гидрологического ряда, но не могут определить время и причину ее возникновения. Среди основных причин неоднородности гидрологических рядов называют антропогенную деятельность.

При проведении наблюдений за стоком воды на стационарных гидрологических постах возникают ситуации, при которых наблюдатели вынуждены переносить створы наблюдений выше или ниже по течению от основного гидрологического поста. Основными причинами возникновения таких ситуаций является хозяйственная деятельность в русле реки (строительство шлюзов, плотин, водохранилищ и т.п.), на пойме или водосборе, со сменой климатических условий, естественным развитием гидрографической сети т.п. Так, возникновение подпора от плотин и шлюзов вызывает изменения в уровненом режиме на водпосту, зарастание русла водной растительностью – также. В некоторых случаях посты вынуждены переносить или закрывать вообще. Это наглядно показывают посты с длительными периодами наблюдений 50-70 и более лет. К примеру гидрологический пост Трубеж-Баришевка открыт 1.09.1945 г. в 50 км от устья р.Трубеж, в 15 км выше устья р.Недра. Водпост расположен на участке с искусственно канализованным руслом [2], был закрыт 31.03.1960 г. в связи с влиянием с января 1958 г. переменного подпора от руслового шлюза №7, расположенного в 1,9 км ниже водомерного устройства. Пост Трубеж – Барышевка, шлюз №7 открыт 16.03.1960 г. Наблюдения на новом посту и старом несопоставимы, поскольку режим реки изменился. Гидрологический пост Днепр – Украинка открыт 14.09.1970 г. в 833 км от устья, в 180 м водозабора Трипольской ГРЭС и в 2,0 км ниже устья р.Стугна [4]. На уровень режим влияла работа Киевской ГЭС, расположенной в 70 км выше поста. После строительства Каневского водохранилища пост преобразован в озерный (Каневское водохранилище – г. Украинка), открыт 01.12.1976 г. Информацию о влиянии на режим реки объектов хозяйственной деятельности помещают в описания постов гидрологических ежегодников и справочников [2,4, 6 и др.].

Наиболее характерным показателем изменения гидрологического режима в створе гидрологического поста является связь расходов и уровней воды, однако, эти взаимосвязи подвержены влиянию также и стока наносов, русловым деформациям, растительности и др. [4 и др.]. Поэтому, для одних рек по ним легко проследить изменение гидрологического режима под влиянием хозяйственной деятельности и переноса поста, а по другим – нет. Так, ранее нами уже отмечалось [1], что зависимость расхода воды от уровня для реки Норин - п. Славенщина показывает некоторое расслоение точек, возникшее из-за измерения расходов воды в разных створах (3, 4, 5). В створе № 3 измерения

проводились в межень в коренном русле, в № 4 в основном в половодье с учетом поймы, в створе № 5 при повышенных расходах воды (рис.1).

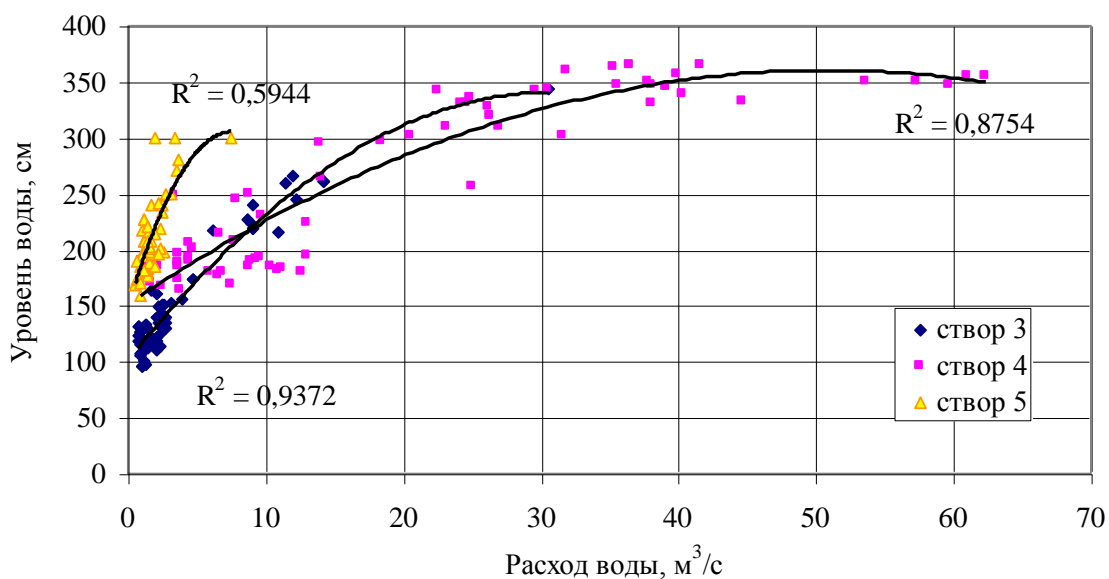


Рис.1. Взаимосвязь расходов и уровней воды на гидрологическом посту р.Норин-п.Славенщина

На гидрологическом посту р. Западный Буг – Каменка Бугская в 2001 г. перенесли створ наблюдений на 3 км ниже по течению, причиной переноса послужило увеличение глубины воды на участке поста. В результате многолетний ряд наблюдений оказался неоднородным, что хорошо прослеживается по графику изменения во времени глубины воды (рис.2), но практически не прослеживается на связи расходов и уровней по гидрологическому посту (рис.3).

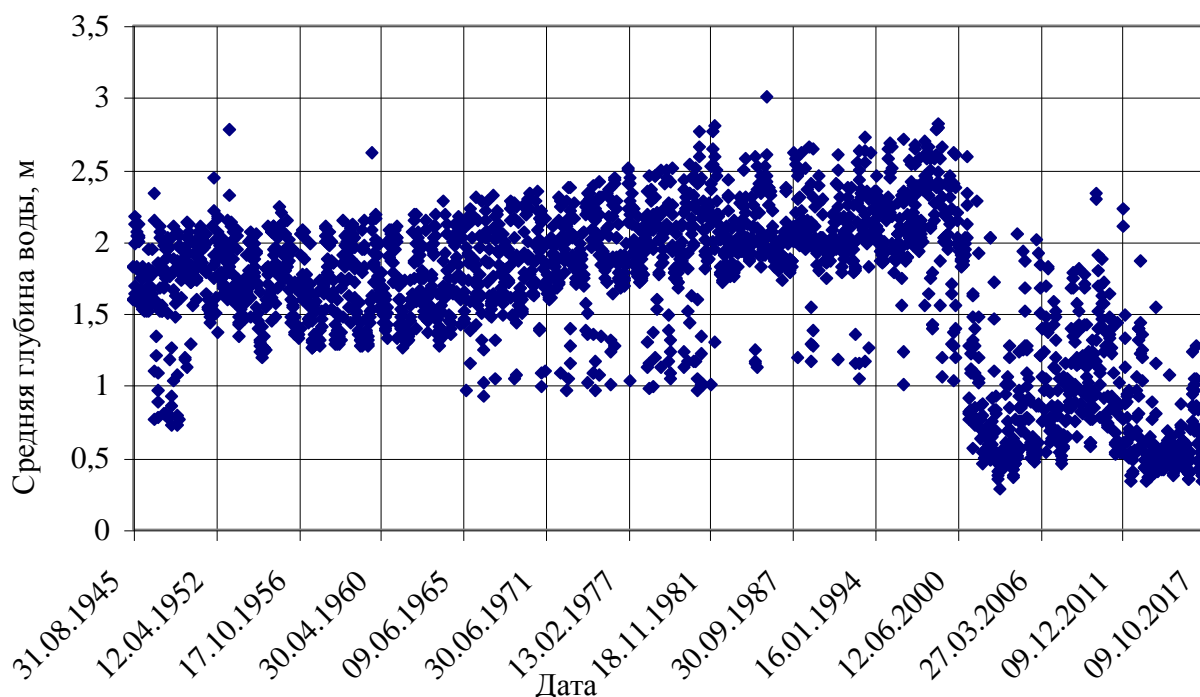


Рис.2. График изменения во времени глубины воды в р.Западный Буг – г.Каменка Бугская

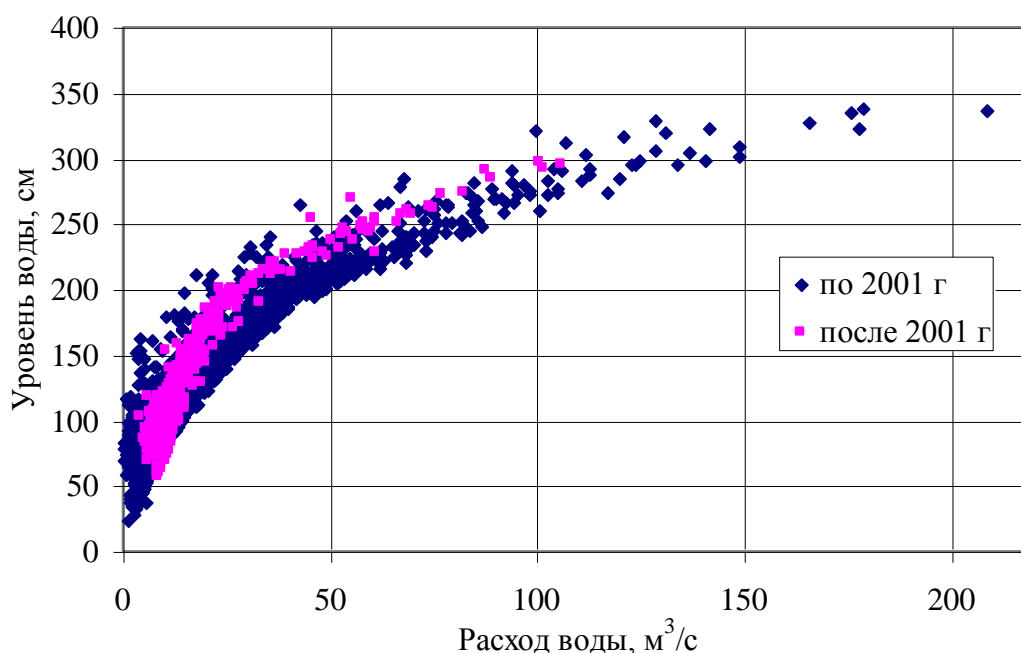


Рис.3. Взаимосвязь расходов и уровней воды по гидрологическому посту р.Западный Буг – г.Каменка Бугская

Выводы: для обеспечения однородности и непрерывности рядов наблюдений за стоком воды рекомендуется не переносить посты наблюдений без особо веских причин, а адаптировать территорию и оснащение поста под нужды наблюдений (подвесные мостики, люльки и т.п.).

### Библиографический список

1. Будник С.В. Особенности изменения мутности воды реки Норин // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях: мат. V Всерос. научной конференции с международным участием, объединенной с XXXIV пленарным совещанием Межвузовского научно-координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Москва, 2019. С. 126.
2. Гидрологический ежегодник. 1955. Том 2. Бассейны Черного и Азовского морей (без Кавказа). Вып.5. Бассейн р.Днепр ниже устья р.Десна. / Под ред. З.И.Кирпатовской. Л.: Гидрометидат, 1959. 216 с.
3. Государственный водный кадастр. Р.1. Поверхностный воды. Сер.2. Ежегодные данные. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1980. Ч.2. Озера и водохранилища. Т.2. Вып. 4,5 Бассейн Черного и Азовского морей (без Кавказа). Киев, 1982. 104 с.
4. Двинских С.А., Девяткова Т.П., Китаев А.Б., Тереханова Т.А. Динамика кривых расходов воды как индикатор русловых процессов // Географический вестник, 2012. №4(23). С. 30-40.
5. Справочник государственного гидрологического фонда СССР. Ч.3. Гидрология суши. Т.6. Ураина и Молдавия (Западная Украина и Молдавия,

правобережье притоки р.Припять, Среднее Поднепровье, Приазовье, Крым и бассейн р.Северского Донца). Выпуск 1. Киев, 1967. 280 с.

6. ТКП 17.10-25-2010 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорологическая деятельность. Государственный водный кадастр. Правила составления справочника «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод». Минск, 2010. 63 с.

7. *Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным.* С-Пб, 2010. 162 с.

8. ВМО-№ 168. Руководство по гидрологической практике. Том II. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. Женева. 2012. 324 с.

УДК 556.166.4:627.512

А.Л. Ветров<sup>1</sup>, А.А. Тиунов<sup>2,3</sup>, [vetrov@psu.ru](mailto:vetrov@psu.ru)

<sup>1</sup>*Пермский государственный национальный исследовательский университет*

<sup>2</sup>*Горный институт УрО РАН – филиал Пермского ФИЦ Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, Россия*

<sup>3</sup>*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Камский филиал, г. Пермь, Россия*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХ ПАВОДКОФОРМИРУЮЩИХ ЛИВНЕЙ УРАЛЬСКОГО ПРИКАМЬЯ**

Сильные ливни вызывают внезапные паводки на горных и предгорных реках Урала. Моделирование развития сильных осадков с помощью модели атмосферы WRF-ARW может позволить прогнозировать эти гидрологические явления. В работе изучены два случая сильного ливня (более 50 мм за 12 ч), вызвавшие паводки на водосборе Камского и Воткинского водохранилища в июне 2005 и 2012 гг. Предварительная оценка прогноза объема стока показала возможность применения WRF для этих целей.

*Ключевые слова:* водохранилище, паводок, ливни, WRF-ARW.

A. Vetrov<sup>1</sup>, A. Tiunov<sup>2,3</sup>, [vetrov@psu.ru](mailto:vetrov@psu.ru)

<sup>1</sup>*Perm State University, Perm, Russia*

<sup>2</sup>*Russian Academy of Sciences Ural Branch Institute of Mining, Perm, Russia*

<sup>3</sup>*Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Kama Branch, Perm, Russia*

## **NUMERICAL MODELING OF TWO CASES FLOOD HEAVY RAIN IN THE URAL KAMA REGION**

Heavy rain cause flash floods on the mountain and foothill rivers of the Urals. Modeling the development of heavy precipitation using the WRF-ARW atmospheric model can make it possible to

predict these hydrological phenomena. The paper studies two cases of heavy downpours (more than 50 mm in 12 hours) that caused floods in the catchment area of the Kama and Votkinsk reservoirs in June 2005 and 2012. A preliminary assessment of the runoff volume forecast showed the possibility of applying the WRF.

*Keywords:* reservoir, flood, heavy rain, WRF-ARW.

### ***Введение***

Сильный летний ливень – частое явление в Уральском Прикамье, с 1996 по 2018 г. наблюдательной сетью Росгидромета зафиксировано 270 случаев выпадения ливневых осадков с интенсивностью более 30 мм. Густая речная сеть притоков Камы – главной реки Урала, во многом обязана своим существованием регулярным ливневым и обложным осадкам теплого периода года. Несмотря на то, что весеннее снеговое питание рек этого региона преобладающее, случаи сильных летних паводков также наблюдаются и требуют детального изучения. Рост глобальной температуры на планете провоцирует рост общего влагосодержания атмосферы и, как следствие, увеличение числа случаев выпадения ливневых и обложных осадков высокой интенсивности [1].

В качестве примера можно привести случай сильного паводка в июне 1978г. На метеостанциях в городах Кизел, Кунгур, Пермь, Добрянка были зафиксированы осадки с суммой более 50 мм за 12 ч. В Перми за месяц выпало 141 мм, в том числе 13 июня – 58,2 мм. Это привело к резкому увеличению расходов воды в реках Уральского Прикамья. Были разрушены мосты, прорваны плотины на реках Юг, Бабка, Тюсь, Косьва, Пожва. На р. Кама на гидрологическом посту Бондюг максимальные паводочные расходы оказались выше весеннего максимума. Приточность воды в Камское водохранилище достигало в отдельные сутки почти 8 тыс. м<sup>3</sup>/с, что сопоставимо с приточностью во время весеннего половодья. Таким образом, изучение случаев выпадения сильных ливневых осадков представляет существенный интерес с точки зрения рационального и безопасного использования водных ресурсов для водохранилищ, особенно для Широковского водохранилища в ливнеопасной горной части Уральского Прикамья.

В представленном исследовании делается попытка на примере отдельных случаев воспроизвести метеорологические процессы над Уральским Прикамьем с помощью гидродинамической модели WRF-ARW и получить поля сумм осадков.

### ***Материалы и методы исследования***

Для моделирования полей осадков использовался программный комплекс WRF (версия 3.9.1.1) с динамическим ядром ARW, установленный на суперкомпьютере «ПГНИУ-Кеплер». Для получения начальных и граничных условий использовались данные реанализа NCEP-GFS и NCEP-CFS (США), представленные в коде GRIB-2. В ходе исследования было проанализировано два случая очень сильных осадков (22 июня 2005 г. и 23 июня 2012 г.). При этом использовалось негидростатическое приближение и прямое (без параметризации) моделирование конвекции. Счет модели проводился с продолжительностью 27 ч, начиная с 00 или 12 ч МСВ, в зависимости от

фактического времени наблюдения очень сильных осадков. Выходные данные счета модели формировались с шагом по времени 1 ч.

Качество моделирования осадков оценивалось по данным в узлах регулярной сетки WRF путем сравнения с наблюдениями на метеостанциях. Для площади водосбора определялось общее количество осадков и производилось сопоставление с измеренными на гидрологических постах максимальными уровнями воды.

### ***Анализ результатов***

Первый из исследуемых случаев формирования ливневого паводка произошел 23 июня 2005 г. на р. Усьва. Наблюдательной сетью Росгидромета сильные ливневые осадки были зафиксированы в западной части Уральского Прикамья. Величина осадков и результаты модельного расчета приведены в таблице.

Таблица

**Сравнение результатов моделирования WRF-ARW суммы осадков (мм) за 12 ч с данными наблюдений 22 июня 2005 г. 03 ч МСВ**

<i>№ n/n</i>	<i>Метеостанция</i>	<i>Факт</i>	<i>Прогноз</i>
1	Чайковский	55,8	14,5
2	Ножовка	33,2	50,1
3	Оханск	30,0	14,1
4	Пермь	47,0	18,3

Причиной сильных дождей, по всей территории Пермского края был окклюдированный южный циклон. Фронт окклюзии располагался почти зонально и медленно смещался на восток. На рисунке 1 представлено положение зон осадков. Хорошо видно, что зона сильных осадков находится над водосборами Воткинского, Камского и Широковского водохранилищ. В пределах водосбора р. Усьва моделируется более 15 мм осадков за 12 ч. Ни одна из метеорологических станций поблизости от водосбора не зафиксировала такие значения осадков. Этот факт свидетельствует, что использование данных наблюдений на метеостанциях может дать неверную информацию о развитии паводкоопасной ситуации. Результатом выпадения ливневых осадков стало увеличение расхода воды р. Усьва в поселке Усьва с 44,4 м<sup>3</sup>/с до 267,0 м<sup>3</sup>/с. Считая, что среднее количество осадков по водосбору составило 24,6 мм, можно оценить объем воды поступивший в водоток и сравнить с объемом воды, прошедшим через створ гидрологического поста за период развития паводка. Результаты свидетельствуют, что без применения сложных гидрологических моделей достигаются приемлемые результаты точности такой оценки. Для водосбора р. Усьва (площадь водосбора 2170 км<sup>2</sup>) общее количество выпавших осадков составило 53,3·10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>, паводочный объем составил 54,9·10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>. Разность между этими двумя значениями (1,5·10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>) можно рассматривать и как ошибку предложенного грубого оценочного метода, и как расходы на инфильтрацию и



испарение. В целом, этот пример показывает принципиальную применимость предложенного подхода прогноза паводков для территории Уральского Прикамья.

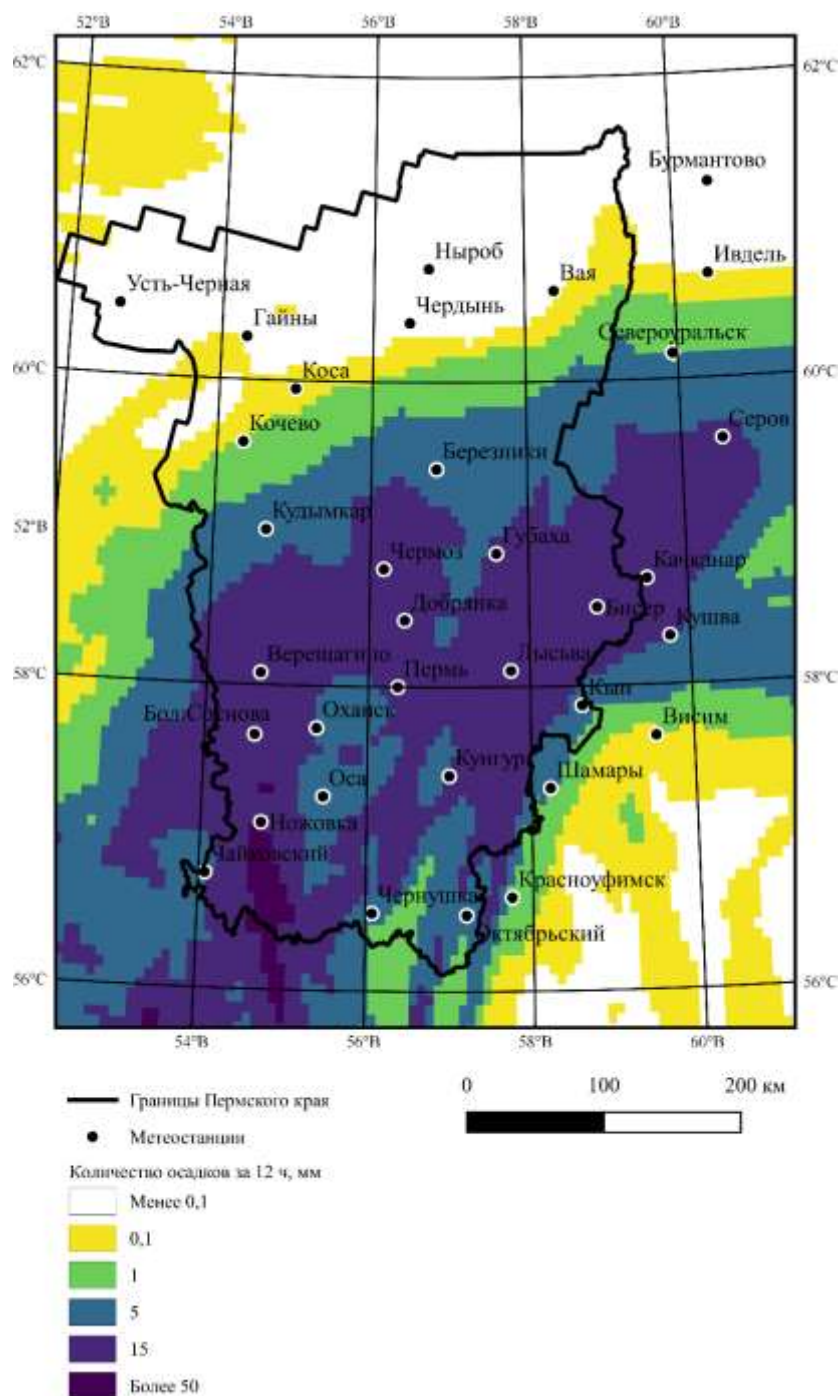


Рис. 1. Прогностическое поле осадков по WRF-ARW 22 июня 2005 г. 3 ч МСВ (мм/12 ч)

Второй случай произошел 24 июня 2012 г. на той же р. Усьва. За сутки до паводка (23 июня) погодные условия над западной частью Уральского Прикамья определялись малоподвижным фронтом ориентированным вдоль меридиана. На рисунке 2 представлена ситуация, когда зона осадков приближается к водосбору р. Усьва. В Оханске было измерено 58,4 мм осадков (модельный прогноз 16,8 мм). В данном случае региональная модель демонстрирует низкое значение доли ложных тревог.



В следующие 12 ч произойдет смещение фронтальной зоны на восток, и метеостанция г. Губаха зафиксирует 30,5 мм осадков, а расходы воды увеличатся с  $111 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $332 \text{ м}^3/\text{с}$ .

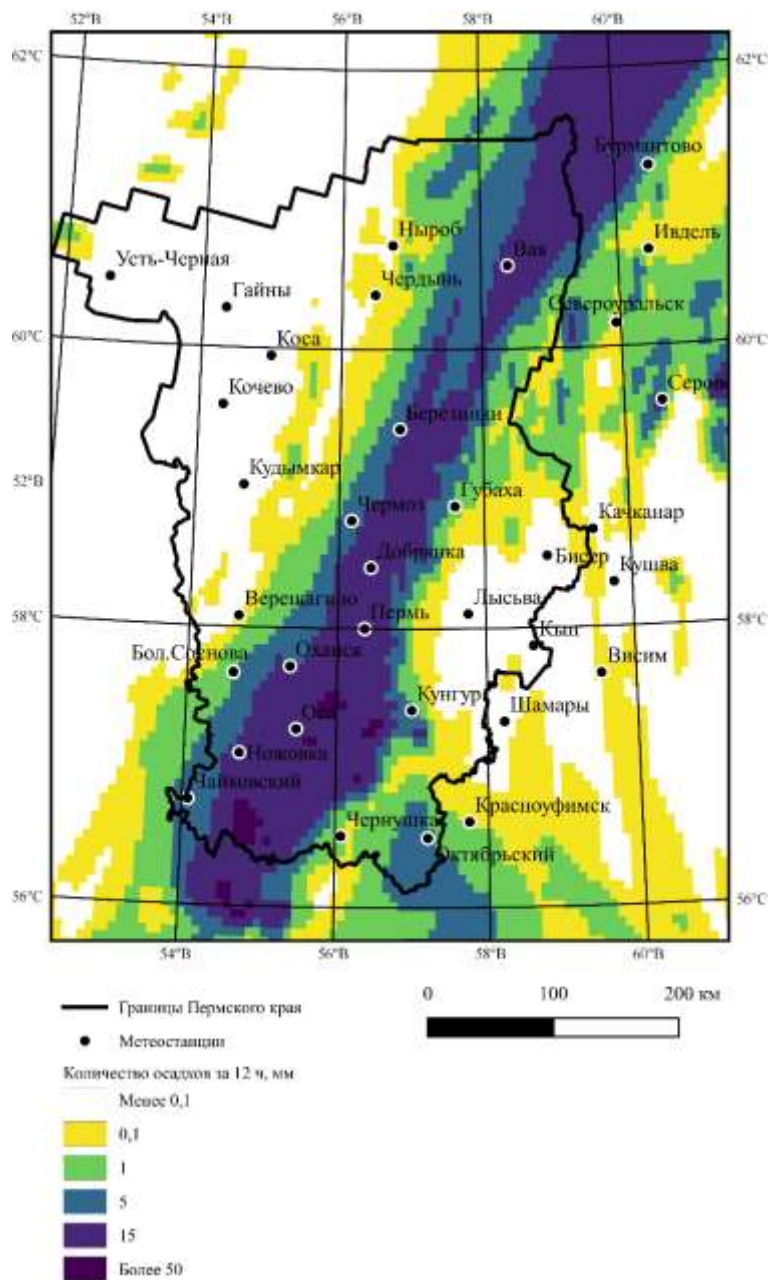


Рис. 2. Прогностическое поле осадков по WRF-ARW 23 июня 2012 г. 3 ч МСВ (мм/12 ч)

### Выводы

В работе изучены два случая ливневого паводка на р. Усьва в водосборе Камского водохранилища. Установлено, что региональная модель WRF-ARW адекватно воспроизводит как пространственную структуру осадков, так и их количественные значения. В работе высказано предложение по использованию WRF-ARW для получения прогностических данных об осадках в гидрологических моделях паводочного стока. Предварительные оценки использования этих данных для одного случая 22 июня 2005 г. показали обнадеживающие результаты. Использование передовых двумерных

комбинированных гидрологических моделей на гибких сетках может дать существенный прирост надежности и точности прогноза паводков [2]. В следующих исследованиях планируется объединить эти модели и провести комплексную оценку точности прогноза.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-45-596031 р\_НОЦ\_Пермский край).*

### **Библиографический список**

1. Костарев С.В., Ветров А.Л., Тиунов В.Е., Быков А.В. Синоптическая типизация случаев сильных дождей в Пермском крае // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №3(46). С. 56–64. doi 10.17072/2079-7877-2018-3-56-64

2. Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г. Наводнения в Иркутской области 2019 года. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 6. с. 48-65. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-6-4

УДК 910.3

И.И. Гайнуллин<sup>1</sup>, Б.М. Усманов<sup>2</sup>, [gainullis@gmail.com](mailto:gainullis@gmail.com)

<sup>1</sup>Университет Иннополис, г. Иннополис, Россия,

<sup>2</sup>Казанский Федеральный Университет, г. Казань, Россия

## **ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ БЕРЕГОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, КАК ФАКТОР РАЗРУШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ**

Представлены результаты многолетних исследований, проведенные в прибрежной зоне Куйбышевского водохранилища (левобережья р. Кама), в месте расположения Измерского комплекса разновременных памятников археологии, Республика Татарстан. Проведена оценка скорости переформирования береговой линии, выявлены наиболее динамичные участки. В работе использованы архивные аэрофотоснимки, космоснимки высокого разрешения и результаты полевых исследований.

*Ключевые слова:* Куйбышевское водохранилище, переработка берегов, объекты археологического наследия, мультидисциплинарные исследования.

I. Gainullin<sup>1</sup>, B. Usmanov<sup>2</sup>, [gainullis@gmail.com](mailto:gainullis@gmail.com)

<sup>1</sup>Innopolis University, Innopolis, Russia,

<sup>2</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia

## **KUIBYSHEV RESERVOIR SHORE TRANSFORMATION AS A FACTOR OF ARCHAEOLOGICAL HERITAGE OBJECTS DESTRUCTION**

The article presents the results of long-term research carried out in the shoreline zone of the Kuibyshev reservoir (left bank of the Kama river), at the location of the Izmer's complex of multitemporal archeological sites, territory the Republic of Tatarstan. The assessment of the shoreline transformation has been carried out, the most dynamic areas have been identified. In the work, we used archival aerial images, high-resolution satellite images and results of field surveys.

*Keywords:* Kuibyshev reservoir, coastal processing, objects of archaeological heritage, multidisciplinary research.

### ***Введение***

Куйбышевское водохранилище, крупнейшее в системе Волго-Камского каскада, возникло в 1957 г. в результате завершения строительства Жигулевской ГЭС. Водохранилище охватывает территорию Чувашской, Татарской республик, Ульяновской и Самарской областей. Водохранилище имеет площадь 6450 км<sup>2</sup>, объем воды 58 км<sup>3</sup>, длину около 510 км, среднюю глубину 9,3 м [4].

Создание водохранилища принципиально изменило весь ландшафтный облик днища долины Средней Волги. Под водой оказались пойма Камы и низкие надпойменные террасы ниже ее устья, вследствие чего при организации водохранилища и его эксплуатации было разрушено и затоплено значительное количество объектов историко-культурного назначения, включая археологическое наследие [1].

Еще со времен палеолита большие реки и их плодородные равнины притягивали людей, поскольку вода, несомненно, является самым важным ресурсом, и решающим фактором при размещении поселений. Всего вокруг Куйбышевского водохранилища выявлено 1289 объектов культурного наследия. Многие из них были утрачены или находятся под угрозой уничтожения [3].

В этих условиях мы предполагаем оценивать интенсивность разрушения археологических памятников, приуроченных к разрушающейся береговой линии, применяя методику изучения экзодинамических процессов в зоне воздействия крупных равнинных водохранилищ, с использованием анализа архивной аэрофотосъемки, данных ДЗЗ из космоса и результатов полевых исследований.

Для изучения был выбран комплекс памятников близ с. Измери, в Спасском муниципальном районе Республики Татарстан, включающий разновременные объекты от стоянок палеолита до средних веков, включая ныне разрушенное городище "Девичий городок".

### ***Материалы и методы исследования***

Для оценки интенсивности переформирования берега использовались разные источники информации.

Организация оценки включает в себя следующие этапы:

- 1) выбор приоритетных участков, наиболее подверженных разрушению;
- 2) сбор информации (литературные, картографические источники, архивные данные, архивные аэро- и космоснимки и т. д.);
- 3) полевой этап, основной задачей которого являются топосъемка местности и береговой линии. В 2012, 2013 и 2014 гг. съемка проводилась при помощи тахеометра Trimble M3, в 2015 г. – с использованием ГНСС-приемника

Trimble Geoplotter Geo XR. Начиная с 2017 года полевые исследования включают съемку квадрокоптером DJI Phantom 4;

4) камеральная обработка (построение тематических карт), дешифрирование разновременных снимков (береговая линия, экзогенные процессы) с целью выявления опасности разрушения памятников;

5) включение данных в ГИС, обеспечивающую работу с полученными данными по памятникам археологии Республики Татарстан.

Одной из приоритетных задач, которую можно решить с помощью рассматриваемых методов, представляется оценка интенсивности разрушения памятников археологии вследствие переработки берегов Куйбышевского водохранилища. Основной мерой опасности переработки является ее разрушительная сила, которую достаточно полно характеризует интенсивность процесса, установленная в виде среднесуточных линейных, площадных или объемных скоростей берегоэрозии за единицу времени (м/год, га/год, м<sup>3</sup>/м·год и т.п.) с учетом общей пораженности ими береговой линии [2].

Для количественной оценки трансформации берегов использовался расширение-модуль ArcGIS – цифровая система анализа береговой линии (DSAS) [5].

### ***Анализ результатов***

1. Палеолитическая стоянка "Беганчик" расположена на останце террасы, превращающемся при высоком уровне воды в остров, на левом берегу слияния рр. Камы и Волги, в устье реки Актай. Высота над уровнем моря составляет 54-60 м. Северная часть стоянки является очень крутым обрывом (высотой 5-7 м), который постоянно разрушается. Предыдущие предварительные исследования показали, что скорость смещения береговой линии составляет около 2–3 м/год. Полевые исследования проводились авторами в 2017 г.

В результате анализа архивной аэрофотосъемки 1958-1980 гг. и космосъемки последующих лет, было выявлено, что северная часть стоянки не подвергалась активной эрозии в период 1958-2014 гг., так как участок был защищен от воздействия волн островом, располагавшимся в 60-90 м к северо-западу от стоянки. Этим обусловлены относительно низкие значения (1,5-1,9 м/год) отступления береговой линии. После исчезновения этого острова скорость ежегодной эрозии значительно увеличилась. Исследования показали, что максимальных значений отступление береговой линии достигло в период 2014-2017 гг. – 5,68 м/год. Значения переработки берегов на данном участке в настоящее время могут характеризоваться как чрезвычайно опасные.

В отличие от северного берега, западный берег находился под прямым воздействием течения реки Кама, так что удельные потери земель на этом участке чрезвычайно высоки. По удельному показателю потерь земель можно отметить, что максимальные разрушения произошли в период с 1958 по 2008 г., когда примерно 70% восточной части участка было размывто, после чего процесс эрозии стабилизировался. Это связано с тем, что часть силы течения реки была перераспределена по северо-западному участку, что объясняет резкое

уменьшение скорости берегоразрушения. Отступление береговой линии в целом сейчас стабилизировалось, варьируется в пределах 2 м/год. Таким образом, этот участок можно отнести к умеренно-опасной категории.

2. Комплекс Измерских памятников археологии (селищ и могильников) расположен на левом берегу Куйбышевского водохранилища, в 1,5 км к северо-западу от с. Измери. Ранее здесь также находился уникальный памятник, относящийся к Булгарской культуре (X-XIII вв.), городище "Девичий городок". В результате заполнения Куйбышевского водохранилища к 1980 г. памятник был полностью разрушен.

Комплексные исследования береговой линии у с. Измери с целью получения оперативных данных о современном состоянии памятников археологии в зонах интенсивных берегоформирующих процессов ведутся авторами с 2012 г.

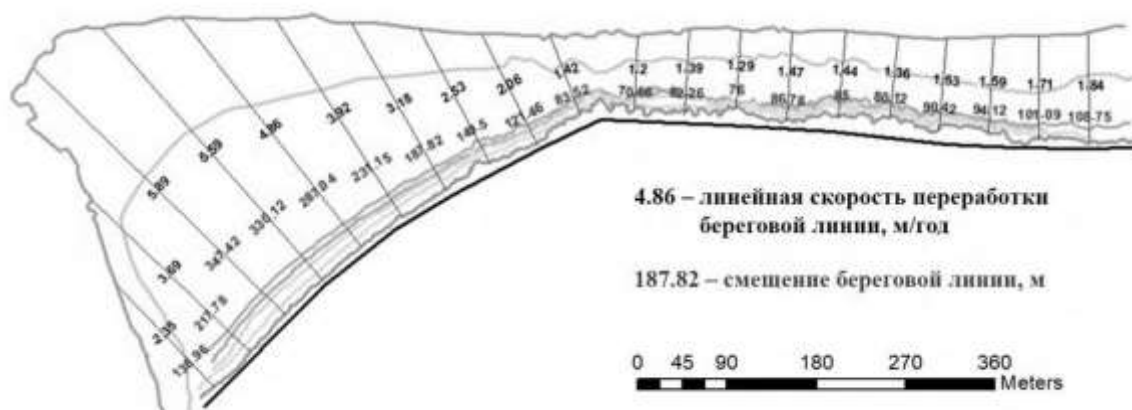


Рис. 1. Карта-схема смещения береговой линии на участке "Девичий городок"

Длина наблюдательного участка в районе разрушенного городища "Девичий городок" и селища "Девичий городок I" – 600 м. Береговой уступ на изучаемом участке абразионно-обвального типа, сложен толщей лессовидных суглинков глыбистой структуры, с многочисленными вертикальными трещинами, возникающими в процессе набухания и усадки суглинков. Берег сильно изрезан, имеет характерный клифовый уступ крутизной до 90° и высотой до 7–9 м.

Для количественной оценки смещения береговой линии в районе Измерского комплекса памятников использовалась цифровая система анализа береговой линии (DSAS) как расширение-модуль программного обеспечения ArcGIS. Основное применение DSAS заключается в использовании полилинейных слоев в качестве представления конкретного объекта береговой линии в определенный момент времени. На основе сопоставления позиций береговой линии составляется ряд статистических показателей ее изменений: изменение положения береговой линии (NSM), огибающие изменения береговой линии (SCE), скорость конечной точки (EPR), скорость линейной регрессии (LRR) и взвешенная скорость линейной регрессии (WLR).

Данный модуль эффективен для упрощения анализа изменения положения береговой линии. Для проведения исследований по данным с модуля DSAS были построены карты-схемы смещения береговой линии на участке месторасположения городища "Девичий городок" и Измерских селищ и могильников по 3 периодам: в 1 периоде 22 года (1958-1980 гг.), во 2 – 32 года (1980-2012 гг.), а в 3 – 5 лет (2012-2017 гг.). Линейные скорости в мысовой части в каждом периоде в среднем остаются постоянно высокими, а в береговой части исследуемого участка они увеличиваются с каждым периодом. За весь период исследования максимальные значения переработки наблюдаются в мысовой части (рис. 1) – смещение береговой линии 347,42 м, а средняя скорость – 5,9 м/год, минимальные между мысовой частью и береговой – смещение 70,66 м, а скорость – 1,2 м/год.

### **Выводы**

Исследование является продолжением работы авторов по мониторингу состояния находящихся под угрозой исчезновения объектов культурного наследия, расположенных на береговой линии Куйбышевского водохранилища. Объединение архивных данных с результатами, собранными в результате полевых исследований, позволяет с высокой точностью определять скорости разрушения территории археологических памятников, расположенных на берегах крупных водоемов.

Для мониторинга состояния памятников, расположенных в зоне влияния Куйбышевского водохранилища, целесообразно использовать программы для автоматических расчетов данных для быстрого и эффективного обновления информации о состоянии объектов культурного наследия и информирования заинтересованных органов. Проводимые исследования могут стать частью программы по оценке рисков разрушения объектов культурного наследия при поддержке государственных органов охраны памятников и разработанной системе управления культурным наследием.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-09-40114 Древности. Страна городов"– комплексное изучение городищ Волжской Булгарии современными методами.*

### **Библиографический список**

1. Гайнуллин И.И., Дёмина Ю.В., Усманов Б.М. Опыт применения ГИС-технологий для оценки интенсивности разрушения археологических памятников в зоне влияния Куйбышевского водохранилища // Краткие сообщения Института археологии. М., 2012. Вып. 226. С. 54-63
2. Рагозин А.Л., Бурова В.Н. Региональный анализ абразионной опасности и риска на морях и водохранилищах России // Современные проблемы изучения берегов. 1995. С. 45–46.
3. Nicu I.C., Usmanov B., Gainullin I. and Galimova M.. Shoreline Dynamics and Evaluation of Cultural Heritage Sites on the Shores of Large Reservoirs: Kuibyshev Reservoir, Russian Federation // Water. 2019. Vol. 11, P. 591.

4. *Usmanov B., Nicu I.C., Gainullin I. and Khomyakov P.* Monitoring and assessing the destruction of archaeological sites from Kuibyshev reservoir coastline, Tatarstan Republic, Russian Federation. A case study // *Journal of Coastal Conservation*. 2018. Vol. 22, P. 417–429

5. *Oyedotun T.D.T.* Shoreline Geometry: DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis // *British Society for Geomorphology. Geomorphological Techniques*. 2014. Chap. 3, Sec. 2.2.

УДК 910.3

А.М. Гафуров, О.П. Ермолаев, Б.М. Усманов, [gafurov.kfu@gmail.com](mailto:gafurov.kfu@gmail.com)  
*Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия*

### **ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА БЕРЕГАХ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ**

Целью работы являлось обследование и проведение мониторинга опасных экзогеодинамических процессов береговой полосы Куйбышевского водохранилища. В качестве основного метода использовались полевые инструментальные исследования, включающие топогеодезическую съемку характерных морфологических элементов склона с установкой грунтовых реперов, видео- и фотодокументация процессов. С 2019 г. в качестве основного метода исследования выбрана съемка беспилотным летательным аппаратом. Приведены результаты многолетних исследований участка у г. Тетюши, Республика Татарстан. В результате обработки ситуационных планов 2003-2006 гг. и результатов съемки с беспилотного летательного аппарата в 2019 г. получены количественные данные об интенсивности склоновых процессов в месте схода крупного оползня.

*Ключевые слова:* Куйбышевское водохранилище, оползни, БПЛА, инструментальные методы.

A. Gafurov, O. Yermolaev, B. Usmanov, [gafurov.kfu@gmail.com](mailto:gafurov.kfu@gmail.com)  
*Kazan Federal University, Kazan, Russia*

### **ASSESSMENT OF LANDSLIDE PROCESSES ON THE KUYBYSHEV RESERVOIR BANKS USING INSTRUMENTAL METHODS**

The aim of the work was to survey and monitor dangerous exogeodynamic processes on the Kuibyshev reservoir bank. Field instrumental studies including topographic survey of specific morphological elements of the slope with ground control points, video and photo records of the processes were used as the main method. Since 2019, unmanned aerial vehicle surveys have been chosen as the main method of research. The paper presents the results of long-term studies of the site near Tetyushi, Republic of Tatarstan. As a result of 2003-2006 situational plans processing and results of UAV survey in 2019 we obtained quantitative data on the intensity of slope processes in the mass landslide site.

*Keywords:* Kuibyshev Reservoir, landslides, UAV, instrumental methods.

## ***Введение***

Создание водохранилищ приводит к принципиальной перестройке природных систем. Изменяется водный сток и режим реки, сток взвешенных наносов, создается особенный микроклимат, трансформируются береговые ландшафты. На порядки увеличиваются скорости береговых экзогенных процессов. На акватории водохранилища в связи с увеличением площади водного зеркала резко усиливаются абразионные и оползневые процессы. Часто именно этот комплекс рельефообразующих процессов (вместе с эрозионными и гравитационными) применительно к водохранилищам называют процессом переработки берегов. Из всех перерабатываемых берегов водохранилищ России приблизительно 78% разрушаются по абразионному типу, а остальные 22% – по абразионно-оползневому, абразионно-карстовому и другим типам [2]. При разрушении берегов в водохранилище поступает большое количество наносов. Это приводит к быстрому его заилению, уменьшению глубин и ухудшению экологического состояния водоема.

Объектом исследования является Куйбышевское водохранилище – одно из крупнейших водохранилищ мира. Исследования акцентированы на абразионно-оползневых процессах как самых значительных по площади проявления и интенсивности в переработке берегов. Развитие абразионных и оползневых склоновых процессов вблизи населенных пунктов часто приводит к чрезвычайным ситуациям, связанным с угрозой разрушения зданий, сооружений и коммуникаций, нарушению и изъятию из землепользования сельскохозяйственных и прочих земель. В связи с этим, необходима разработка эффективных методов мониторинга этих опасных экзогенных процессов.

В настоящее время существует большой набор методов для регистрации и оценки интенсивности экзогенных процессов. Одним из наиболее широко используемых и известных методов мониторинга оползневых процессов является наземная съемка с помощью тахеометров. Использование постоянных реперов, на основе которых осуществляется позиционирование базовой станции, позволяет осуществлять измерения динамики оползневого процесса с миллиметровой точностью. Преимуществом данного метода съемки является высокая точность, недостатком – съемка занимает много времени, следовательно, можно снять ограниченное количество точек, расположенных в доступных местах.

Ни один из классических методов не дает исчерпывающей информации по количественной характеристике и механизму опасных процессов на склонах. Наиболее эффективными для изучения оползневых процессов представляются методы, обеспечивающие моделирование рельефа труднодоступных оползневых участков, и возможность проводить повторную съемку за счет точной привязки разновременных данных.

Среди всех современных методов мониторинга экзогенных процессов стремительно развиваются методы с использованием беспилотных летательных аппаратов. Возможность получения трехмерной (3D) информации о местности с высокой точностью и высоким пространственным разрешением открывает



новые горизонты исследования оползневых процессов [3]. Использование современных ГНСС-приемников для регистрации наземных марок и новых ГНСС-коптеров позволяет достигать погрешности привязки, не превышающей 3-5 мм по высоте, чего более чем достаточно для задач построения рельефа интенсивно перерабатываемых берегов.

В статье показаны результаты оценки интенсивности абразионных и оползневых процессов на участке правого берега Куйбышевского водохранилища у пристани г. Тетюши (Республика Татарстан). В XI–XIV вв. Тетюши были одним из городов Волжской Булгарии [1], а затем Булгарского улуса Золотой Орды, археологические остатки которого расположены в черте современного города. Возникновение городища именно на этом мысу было связано и с наличием поблизости источника воды.

Город находится в понижении между двумя массивами среднего плато правобережья Волги. Это понижение связано с плиоценовой долиной одного из верховий реки Улема (правого притока Свияги), срезанной волжским склоном в процессе его отступления на запад. Волжский склон у Тетюш достигает высоты 90 м с крутыми (до 25–30°) склонами. Такие высоты, расчлененные оврагами, имеют гористый характер, что отражается и в местных названиях (Тетюшские горы).

Главная геологическая достопримечательность Тетюш – развитие в толще верхнего отдела пермской системы резко выраженных линейных складок, которые давно исследуются, а их происхождение обсуждается учеными многие десятилетия. Крутизна волжского склона обусловила здесь и интенсивное развитие склоновых гравитационных процессов оползней, а также обвалов и осыпей. Особо распространены оползни разного типа, создающие угрозу отдельным сооружениям в прибрежной части городской застройки. В 2002 г. здесь сошел крупный оползень (рис. 1), что и обусловило интерес к изучению данного склона.

### ***Материалы и методы исследования***

Для оценки интенсивности абразионно-оползневых процессов на берегах водохранилища использовались разнообразные источники информации и методы наблюдения. В качестве основного метода изучения переформирования берега выбран анализ смещения бровки оползневого уступа. В 2002, 2003, 2005 и 2006 гг. проводилась топографическая съемка в условной системе координат. Для обеспечения повторности съемки с помощью тахеометров была создана сеть опорных точек-реперов, на основе которой производилось позиционирование. Координаты опорных точек фиксировались с помощью тахеометра Trimble M3, что обеспечивало высокую точность привязки результатов повторной съемки.



Рис. 1. Наблюдательный участок в 2006 г. (слева) и 2009 г. (справа)

С 2019 г. для съемки участка используется беспилотный летательный аппарат (БПЛА) DJI Phantom 4. Съемка осуществлялась с использованием наземных опорных точек, полученных с помощью ГНСС-приемника Emlid Reach RS+, работающего в режиме кинематики реального времени от базовой станции, расположенной на расстоянии не более 20 км.

Для количественной оценки смещения береговой линии использовалась цифровая система анализа береговой линии (DSAS) как расширение-модуль программного обеспечения ArcGIS. На основе сопоставления позиций береговой линии составляется ряд статистических показателей ее изменений: изменение положения береговой линии (NSM), огибающие изменения береговой линии (SCE), скорость конечной точки (EPR), скорость линейной регрессии (LRR) и взвешенная скорость линейной регрессии (WLR) [4]. Данный модуль эффективен для упрощения анализа изменения положения береговой линии [5]. Была создана база геоданных в программе ArcGIS, в которую были внесены линии бровки. В качестве базовой линии была взята линия бровки стенки срыва оползня 2003 г., на основе которой были выбраны следующие параметры построения трансект-разрезов: расстояние между трансектами – 1 м, радиус поиска – 300 м. По полученным трансектам в автоматическом режиме были рассчитаны показатели линейной скорости переработки (м/год).

### ***Анализ результатов***

В связи с большой крутизной исследуемого склона и глинисто-мергельным составом отложений здесь наблюдается активное проявление широкого спектра экзогенных геодинамических процессов (ЭГП) (рис. 1). По обнаженным крутым уступам берегов происходят осыпание и обваливание грунта. Однако доминирует сложный комплекс оползневых процессов. У подножия склона наблюдается большое тело старого оползня и язык оползня произошедшего в 2002 г. Анализ совмещенной топосхемы с ситуацией на 2003, 2005 и 2006 гг.

показал, что по сравнению с периодом 2003-2005 гг., когда берег на протяжении 30 м "отступил" на расстояние от 1 до 6 м, за период 2005-2006 гг. бровка отступила на незначительное расстояние – 0,5-1 м. Средняя скорость отступления берега на участке около пристани г. Тетюши за время ведения мониторинга методом топографической съемки составляет от 0,5 до 2 м/год. Скорости изъятия земель на участке Тетюши – пристань снижаются с 1798 м<sup>2</sup> в год схода оползня, до 100 м<sup>2</sup>/год в период с 2003-2005 гг., и, наконец, 40 м<sup>2</sup> за 2006 год.

В результате совмещения ортофотоплана, полученного с помощью БПЛА в 2019 г., с наблюдениями 2003-2006 гг. (рис.2А) была создана геобазы данных положения верхней бровки стенки срыва оползня, на основе которых были рассчитаны изменения скорости обрушения стенки срыва оползня (рис.2Б). Сопоставление разновременных срезов показало тенденцию к замедлению средних скоростей отступления стенки срыва – например, с 2003 по 2005 гг. средняя скорость отступления равнялась 0,98 м/год, к 2006 г. снизилась до 0,75 м/год и еще больше снизилась до 0,48 м/год к 2019 г.

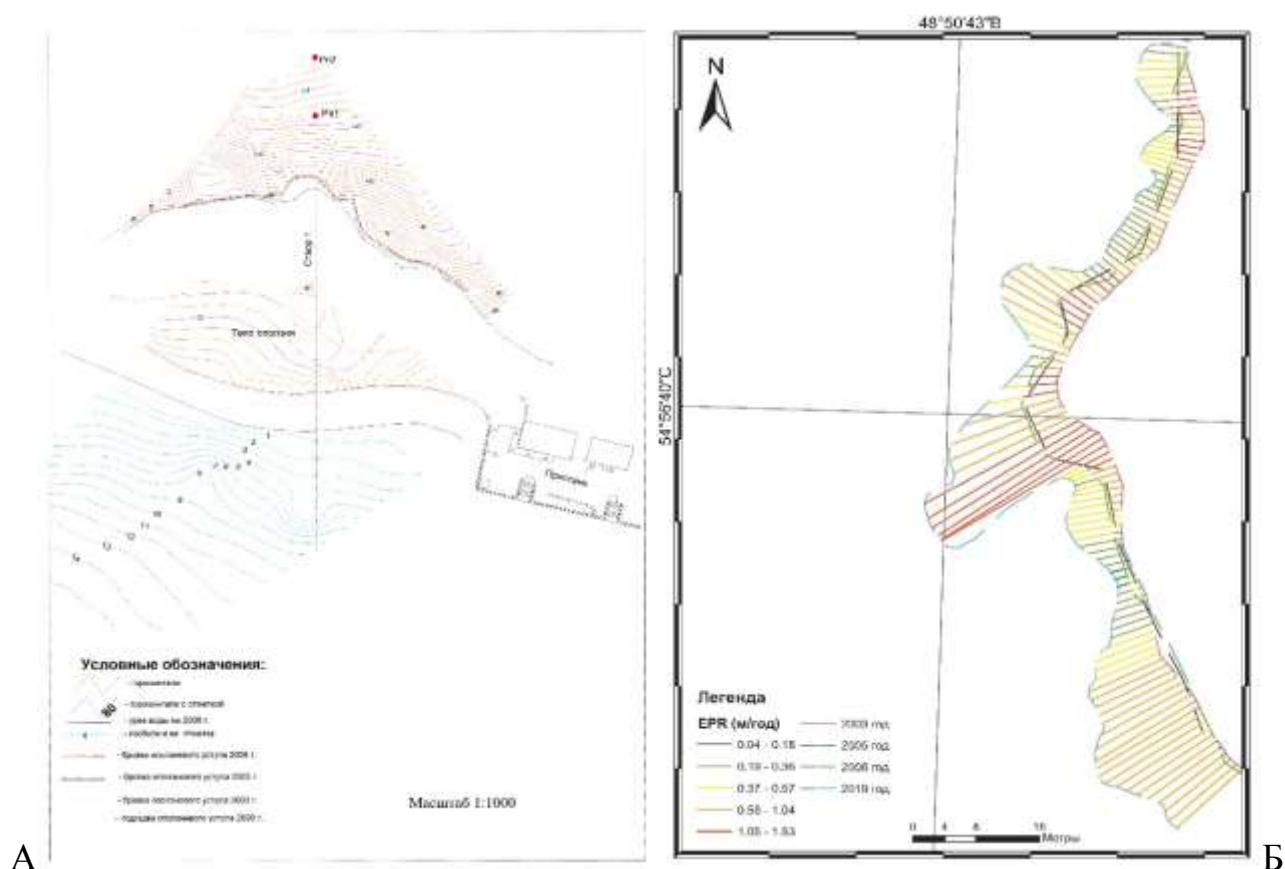


Рис.2. Результаты тахеометрической съемки в период 2003-2006 гг. (А) и измерения скорости отступления бровки оползня в 2005, 2006 и 2019 гг. (Б)

Со стороны водохранилища тело старого оползня размывается под действием волн, вследствие чего грунтовые массы смещаются вниз по абразионному уступу высотой 3-4 м. Крутизна уступа 40-80°. По полученным полевым данным, бровка уступа сместилась в сторону водохранилища в результате подмыва тела оползня. Продукты разрушения волновыми процессами

транспортируются в водохранилище и, аккумулируясь, образуют прибрежную отмель.

### **Выводы**

Проведенные исследования показали, что пространственная динамика границ стенки срыва оползневого тела на исследуемом участке имеет устойчивый тренд к уменьшению скорости отступления, начавшийся в период 2002-2006 гг., связанный с постепенным выравниванием профиля склона после сошедшего в 2002 г. крупного оползня и относительной стабилизацией склоновых процессов. Тем не менее, новые наблюдения показали, что склон все еще не стабилизировался, сохраняя потенциал к разрушению.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-09-40114 Древности. «Страна городов» – комплексное изучение городищ Волжской Булгарии современными методами.*

### **Библиографический список**

1. *Иванов М. А.* и др. Использование архивных пространственных данных при анализе истории землепользования территории болгарских городищ Предволжья Республики Татарстан // Региональные Геосистемы. 2020. Т. 44. № 4. С. 388–403.
2. *Руденко К.А.* Тетюшское II городище в Татарстане. Казань: Изд-во «Заман», 2010. 152 с.
3. *Gafurov A.M.* Small catchments DEM creation using Unmanned Aerial Vehicles // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2018. Т. 107. № 1. С. 012005.
4. *Himmelstoss E.A.* и др. Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Version, 2018.
5. *Oyedotun T.D.* T. Shoreline geometry: DSAS as a tool for Historical Trend Analysis. // Geomorphol. Tech. Online Ed. 2014.

УДК 556.53

О.В. Горелиц<sup>1</sup>, Г.С. Ермакова<sup>1</sup>, В.Н.Крыжов<sup>2</sup> [gorelits@mail.ru](mailto:gorelits@mail.ru)

<sup>1</sup>Государственный океанографический институт им.Н.Н. Зубова, г. Москва

<sup>2</sup>Росгидромет, г. Москва, Россия

## **АНОМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПРИТОКА К ВОДОХРАНИЛИЩАМ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2019-2020 ГГ.**

Рассмотрены особенности режима приточности к водохранилищам Волжско-Камского каскада в осенне-зимний период 2019-2020 гг. На основе анализа многолетних характеристик за весь период эксплуатации каскада дана оценка аномального превышения притока в октябре-марте 2019-2020 гг. Показана связь аномалий осенне-зимнего притока к каскаду с осенней и

зимней циркуляцией, в особенности фазой зимней Арктической осцилляции, на фоне положительного тренда температуры воздуха.

*Ключевые слова:* Волжско-Камский каскад водохранилищ, водосбор, приточность, осадки, температура воздуха, Арктическая осцилляция.

O.V. Gorelits<sup>1</sup>, G.S. Ermakova<sup>1</sup>, V.N. Kryjov<sup>2</sup> [gorelits@mail.ru](mailto:gorelits@mail.ru)

<sup>1</sup>*N.N. Zubov's State Oceanographic Institute, Moscow, Russia,*

<sup>2</sup>*Roshydromet, Moscow, Russia*

## **ANOMALOUS CONDITIONS OF THE INFLOW TO RESERVOIRS OF THE VOLGA-KAMA CASCADE IN THE AUTUMN-WINTER 2019-2020**

The peculiarities of the inflow regime to the reservoirs of the Volga-Kama cascade in the autumn-winter 2019/20 are considered. Based on the analysis of long-term characteristics for the entire period of operation of the cascade, an assessment of the anomalous excess of inflow in October-March 2019/20 was given. The relationship between the autumn-winter inflow to the cascade and the autumn and winter circulation, particularly the phase of the wintertime Arctic oscillation on the background of a positive air temperature trend is shown.

*Keywords:* Volga-Kama cascade of the reservoirs, watershed, inflow, precipitation, air temperature, Arctic oscillation.

### ***Введение***

Волжско-Камский каскад (ВКК) – крупнейшая природно-геотехническая система – включает 12 водохранилищ, расположенных на южном склоне Восточно-Европейской равнины, суммарная площадь водосбора составляет 1360 тыс.км<sup>2</sup>. Исследования [1;3;4;8] показали, что на большей части бассейна Волги с конца 1970-х гг. наблюдается значимое увеличение зимнего стока, зафиксировано статистически значимое увеличение его межгодовой изменчивости. Эти изменения водного режима происходят в условиях значительного увеличения осадков и повышения температур в холодный период года и увеличения числа зимних оттепелей [3;8].

На фоне общего повышения зимнего меженного стока с 1978 г. по сравнению с 1946-1977 гг. [2;3;9], выдающимся стал осенне-зимний период 2019-2020 гг. Сложившиеся метеорологические условия обусловили экстремальный суммарный приток к водохранилищам ВКК за период *октябрь-март* – 134 км<sup>3</sup>, значительно превысивший предыдущий максимум 1990-1991 гг. – 118 км<sup>3</sup> (рис.1).



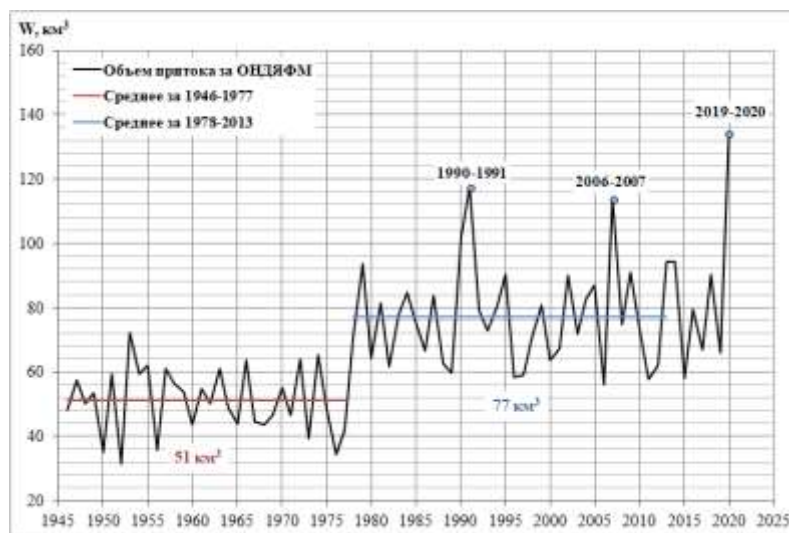


Рис. 1. Суммарный приток к ВКК за *октябрь-март* (ОНДЯФМ)

Зима 2019-2020 гг. была первой за рассматриваемый период, когда на всем ее протяжении устойчивый снежный покров не устанавливался на большей части бассейна. Это была зима экстремальной положительной фазы Арктической осцилляции (АО). Связанное с положительной фазой АО существенное усиление адвекции теплого и влажного воздуха с акватории Северной Атлантики вызвало значительные положительные аномалии температуры на всей территории водосбора ВКК и осадков в его центральной и северной частях [6; 7].

### ***Материалы и методы***

В работе использованы данные ГГИ о среднемесячных значениях бокового притока к водохранилищам ВКК, обобщенные за периоды 1946-1977 гг. и 1978-2013 гг. [2; 9]. Характеристика экстремальной приточности *октября-марта* 2019-2020 гг. к водохранилищам ВКК дана в сравнении с осредненными значениями базового периода повышенной водности 1978-2013 гг. [2; 4; 9].

Оценка приточности к ВКК в 2019-2020 гг. проведена с использованием данных [5]. Для подтверждения правомерности использования этих данных выполнен сравнительный анализ за период 2001-2013 гг., который представлен в обоих источниках [2; 5]. Сравнение значений месячных объемов притока ко всем водохранилищам ВКК, показало, что в среднем различие значений, представленных в [2; 5], составляет 10-15%. Причем наибольшее расхождение (до 20%) зафиксировано для водохранилищ, боковая приточность к которым имеет наименьшую долю в суммарном притоке к ВКК – это Угличское, Воткинское, Волгоградское водохранилища (рис.2). Для водосборов водохранилищ, где формируется основной объем притока к каскаду (Чебоксарское, Камское, Нижнекамское, Куйбышевское), расхождение не превышает 6-8%, что является допустимым для целей данной работы. Как будет показано ниже, аномалия приточности в 2019-2020 гг. в сравнении со среднегодовыми значениями базового периода 1978-2013 гг. составляет для разных водохранилищ ВКК 50-250%.

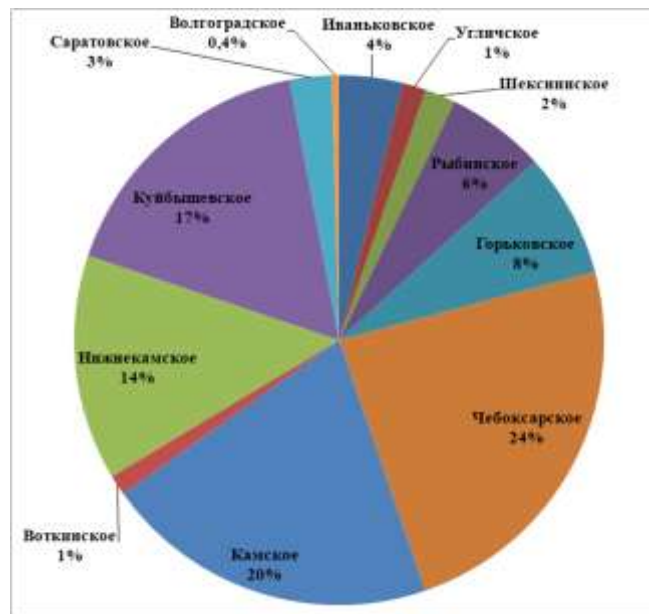


Рис. 2. Боковой приток к водохранилищам в долях от суммарного притока к ВКК (%)

В работе проанализированы аномалии осадков и температуры зимы 2019-2020 гг., представленные как отклонения от сорокалетних средних месячных значений, рассчитанных по зимам 1979/80-2018/19. Средние месячные суммы осадков взяты из базы данных GPCP [10], средние месячные значения температуры воздуха – из Reanalysis-2 [12]. Индекс АО взят в версии NOAA Climate Prediction Center (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov>) за 1950-2020 гг. [6; 7].

### **Анализ результатов**

В 2019-2020 гг. повышенный суммарный приток к ВКК наблюдался в течение всей летне-осенней и зимней межени, причем максимальное превышение зафиксировано в *октябре-марте*.

По данным [2; 9] определены годы с положительными аномалиями притока к ВКК в меженный период, анализ которых позволил сформировать две группы лет, различающиеся по срокам наступления аномалий притока в течение одного гидрологического года. В первую группу включены годы с положительными аномалиями осенней приточности, во вторую группу – зимней, примеры – 1990-1991 гг. (осень) и 2006-2007 гг. (зима) – показаны на рисунке 3.

До настоящего времени характерной закономерностью для лет с положительными аномалиями притока к ВКК в меженный период являлся повышенный приток либо в осенний, либо в зимний период одного гидрологического года. За осенней меженью с повышенным притоком обычно следует зимняя межень с пониженным или средним притоком, и наоборот – повышенному притоку зимой предшествует средний или низкий приток осенью. Нарушение именно этой закономерности впервые привело в 2019-2020 гг. к формированию абсолютного максимума притока к ВКК в *октябре-марте* (рис.3).

Анализ аномалий приточности в 2019-2020 гг. по месяцам в сравнении со среднемноголетними значениями для водохранилищ, на водосборах которых формируется основной приток к ВКК (рис.2), показал, что абсолютный

максимум меженного притока был сформирован в условиях продолжительного повышенного осенне-зимнего притока к водохранилищам, водосборы которых расположены в северной части бассейна (рис.3).

Наибольшие аномалии – до 250 % от базового периода – зафиксированы для водохранилищ Верхней Волги и Верхней Камы, а также для Куйбышевского водохранилища, основной приток к которому формируется в бассейне р.Вятка. В то же время приточность к Чебоксарскому и Нижнекамскому водохранилищам, суммарная доля которых в общем притоке за базовый период достигает 38% в 4-ом квартале и 45% в 1-ом квартале, в 2019/20 гг. составила лишь 24% и 30% соответственно. Отмечены также отрицательные аномалии притока в первом полугодии 2019 г. ко всем водохранилищам ВКК (рис.3).

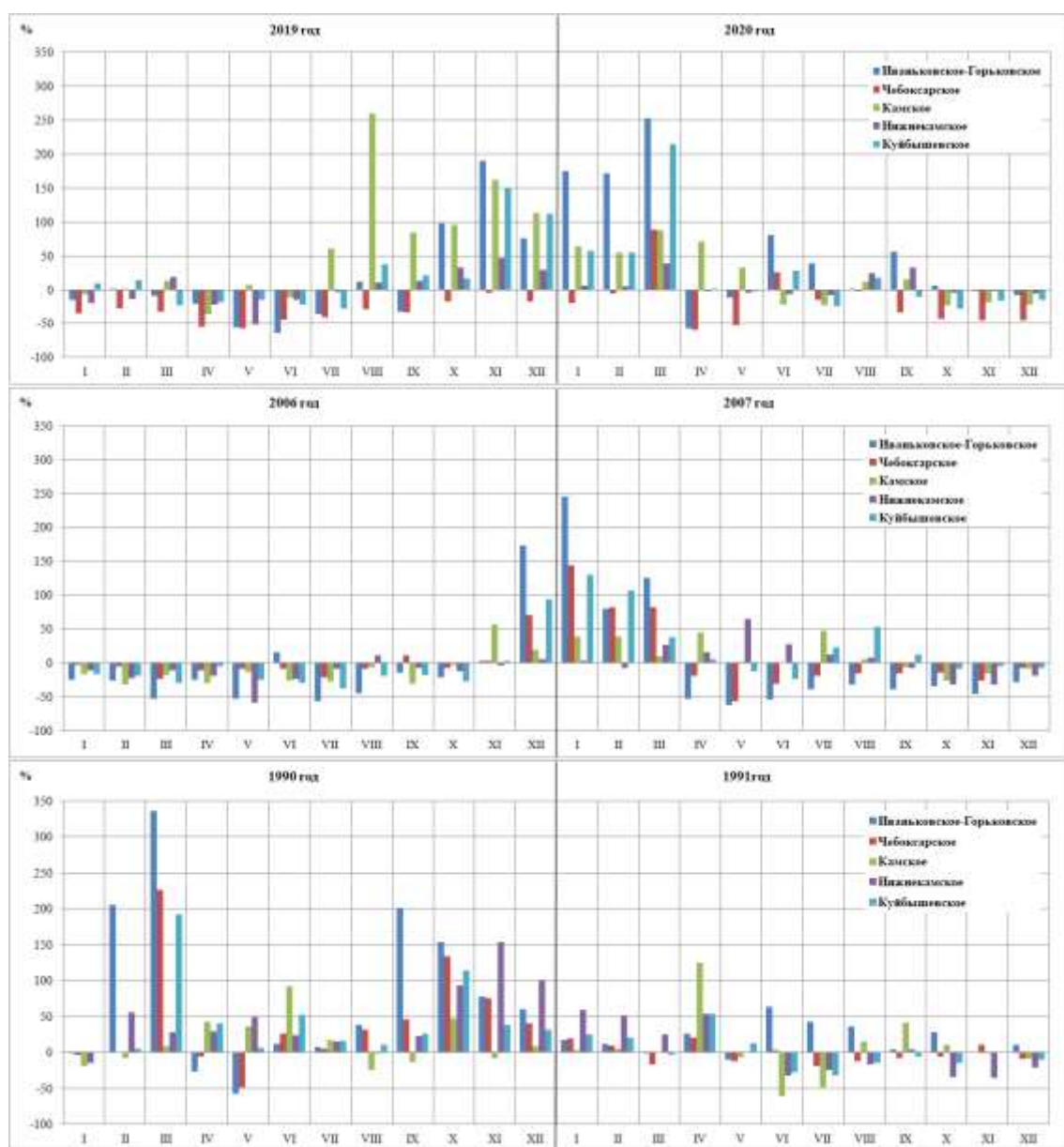


Рис.3. Аномалии приточности к водохранилищам ВКК в характерные годы в сравнении со среднемноголетними значениями базового периода (в %)



Осенью 2019 г. экстремальный приток к ВКК был вызван аномальными осадками в северной части бассейна и положительными аномалиями температуры, связанными с повышенной циклонической активностью над ЕТР и ноябрьским блокингом над Уралом.

Зимой 2019-2020 г. наблюдалось сочетание преобладания зональной циркуляции, регионального повышения температуры и отсутствия устойчивого снежного покрова. Анализ зимних аномалий осадков и температуры свидетельствует о значимом усилении адвекции теплого и влажного воздуха с акватории Северной Атлантики, связанном с экстремально положительной фазой АО. Усиление осадков на фоне околонулевых температур, не способствующих установлению устойчивого снежного покрова, обусловило экстремальный зимний приток к водохранилищам северной части бассейна ВКК. В то же время в центральной и южной частях бассейна существенных отклонений от средних значений не произошло.

### **Выводы**

В соответствии с результатами моделирования изменений климата [11] продолжается общее повышение глобальной температуры, связанное, главным образом, с повышением концентрации парниковых газов. На этом фоне при положительной фазе АО стоит ожидать более частых теплых и влажных зим на ЕТР. Следствием этого будет увеличение объема зимнего притока к ВКК и смещение на более ранние сроки начала и максимума весеннего притока.

В этих условиях все более актуальными являются предложения по корректировке Правил использования водных ресурсов водохранилищ, которые были неоднократно сформулированы ведущими учеными и специалистами в последнее десятилетие [1;3;8].

### **Библиографический список**

1. Болгов М.В., Филиппова И.А., Осипова Н.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д. Современные особенности гидрологического режима рек бассейна Волги // В сб.: Вопросы географии. Русское географическое общество. М.: Издательский дом «Кодекс», 2018. С. 206-218.
2. Георгиевский В.Ю., Алексеев Л.П., Литова Т.Э., Дубровская К.А., Задонская О.В., Фуксова Т.В. Приток воды в водохранилища крупнейших ГЭС РФ за различные интервалы времени. Свидетельство об официальной регистрации базы данных № RU 2016621140 от 22.08.2016.
3. Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Грек Е.Н., Лобанова А.Г. Пространственно-временные изменения характеристик экстремального стока рек бассейна Волги. // Метеорология и гидрология. 2018. № 10. С. 8-16.
4. Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. Гидрологический режим и водные ресурсы. / В кн.: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. С 53-85.
5. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России – <http://gis.vodinfo.ru/>

6. Крыжов В.Н., Горелиц О.В. Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки в Северной Евразии в XXв. // Метеорология и Гидрология. 2015. №11. С.5-19.

7. Крыжов В.Н. Климатические экстремумы зимы 2019/20 г. в Северной Евразии: вклады климатического тренда и межгодовой изменчивости, связанной с арктической осцилляцией. // Метеорология и гидрология. 2021. № 2. С.5-16.

8. Лавров С.А., Калюжный И.Л. Влияние климатических изменений на сток весеннего половодья и факторы его формирования в бассейне Волги. // Водное хозяйство России. 2016. № 6. С. 42-60.

9. Научно-прикладной справочник: Многолетние характеристики притока воды в крупнейшие водохранилища РФ / Коллектив авторов под редакцией Георгиевского В.Ю. М.: ООО «РПЦ Офорт», 2017. 132 с.

10. Adler R. F., Huffman G. J., Chang A., Ferraro R., Xie P., Janowiak J., Rudolf B., Schneider U., Curtis S., Bolvin D., Gruber A., Susskind J., and Arkin P. The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–present). J. Hydrometeorol., 2003, vol. 4, pp. 1147-1167.

11. IPCC Fifth Assessment Report. Climate Change 2013: The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2013, 2216 p.

12. Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J. J., Fiorino M., and Potter G. L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). Bull. Amer. Meteorol. Soc., 2002, vol. 83, pp. 1631-1643.

УДК 556

Н.И. Горошкова<sup>1</sup>, М.С. Дрегваль<sup>2</sup>, А.В. Сикан<sup>2</sup>  
[msdregval@mail.ru](mailto:msdregval@mail.ru)

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

## **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ НАВИГАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА РЕКЕ ЛЕНЕ И ЕЕ ПРИТОКАХ**

Оценивается влияние изменений климата на сроки и продолжительность навигации на р.Лене и ее крупных притоках. Показано, что наибольшие изменения наблюдаются в центральной части Ленского бассейна – на участке от устья р.и Олёкмы до устья р.Алдан.

*Ключевые слова:* изменение климата, температура воздуха, навигационный период, ледовые явления.

N. Goroshkova<sup>1</sup>, M. Dregval<sup>2</sup>, A. Sikan<sup>2</sup>,  
[msdregval@mail.ru](mailto:msdregval@mail.ru)

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

## CLIMATE CHANGE EFFECTS ON THE DURATION OF THE NAVIGATION PERIOD ON THE RIVER LENA AND ITS TRIBUTARIES

The impact of climate change on the time schedule and duration of navigation on the Lena river and its large tributaries is estimated. It is shown that the greatest changes are observed in the central part of the Lena basin - in the area from the mouth of the Olekma River to the mouth of the Aldan River.

*Keywords:* climate change, air temperature, navigation period, ice phenomena.

### **Введение**

Река Лена является главной транспортной артерией Якутии, связывающей её районы с федеральной транспортной инфраструктурой. По р.Лене производится основная часть «северного завоза». Поэтому продолжительность навигации на ней – одна из важнейших характеристик, определяющих возможности социально-экономического развития этого региона [3].

В работе анализируются сроки так называемой «физической навигации». В соответствии с ГОСТ 26775-97 [1]: «*период физической навигации* – интервал времени от начала очищения водного пути ото льда до начала устойчивого ледообразования». В такой трактовке средняя продолжительность периода физической навигации можно выразить формулой:

$$N_{\text{фн}} = N_{\text{бл}} - N_{\text{влх}} - N_{\text{олх}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{бл}}$  – средняя продолжительность безледоставного периода;  $N_{\text{влх}}$  – средняя продолжительность весеннего ледохода;  $N_{\text{олх}}$  – средняя продолжительность осеннего ледохода (шугохода).

Как показал анализ, изменение климата не оказало существенного влияния на среднюю продолжительность весеннего и осеннего ледохода, поэтому при выполнении расчетов рассматривались только даты начала и окончания ледостава.

### **Материалы и методы исследования**

Для анализа климатических изменений в бассейне р. Лены использованы данные 7 метеорологических станций (МС) и 7 гидрологических постов, расположенных в верхнем, среднем и нижнем течении реки. Схема их расположения показана на рисунке 1.



Рис.1. Схема расположения метеорологических станций и гидрологических постов в бассейне реки Лены

### **Анализ результатов**

Для каждой МС были построены хронологические графики среднегодовых и среднемесячных температур воздуха  $T_i = f(t)$ , рассчитаны коэффициенты корреляции ( $R$ ) и выполнена оценка значимости линейных трендов. Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась, если выполнялось условие:

$$\frac{R}{\sigma_R} < t_{2\alpha}, \quad (2)$$

где  $T_i$  – среднегодовая или среднемесячная температура воздуха в  $i$ -том году;  $t$  – время;  $t_{2\alpha}$  – нормированная ордината распределения Стьюдента при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$ ;  $\sigma_R$  – стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}. \quad (3)$$

где  $n$  – длина ряда.

Результаты расчетов представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, на всех МС выявлены значимые тренды на повышение температуры воздуха в весенне-летний период (с марта по июль). При этом наибольшие приращения наблюдаются в апреле-мае. На рис.2 в качестве примера показаны значения коэффициентов корреляции зависимостей  $T_i = f(t)$  для МС Вилюск и Усть-Мая.

Таблица 1

**Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах среднегодовых и среднемесячных температур воздуха в бассейне р.Лены**

№	Метеорологическая станция	Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	Тикси	–	–	–	–	–	⊕	–	–	–	–	–	–	⊕
2	Жиганск	⊕	–	⊕	⊕	⊕	⊕	–	–	–	–	–	–	⊕
3	Вилуйск	⊕	–	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	–	–	–	–	–	⊕
4	Якутск	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	–	–	–	⊕	⊕
5	Усть-Мая	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	–	–	–	–	–	⊕
6	Ленск	–	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	–	–	–	–	–	–	⊕
7	Витим	–	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	–	⊕	–	–	⊕	–	⊕
Условные обозначения: ⊕ – тренд значим; «–» – тренд не значим.														

Для выявления даты нарушения стационарности рядов строились суммарные кривые  $S = f(t)$  и разностные интегральные кривые  $Z = f(t)$ ;  $S_i$  и  $Z_i$  для каждого ряда определялись по формулам:

$$S_i = \frac{\sum(T_i - T_{min})}{\sigma_T}, \quad (4)$$

$$Z_i = \frac{\sum(T_i - \bar{T})}{\sigma_T} \quad (5)$$

где  $T_{min}$  – минимальное значение температуры воздуха;  $\bar{T}$  – среднее значение;  $\sigma_T$  – стандартная ошибка температуры воздуха.

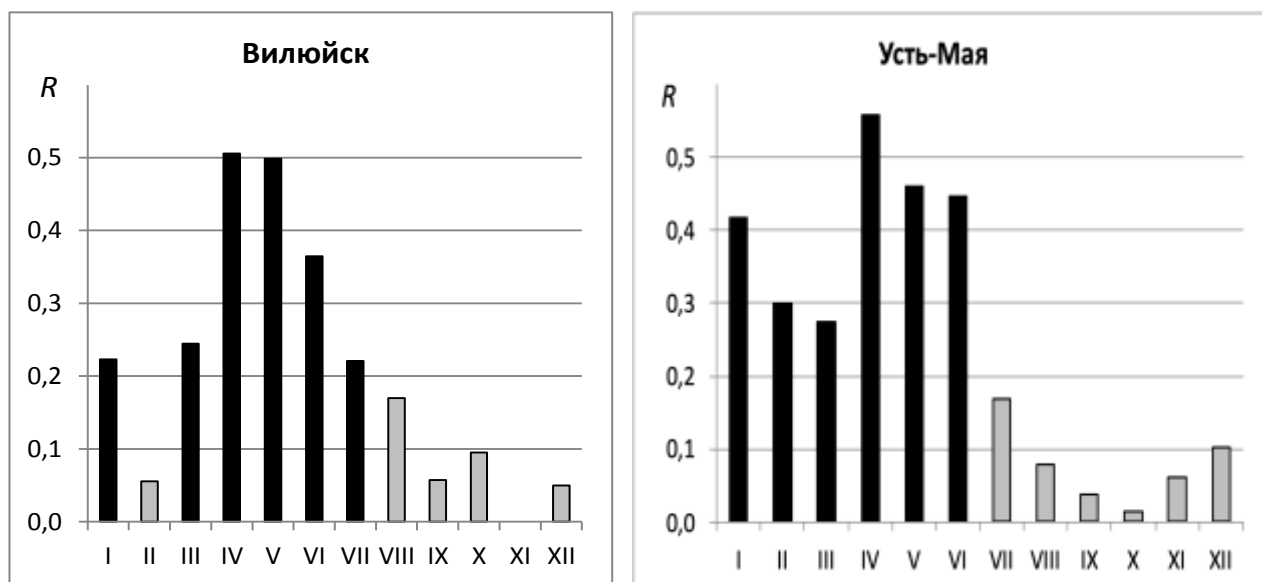


Рис.2. Значения коэффициентов корреляции зависимостей  $T_i = f(t)$  для метеорологических станций Вилуйск и Усть-Мая (темным цветом выделены значимые коэффициенты корреляции)

На рисунке 3 в качестве примера показаны зависимости  $S = f(t)$  и  $Z = f(t)$  за апрель для метеостанции Вилуйск.

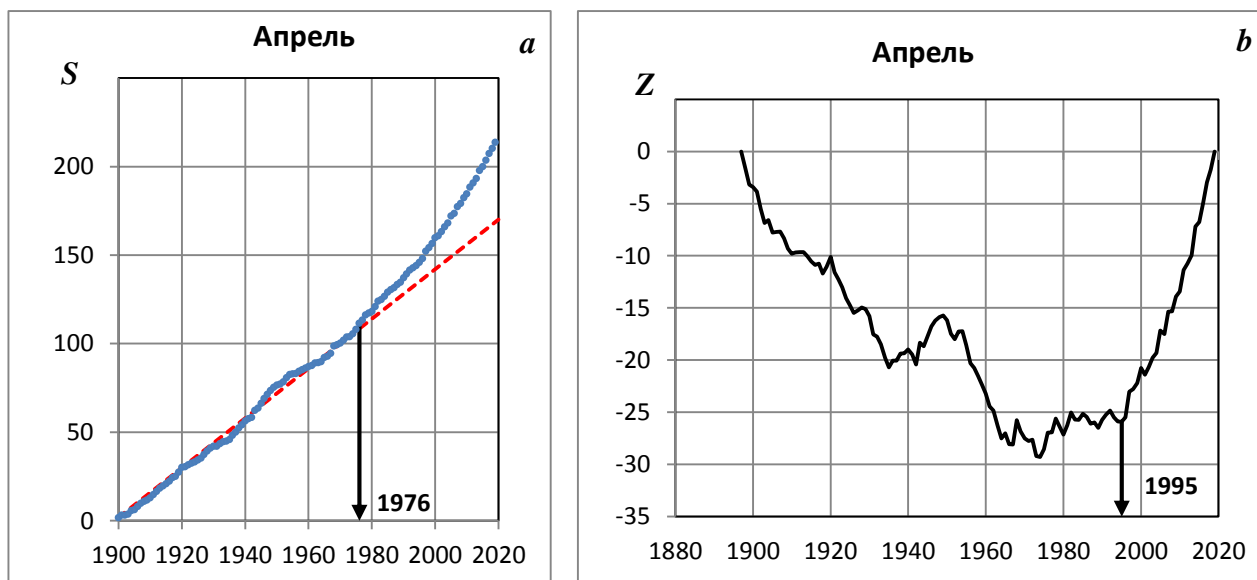


Рис. 3. Суммарная (а) и разностная интегральная (b) кривые среднемесячных температур воздуха за апрель по метеорологической станции Вилуйск

На всех станциях заметное потепление в весенние месяцы прослеживается с середины 70-х гг. XX века и продолжается до настоящего времени (рис.3а). При этом наиболее интенсивный рост температуры начался в середине 90-х годов (рис.3b). Проверка показала, что на интервале с 1900 по 1975 гг. ряды среднемесячных и среднегодовых температур воздуха являются стационарными, а на интервале с 1976 г. по настоящее время в рядах годовых и весенне-летних температур содержат значимый тренд на повышение (рис.4).

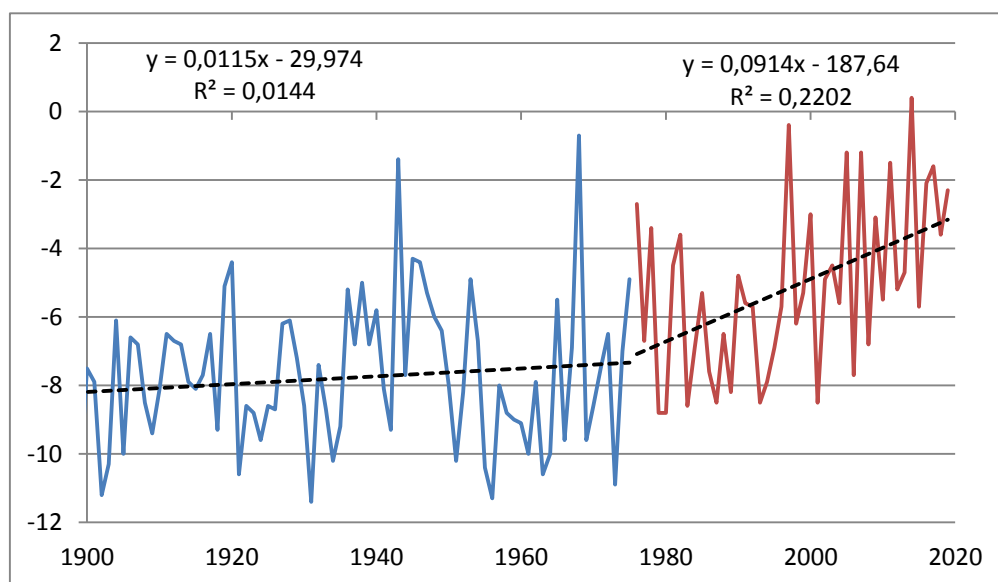


Рис.4. Хронологический график среднемесячных температур воздуха за апрель по метеорологической станции Вилуйск

Наибольшая интенсивность тренда наблюдается в апреле – в среднем  $0,74^{\circ}\text{C}$  за 10 лет (табл.2).

Таблица 2

**Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах  
среднемесячных температур воздуха за апрель в период с 1975 по 2019 г.**

№	Метеорологическая станция	$n$	$R^2$	$R$	$\sigma_R$	$R/\sigma_R$	$t_{2\alpha}$	Интенсивность тренда, °С за 10 лет
1	Тикси	45	0,1067	0,33	0,144	2,27	2,02	1,00
2	Жиганск	45	0,1958	0,44	0,137	3,24	2,02	0,89
3	Вилуйск	45	0,2027	0,45	0,136	3,31	2,02	0,84
4	Якутск	45	0,2374	0,49	0,133	3,66	2,02	0,82
5	Усть-Мая	45	0,1165	0,34	0,143	2,38	2,02	0,62
6	Ленск	45	0,0594	0,24	0,148	1,65	2,02	0,39
7	Витим	45	0,1223	0,35	0,143	2,45	2,02	0,60
	Среднее		0,15	0,38	0,14	2,71	2,02	0,74

Климатические изменения привели к сдвигу сроков начала и окончания ледостава и как следствие – к изменению продолжительности периода навигации на постах, расположенных в среднем течении р.Лены (табл.4). На этих постах за период с 1975 по 2016 г. наблюдается значимый положительный тренд в рядах продолжительности безледоставного периода. При этом точка перелома на суммарных кривых приходится на середину 90-х гг. XX в., когда начался интенсивный рост температуры воздуха. Средняя продолжительность безледоставного периода за 1995-2016 гг. увеличилась по сравнению с предшествующим периодом на 5-10 дней, что совпадает с ранее выполненными исследованиями [2]. В тоже время на постах, расположенных в верхнем и нижнем течении р.Лены продолжительность безледоставного периода не изменилась. Таким образом, зона изменений охватывает территорию Ленского бассейна от устья р.Олёкмы до устья р.Алдан.

Таблица 3

**Результаты оценки значимости линейных трендов в рядах  
продолжительности безледоставного периода на гидрологических постах в  
бассейне реки Лены за период с 1975 по 2016 г.**

№	Река – створ	$R$	$\sigma_R$	$R/\sigma_R$	$t_{2\alpha}$	Значимость тренда
1	Лена-Джарджан	0,14	0,157	0,87	2,02	–
2	Лена - Жиганск	0,25	0,153	1,65	2,02	–
3	Лена - Якутск	0,47	0,140	3,33	2,02	⊕
4	Лена - Олекминск	0,51	0,136	3,71	2,02	⊕
5	Алдан - Охотский перевоз	0,43	0,143	3,03	2,02	⊕
6	Олекма-Куду-Кель	0,33	0,149	2,19	2,02	⊕
7	Лена-Пеледуй	0,00	0,158	0,00	2,02	–
Условные обозначения: ⊕ тренд значим; «–» тренд не значим.						

В таблице 4 даны значения продолжительности физической навигации, осредненные за период с 1995 по 2016 г. Расчет выполнен с использованием формулы (1).

Таблица 4

**Средняя продолжительность физической навигации в бассейне реки Лены  
по данным за 1995-2016 гг. (суток)**

№	Река – створ	$N_{\text{бл}}$	$N_{\text{влх}}$	$N_{\text{олх}}$	Продолжительность физической навигации, $N_{\text{фн}}$
1	Лена-Джарджан	118	9	18	91
2	Лена - Жиганск	129	6	19	104
3	Лена - Якутск	171	8	15	148
4	Лена - Олекминск	186	9	23	154
5	Алдан - Охотский перевоз	173	8	12	153
6	Олекма-Куду-Кель	172	7	9	156
7	Лена-Пеледуй	148	10	27	111

### **Выводы**

В результате проведенных исследований установлено, что на всей территории Ленского бассейна наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха. Наиболее интенсивный рост температуры начался с середины 90-х гг. в XX в. и продолжается по настоящее время.

Повышение среднегодовой температуры воздуха привело к увеличению сроков физической навигации в центральной части бассейна реки Лены, но пока не оказало заметного влияния на эти сроки для верхней и нижней части рассматриваемой территории.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, № FSZU-2020-0009 «Исследование физических, химических и биологических процессов в атмосфере и гидросфере в условиях изменения климата и антропогенных воздействий».*

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 26775-97. Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования. Москва. 1998. 22 с.
2. Лобанов В.А., Горошкова Н.И. Характеристики ледового режима рек республики Саха (Якутия) и их климатические изменения // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 55. Научно-теоретический журнал. СПб: РГГМУ, 2019. с. 86-98.
3. О стратегии развития Якутского транспортно-логистического узла Республики Саха (Якутия) до 2032 года. Распоряжение правительства республики Саха (Якутия) от 28 декабря 2020 года N 1250-р.



Е.В. Давыденко, А.В. Сикан, [davydenko091@gmail.com](mailto:davydenko091@gmail.com)  
*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

На примере Северо-Западного региона РФ рассматривается методика расчета максимальных уровней воды неизученных озер, основанная на обобщении всей имеющейся информации по режиму озер исследуемого района. Даны рекомендации по расчету параметров распределения максимальных уровней неизученных озер Северо-Запада РФ и южной части Кольского полуострова.

*Ключевые слова:* озера, удельный водосбор, максимальные уровни воды, параметры распределения.

E. Davydenko, A. Sikan, [davydenko091@gmail.com](mailto:davydenko091@gmail.com)  
*Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia*

## **CALCULATION OF THE MAXIMUM LEVELS OF LAKES IN NORTH- WEST RUSSIA IN THE ABSENCE OF HYDROMETRIC OBSERVATION DATA**

In the article the methodology for calculating the maximum water levels of unexplored lakes is considered, based on the generalization of all available information on the regime of the lakes of the studied area. Recommendations are given for calculating the parameters of the distribution of the maximum levels of unexplored lakes in the North-West of the Russian Federation and the southern part of the Kola Peninsula.

*Keywords:* lakes, specific catchment area, maximum water levels, distribution parameters.

### **Введение**

Озера являются уникальными водными объектами и имеют важное экономическое и экологическое значение. На территории России – свыше двух миллионов озёр суммарной площадью более 350 тыс. км<sup>2</sup>, преимущественно это – малые и очень малые озера площадью менее 1 км<sup>2</sup>. Гидрометрическими наблюдениями охвачено менее 1% водоемов, поэтому актуальной остается задача расчета уровней озер при отсутствии данных наблюдений.

В действующем нормативном документе СП 33-101-2003 [1] для расчета максимальных уровней неизученных проточных озер рекомендуется формула:

$$\bar{\Delta}_H = \beta(A/\Omega)^{0,5}, \quad (1)$$

где  $\bar{\Delta}_H$  – средний многолетний весенне-летний подъем уровня воды в озере над порогом стока, см;  $A$  – площадь водосбора озера, км<sup>2</sup>;  $\Omega$  – площадь зеркала озера, км<sup>2</sup>;  $\beta$  – коэффициент, определяемый по данным наблюдений на соседних озерах

с близкими соотношениями морфометрических характеристик и режимом стока из водоема.

Значения коэффициента вариации ( $C_v$ ) и отношение коэффициента вариации к коэффициенту асимметрии ( $C_s/C_v$ ) также рекомендуется определять по данным наблюдений на соседних, изученных озерах.

На практике при использовании этих рекомендаций возникают определенные трудности:

- методика может применяться только для проточных озер;
- при полевых изысканиях не всегда надежно определяется отметка порога стока озера;
- для корректного расчета необходимо знать не только порог стока неизученного озера, но и озера-аналога, так как коэффициент вариации зависит от нуля графика водомерного поста.
- в некоторых районах сложно подобрать озеро-аналог.
- при использовании одного аналога ошибка параметра  $\beta$  может быть существенной.

Учитывая сказанное, в работе предлагается следующее.

1. В качестве нуля графика неизученного озера использовать не отметку порога стока озера, а отметку среднего многолетнего минимального уровня летней межени –  $\bar{H}_{min}$ . Эту отметку при полевых изысканиях определить с приемлемой точностью не сложнее, чем порог стока (если изыскания проводятся в период летней межени). Дополнительную информацию можно получить на основе опроса местных жителей. Кроме того, в большинстве случаев эта отметка близка к отметке уровня озера, который нанесен на топографические карты. Из публикаций на эту тему можно отметить [2].

2. В качестве характеристики изменчивости максимального уровня озера рассматривать не коэффициент вариации, а среднеквадратическое отклонение, которое не зависит от нуля графика водомерного поста.

3. Параметры распределения максимальных уровней воды неизученного озера определять не по одному аналогу, а на основе региональных обобщений с использованием всей имеющейся информации по режиму озер исследуемого района.

### ***Материалы и методы исследования***

Исследования выполнены на примере Северо-Западного региона России включая, республику Карелия и южную часть Кольского полуострова.

Для анализа использовались данные по 42 озерам с площадями зеркала от 2 до 2613 км<sup>2</sup>. Схема расположения озер представлена на рисунке 1.



Рис.1. Схема расположения озерных гидрологических постов на территории Северо-Запада РФ

Согласно работе [3] на рассматриваемой территории выделено три района: 1 – Кольский сегмент; 2 – Карельский сегмент; 3 – северо-западная часть Русской плиты, затронутая валдайским оледенением. Данные регионы были охвачены последним валдайским оледенением, завершившимся лишь около 10 000 лет назад. Это территории широкого распространения озер ледникового происхождения, соседствующих с водоемами речного, органогенного, тектонического и карстового происхождения.

При обосновании методики были исключены озера с площадью удельного водосбора ( $A/\Omega$ ) более 100. Оставшиеся озера были разбиты на две группы. Первая группа включала только малые и средние озера [4], с площадью зеркала менее 100 км<sup>2</sup>. Вторая группа – включала все озера.

#### **Анализ результатов**

Было установлено, что для первой группы озер имеет место устойчивая зависимость среднего максимального уровня воды над  $\bar{H}_{min}$  от показателя  $(A/\Omega)^{0,5}$  для всей рассматриваемой территории (рис.2):

$$\bar{H}_{max} = 21(A/\Omega)^{0,5}. \quad (2)$$

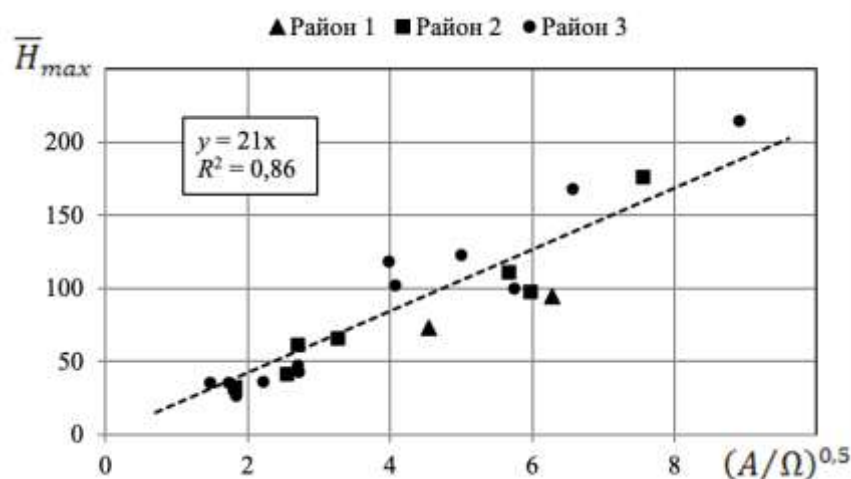


Рис.2. Зависимость среднего максимального уровня озера от показателя  $(A/\Omega)^{0,5}$  для территории Северо-Запада РФ

Для второй группы озер получено уравнение множественной регрессии, включающее в качестве предикторов площадь зеркала озера, площадь водосбора озера и их комбинацию в виде показателя  $(A/\Omega)^{0,5}$ :

$$\bar{H}_{max} = 22(A/\Omega)^{0,5} - 0,049\Omega + 0,0032A \quad (3)$$

Свободный член оказался статистически не значим [5], поэтому параметры выражения (3) получены при нулевом свободном члене (таблица). График связи эмпирических и рассчитанных по формуле (3) максимальных уровней представлен на рисунке 3.

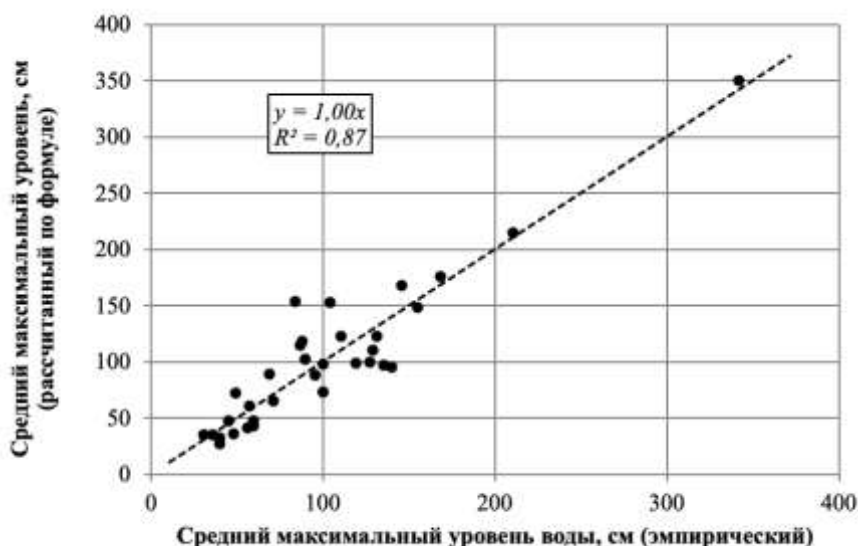


Рис.3. График связи эмпирических и рассчитанных по формуле (2) средних максимальных уровней воды для озер Северо-Запада РФ

**Параметры уравнения множественной линейной регрессии для зависимости (3)**

<i>Характеристика</i>	<i>Коэффициент</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>Статистика Стьюдента</i>
Свободный член	0	—	—
Площадь зеркала озера, $\Omega$	-0,049	0,015	-3,23
Площадь водосбора озера, $A$	0,0032	0,00054	5,93
$(A/\Omega)^{0,5}$	22,0	1,04	21,2

Относительная ошибка расчета по формуле (2) составила 20%, максимальная – 44%. Относительная ошибка расчета по формуле (3) составила 20%, максимальная – 48%,

Для средних и малых озер с удельным водосбором менее 100 выявлена зависимость среднеквадратического отклонения максимального уровня воды от среднего многолетнего максимального уровня (рис.4). При построении графика были исключены озера, которые используются как водохранилища сезонного регулирования.

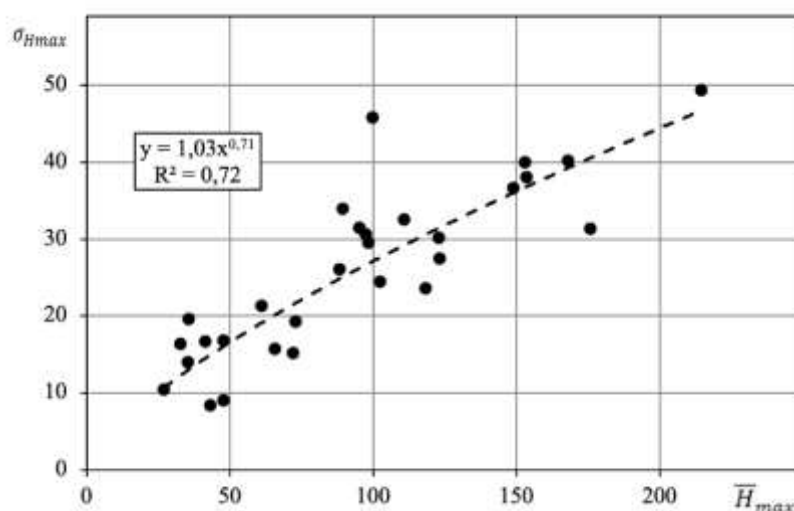


Рис.4. График связи среднего максимального уровня воды и среднеквадратического отклонения для средних и малых озер Северо-Запада РФ

Зависимость аппроксимирована степенным выражением:

$$\sigma_{H_{max}} = \overline{H}_{max}^{0,7} \quad (4)$$

Относительная ошибка расчета по формуле (4) составила 20%, максимальная – 66%.

Отношение  $C_s/C_v$  принято средним в пределах выделенных районов: район 1 –  $C_s/C_v = 0$ ; район 2 –  $C_s/C_v = 0,5$ ; район 3 –  $C_s/C_v = 1,0$ .

## **Выводы**

Представлена методика расчета максимальных уровней воды неизученных озер, основанная на обобщении всей имеющейся информации по режиму озер исследуемого района.

Предложено – в качестве нуля графика неизученных озер использовать отметку среднего многолетнего минимального уровня летней межени, что позволяет применить единый подход при расчете максимальных уровней не только проточных озер, но и периодически сточных и бессточных озер.

Даны рекомендации по расчету параметров распределения максимальных уровней неизученных озер Северо-Запада РФ и южной части Кольского полуострова.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, № FSZU-2020-0009 «Исследование физических, химических и биологических процессов в атмосфере и гидросфере в условиях изменения климата и антропогенных воздействий».*

## **Библиографический список**

1. Свод правил по проектированию и строительству СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик»
2. Догановский А.М., Угренинов Г.Н. Разработка методики установления начала отсчета ширины водоохранной зоны на неизученных озерах. //Ученые записки РГГМУ, 2014, №34, с. 103-105.
3. Измайлова А.В. Озера России. Закономерности распределения, ресурсный потенциал. СПб.: Папирус, 2018. 288 с.
4. Догановский А.М., Малинин В.Н. Гидросфера Земли. СПб: Гидрометеиздат, 2004. 630 с.
5. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб: Изд-во РГГМУ, 2007. 279 с.

УДК 528.8, 556.5

С.Г. Добровольский, М.Н. Истомина, И.П. Лебедева, И.В. Соломонова,

[sgdo@bk.ru](mailto:sgdo@bk.ru)

*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **ВОДОХРАНИЛИЩА МИРА И ЯВЛЕНИЕ «ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ» В МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЯХ СТОКА РЕГУЛИРУЕМЫХ ИМИ РЕК**

На основе новой, предложенной авторами, системы оценок параметров реализаций случайных последовательностей изучены особенности многолетних изменений стока рек, зарегулированных водохранилищами. Показано, что для них присуща повышенная, по сравнению с незарегулированными неозерными реками, доля рядов, для которых характерно явление нестационарности перемежающегося и монотонного типов.

*Ключевые слова:* водохранилище, изменения стока регулируемых рек, перемежающаяся нестационарность.

S. Dobrovolski, M. Istomina, I. Lebedeva, I. Solomonova, [sgdo@bk.ru](mailto:sgdo@bk.ru)  
*Institute of Water Problems of RAS, Moscow, Russia*

## **WORLD RESERVOIRS AND THE PHENOMENON OF INTERMITTENT NONSTATIONARITY IN LONG-TERM RUNOFF CHANGES IN REGULATED RIVERS**

On the basis of a new, proposed by the authors, system for estimating the parameters of random sequences' realizations, the features of long-term changes in the flow of rivers regulated by reservoirs are studied. It is shown that they demonstrate an increased, in comparison with unregulated non-lake rivers, proportion of series, which are characterized by the phenomenon of nonstationarity of intermittent and monotonic types.

*Keywords:* reservoir, runoff variations in regulated rivers, intermittent nonstationarity.

### ***Введение***

Обычно исследования водохранилищ и изменений речного стока ведутся раздельно друг от друга, либо осуществляются, в основном, в региональном плане [1-3; 5]. Проведение совместного анализа системы «водохранилище–река» в глобальном масштабе может выявить закономерности, которые на региональном уровне малозаметны. В исследовании одного из соавторов [3-4] при анализе около 6000 рядов стока рек на всех обитаемых материках было обращено внимание на то, что для части рек сток (в наиболее длинных реализациях) характеризуется чередованием внутри одного и того же ряда как сегментов с положительными и отрицательными статистически значимыми трендами средних значений, так и стационарных сегментов. Такого рода явление авторы предложили назвать «перемежающейся нестационарностью» (ПН).

Оценить возможную роль водохранилищ в возникновении как «монотонных» нестационарностей (общее повышение или уменьшение средних величин стока, охватывающее весь ряд наблюдений), так и ПН в стоке рек и стало целью данного исследования.

### ***Материалы и методы исследования***

Изучаемый в настоящей работе и созданный авторами архив данных по водохранилищам и многолетним изменениям годового, максимального и минимального стока зарегулированных ими рек мира включает информацию по 388 водохранилищам и по соответствующему числу находящихся ниже плотин створов с рядами стока длительностью не менее 20 лет. Из них для дальнейшего анализа стационарности/нестационарности рядов отобраны ряды стока с длительностью не менее 80 лет.

Авторами предложена новая система оценок параметров случайных последовательностей [3-4; 6-7], базирующаяся на новом генераторе псевдослучайных гауссовских чисел и новом методе преобразования исходных рядов в ряды выборочных значений нормально распределенных случайных величин. Для оценки степени стационарности/нестационарности рядов стока



были введены «индексы стационарности» по среднему значению ( $I_{SM}$ ), по дисперсии ( $I_{SS}$ ) и по коррелированности стока смежных лет ( $I_{SR}$ ) (принципы расчета изложены в [3-4]). Так,

$$I_{SM} = \frac{M_{ВЫБ}^2 - M_{ВЫБ}^1}{\sigma(M_{ВЫБ}^{2,МК} - M_{ВЫБ}^{1,МК})}, \quad (1)$$

где  $M_{ВЫБ}^2 - M_{ВЫБ}^1$  – разность между выборочными средними значениями второй и первой половин ряда стока или его сегмента, вычисляемыми по обычным формулам;  $\sigma(M_{ВЫБ}^{2,МК} - M_{ВЫБ}^{1,МК})$  – стандарт аналогичной разности, оцененный методом Монте-Карло для стационарной последовательности соответствующей длины и временной коррелированности и аппроксимированный специально подобранным аналитическим выражением.

В качестве показателя общей нестационарности рядов принимаем величину превышения 5%-го уровня вероятности того, что модуль  $I_{SM}$  ( $I_{SS}$ ,  $I_{SR}$ ) выходит за величину 1.96. Если в ряде есть хотя бы 2 частично перекрывающихся сегмента со статистически значимым уровнем нестационарности, весь ряд будет считаться содержащим нестационарность перемежающегося типа.

### **Анализ результатов**

Авторами показано, что эффект регулирования водохранилищами сказывается в общем увеличении коррелированности стока смежных лет и увеличении порядка авторегрессионных моделей годового, максимального и минимального стока по сравнению с незарегулированными реками. Водохранилища ГЭС уменьшают многолетние колебания годового стока ( $C_V$ ) и коэффициента асимметрии ( $C_S$ ). Однако водохранилища ирригационного назначения, напротив, в среднем, существенно увеличивают  $C_V$  (в 1.6 раз) и  $C_S$  (в 1.8 раз) годового стока. Для максимального и минимального стока водохранилищам ГЭС не удастся существенно уменьшить степень изменчивости многолетних колебаний, а водохранилища ирригационного назначения в очень значительной степени увеличивают  $C_V$  и  $C_S$  (в 1.5 и 2 раза для максимального и минимального стока соответственно).

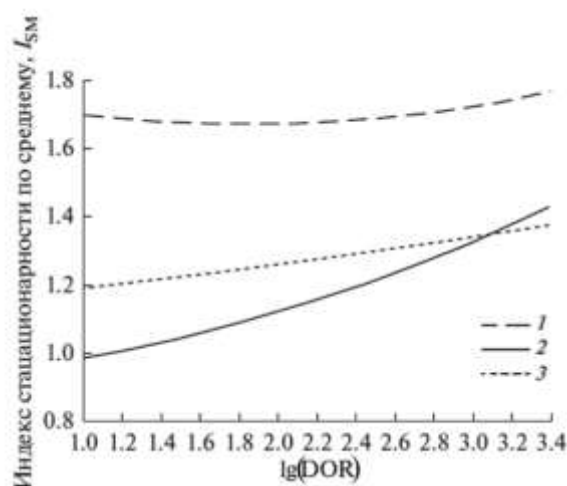
Проведенные исследования показали, что в многолетних изменениях стока рек, зарегулированных водохранилищами, заметна доля рядов, содержащих статистически значимые тренды (неслучайные изменения матожидания) как «монотонного», так и «перемежающегося типов».

Водохранилища существенно увеличивают долю нестационарных изменений «монотонного» характера годового и максимального стока по сравнению с нестационарными изменениями неозерных незарегулированных рек (в ~2 раза), а также заметно увеличивают долю нестационарных изменений минимального стока (на 25%).

Рост наиболее информативного параметра водохранилищ – «степени регулирования стока» (отношения объема водохранилища к годовому объему стока, DOR) – существенно увеличивает степень нестационарности по средним значениям годового стока, в меньшей степени – максимального стока и практически не влияет на степень нестационарности минимального стока



(рисунок). Подобно его влияние на изменение  $C_V$ ,  $C_S$  и коэффициента корреляции – происходит рост параметров с увеличением DOR.



Зависимость индекса стационарности по математическому ожиданию ( $I_{SM}$ ) от «степени регулирования» стока водохранилищами (DOR). 1 – годового, 2 – максимальный, 3 – минимальный сток.  $\lg(DOR)$  – логарифм «степени регулирования»

Другой вид рассматриваемой нестационарности – ПН – также, как и «монотонная» нестационарность, прослеживается чаще в стоке зарегулированных водохранилищами рек, чем в стоке неозерных незарегулированных рек (таблица). В наибольшей степени этому подвержены ряды минимального стока (100% рядов из проанализированных), в меньшей – ряды годового (75%) и максимального стока (57%). На незарегулированных реках доля таких рядов гораздо ниже – 44% (годовой сток), 44% (максимальный), 89% (минимальный). Существенная доля нестационарности в рядах минимального стока, образующегося в значительной степени вследствие разгрузки подземных горизонтов, по-видимому, связана с наличием на пути водных потоков емкостей влаги в виде подповерхностных слоев. Формально доля сегментов со статистически значимыми трендами кажется небольшой – достигает максимума в случае минимального стока зарегулированных рек (22%). Однако следует учитывать, что ситуации ПН образуются не только указанными сегментами, но и стационарными сегментами, часто соседствующими с нестационарными. Таким образом, доля того времени, когда наблюдаются ситуации ПН, как минимум, в 2 раза больше доли сегментов, указанных в таблице (т. е. в рядах минимального стока зарегулированных рек эта доля составляет порядка 44%).

Следует отметить, что явления «монотонной» и ПН, даже в большей степени, встречается и в стоке озерных рек [7]. По-видимому, рассматриваемый эффект в целом связан с наличием на пути водных потоков таких больших емкостей влаги, как озера, водохранилища и подземные горизонты.

Нестационарности («монотонная» и ПН) в многолетних изменениях  $I_{SS}$  и  $I_{SR}$  годового, максимального и минимального стока зарегулированных водохранилищами рек незначительны.

Таблица

**Параметры автокоррелированности и нестационарности многолетних рядов стока незарегулированных рек и рек, зарегулированных водохранилищами**

<i>Параметр \ Тип реки, вид стока</i>	<i>Неозерные незарегулированные</i>			<i>Зарегулированные</i>		
	<i>Год.</i>	<i>Макс.</i>	<i>Мин.</i>	<i>Год.</i>	<i>Макс.</i>	<i>Мин.</i>
Среднее значение коэффициента автокорреляции	0,19	0,07	0,25	0,28	0,16	0,41
Доля сегментов со статистически значимым трендом, в %	6	2	18	11	11	22
Доля сегментов с «формальным» (видимым) трендом, возникшим в результате автокоррелированности рядов стока, в %	2	0,5	4	5	2	11
Доля рядов стока с ПН, в %	44	44	89	75	57	100

Возможны две основные (трудно различимые) причины явлений, сходных по внешнему виду и по статистическому описанию с явлением ПН: существование в изменениях рассматриваемых параметров реальных вариаций математического ожидания – и появление формально значимых трендов, оцениваемых по ограниченным сегментам рядов, вследствие автокоррелированности стационарного случайного процесса, порождающего сегменты реализаций исследуемой длины. Анализ выборочной автокоррелированности сегментов (таблица) показал, что роль механизма нестационарных изменений стока вследствие нестационарности матожиданий заметно превосходит роль механизма создания «видимых» нестационарностей вследствие автокоррелированности стационарного, по существу, процесса.

Величины в предпоследней строке таблицы получены в результате экспериментов на искусственно сгенерированных, методом Монте-Карло, реализациях (16000 лет) псевдослучайного процесса с заданными параметрами. Анализ сегментов рядов стока длительностью 40 (минимальная длина сегментов рядов, которая исследовалась нами на предмет стационарности) и 160 лет (примерно соответствует наиболее длинным имеющимся рядам стока) при помощи новых методов анализа временных рядов ([4-5]) привел к следующим результатам. Показано, что доля сегментов с явлением формальной «перемежающейся» (для 40-летних рядов) и «монотонной» (для 160-летних рядов) нестационарности в зависимости от автокоррелированности искусственно сгенерированного процесса при значениях  $r=0.2-0.4$  (какие сравнительно часто встречаются при анализе стоковых рядов – см., например, таблицу) составляют всего 10–15%.

### **Выводы**

Наличие водохранилищ увеличивает процент рек, сток которых характеризуется явлением нестационарности как «монотонного», так и «перемежающегося» вида. Таким образом, ввод в строй значительной части

водохранилищ влечет за собой самопроизвольное (незапланированное при проектировании) усиление нестационарности стока, внешне сходной с сверхнизкочастотными нерегулярными колебаниями годового и минимального речного стока с характерными масштабами порядка десятков лет.

Выявлен основной механизм явления ПН: реальные нестационарные изменения матожиданий стока, величины которых заметно превосходят «формальные», видимые нестационарности вследствие автокоррелированности стационарного процесса.

Полученные оценки позволят оптимизировать использование водных ресурсов и внести корректировки при проектировании крупных гидротехнических сооружений.

*Исследование было частично финансировано проектами РАН № 0147-2019-0003 (гос. регистрация № АААА-А18-118022090105-5) и № 0147-2019-0001 (гос. регистрация № АААА-А18-118022090056-0), а также проектом РФФИ № 19-05-00375.*

### **Библиографический список**

1. Авакян А.Б., Лебедева И.П. Водохранилища XX века как глобальное географическое явление // Изв. РАН. Сер. географическая. 2002. № 3. С. 13–20.
2. Авакян А.Б., Шарапов В.А., Салтанкин В.П. и др. Водохранилища мира. М.: Наука, 1979. 287 с.
3. Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. М.: Геос, 2011. 660 с.
4. Добровольский С.Г. Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы. М.: Геос, 2017. 526 с.
5. Добровольский С.Г. Межгодовые и многолетние изменения стока рек мира // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 6. С. 643–660.
6. Добровольский С.Г., Лебедева И.П., Истомина М.Н., Соломонова И.В. Водохранилища мира: анализ количественных параметров и воздействия на структуру многолетних изменений стока регулируемых рек // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 1. С. 1–13.
7. Соколова О. В., Выручалкина Т. Ю., Соломонова И. В., Добровольский С. Г. Проточные озера мира: анализ количественных параметров и их влияния на характер колебаний стока озерных рек // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 1. С. 1–12.

Б. Драшкович, М. Гуталь, [draskovic.branislav@gmail.com](mailto:draskovic.branislav@gmail.com)  
*Университет Восточного Сараево, г. Восточное Сараево, Босния и  
Герцеговина*

## ВОДНЫЕ АККУМУЛЯЦИИ В БОСНИИ И ГЕРЦЕГОВИНЕ

Анализируется база данных Copernicus EU-Hydro о поверхностных водных объектах на территории Боснии и Герцеговины. Copernicus - это проект спутникового наблюдения и мониторинга ситуации на территории 39 европейских стран, в том числе 33 членов ЕС и 6 стран Западных Балкан. Согласно базе данных EU-Hydro в Боснии и Герцеговине, существует 251 естественный или искусственный водоем размером более 1 га, 90 % которых относится к небольшим водоемам площадью менее 100 га. Босния и Герцеговина считается страной со значительными водными ресурсами, тем не менее, количество водохранилищ небольшое по сравнению со средним показателем по Европе, особенно по сравнению со странами на севере континента.

*Ключевые слова:* водохранилище, Босния и Герцеговина, EU-Hydro, CLC, база данных.

B. Drashkovich, M. Gutal, [draskovic.branislav@gmail.com](mailto:draskovic.branislav@gmail.com)  
*University of East Sarajevo, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina*

## WATER RESERVOIRS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

The paper will analyze Copernicus' EU-Hydro database on surface water bodies within the territory of BiH. Copernicus is a project of satellite observation and monitoring of the territory of 39 European countries, including 33 EU members and 6 associated countries from the Western Balkans. Based on the EU-Hydro database in BiH, there are 251 natural lakes or artificial water reservoirs larger than 1 ha. These are mostly small water bodies, of which about 90% have an area of less than 100 ha. Although BiH is a country with significant water resources, the number of reservoirs is small compared to the European average, especially compared to countries in the north of the continent.

*Keywords:* Reservoirs, Bosnia and Herzegovina, EU-Hydro, CLC, database

### ***Введение***

Босния и Герцеговина (БиГ) является страной, богатой водными ресурсами. Годовое количество осадков колеблется от 800 мм на севере в районах вдоль р.Сава до 2000 мм в центральных и юго-восточных горных районах [8]. Таким образом, среднегодовое количество осадков составляет 1028 мм. Общие возобновляемые водные ресурсы на душу населения в БиГ составляют 10 592 м<sup>3</sup>/на душу населения/в год [7], что в три раза больше, чем средние показатели по Европе.

С учетом того, что страна снабжена водными ресурсами в достаточном количестве, искусственные озера и водохранилища сооружались в основном при строительстве гидроэлектростанций, а крайне редко – для других целей. С другой стороны, несмотря на значительное количество осадков, горный рельеф является основной причиной того, что гидроэнергетический потенциал не используется в достаточном количестве. По данным Центрального статистического агентства БиГ в 2020 г. в производстве электроэнергии доля

ГЭС составляла 30,1%, ТЭС – 68,9%, солнечные и ветряные электростанции – 1% [1].

Однако, несмотря на то, что водных ресурсов достаточно, процесс урбанизации и увеличение численности населения городов привели к возникновению проблем с водоснабжением, особенно в летний период. Данная проблема наглядно просматривается на примере столицы БиГ – г.Сараево. Дефицит воды привел к необходимости строительства искусственных водоемов, основной целью которых является аккумуляция воды для использования в наиболее засушливый период года. К тому же, растет понимание того, что такие резервуары можно использовать не только для водоснабжения, а также для производства электроэнергии, орошения, туризма и т.д. В БиГ происходят два важных социально-экономических процесса: уменьшение площадей под сельхозиспользование и урбанизация. Активная миграция населения в города привела к крайне неравномерной плотности населения на территории страны, увеличению нагрузки на коммунальную инфраструктуру и увеличение спроса на водные ресурсы. По данным Дукича [4], только в США - искусственных водоемов более 1,5 млн, в Японии - 250 000, а в Болгарии - 5 000.

Строительство искусственных водохранилищ проводится в основном в малонаселенных районах, где не требуется больших вложений для миграции населения [5]. В Плане стратегического развития БиГ предусмотрено строительство нескольких водохранилищ, приоритетными целями которых будут являться: обеспечение электроэнергии (ГЭС Бук-Биела), водоснабжения (Црна-Риека около Сараево), защиты от наводнений (нижнее течение реки Сава и Дрина), туризм и др.

### ***Материалы и методы***

В статье проанализирована база данных Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) EU-Hydro, которая содержит, в т.ч. данные по речным сетям и поверхностным водным объектам на основе методов фотоинтерпретации и дистанционного зондирования. Спутниковые снимки в основном относятся к 2006, 2009 и 2012 гг. Минимальная единица разрешения карты (MMU) составляет 1 га, т.е. на ней зарегистрированы все поверхностные водные объекты площадью  $\geq 1$  га. В дополнение к данным EU-Hydro, в рамках той же программы (CLMS) проанализирована база данных CORINE Land Cover (CLC), в которой регистрируются поверхностные водные объекты размером более 100 га.

База данных EU-Hydro для поверхностных водоемов доступна для программного обеспечения ГИС в формате ESRI Geodatabase shapefile в форме полигонов, которые составляют более крупные водные объекты, окруженные сушей. Соответствующие полигоны, принадлежащие территории БиГ, были извлечены из базы данных и проанализированы в соответствии с их назначением, занимаемой площадью, происхождением и другими характеристиками.

Цифровая высотная модель (EU DEMv1.1.) с пространственным разрешением 25 м использовалась для обзора распределения водоемов по высотным зонам. Учитывая диапазон высот 0-2367 м, территория БиГ делится на

три высотные зоны: 0-500 м (39,47% территории БиГ), 500-1000 м (35,53%) и более 1000 м (25%).

### **Результаты и дискуссия**

Согласно базе данных EU-Hydro на территории БиГ 251 водоем размером  $\geq 1$  га. В основном это небольшие водоемы в низинах вокруг рек, и 228 из них - площадью менее 100 га (38 водоемов относится к категории очень маленьких водоемов, площадь которых 1 га). Общая площадь всех водохранилищ составляет 19 921 га (199, 21 км<sup>2</sup>) или 0,39% территории страны.

Самым крупным является оз.Бушко на юго-западе БиГ площадью около 5000 га (площадь варьируется в зависимости от фазы водного режима). Это озеро естественного происхождения, общий объем которого увеличен при строительстве водохранилища для обеспечения ГЭС «Орловац» в 70-х гг. прошлого века. Другие искусственные водоемы также в основном строились путем перекрытия речных водотоков для производства электроэнергии. Самые большие проблемы этих водоемов связаны с заилением чаши озера, которое со временем занимает меньший объем. Кроме того, данные водоемы используются в качестве баз для рыбных ферм (Сеничани, Бродское озеро), туристических и рекреационных комплексов (оз.Модрачко), для защиты от наводнений и т. д.

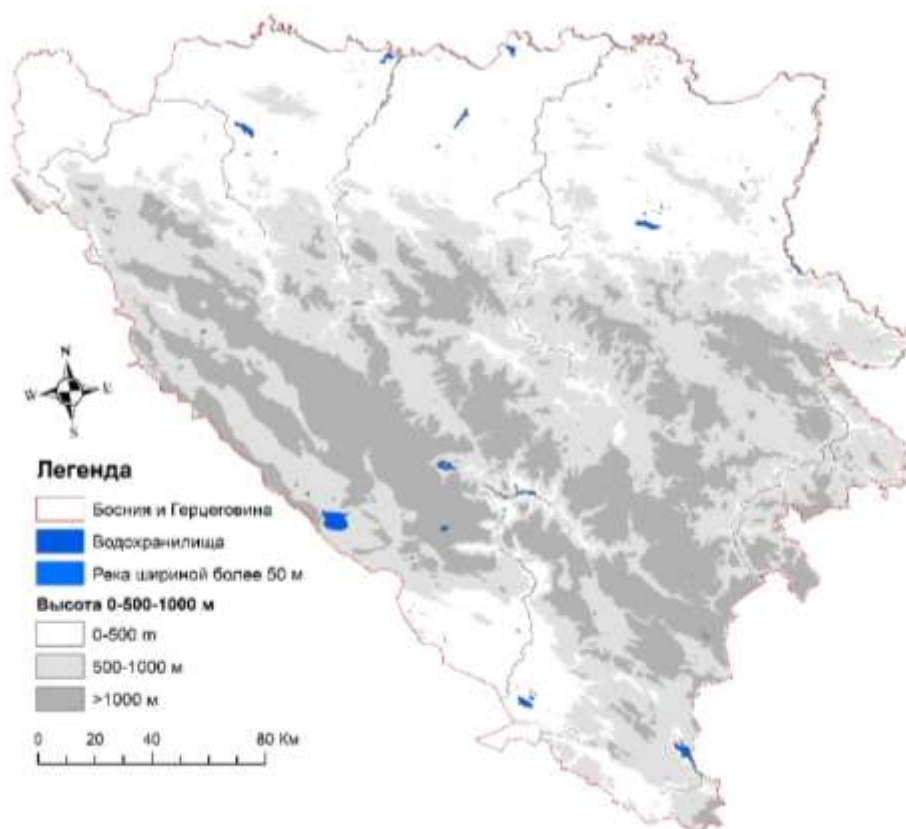
По происхождению озера делятся на естественные и искусственные. Согласно Спахичу [9], естественные озера занимают площадь 6510 га (65,1 км<sup>2</sup>), или 0,11% территории БиГ, что примерно в 10 раз меньше, чем в среднем в мире. Горные озера имеют ледниковое и флювиогляциальное происхождение. Однако нельзя игнорировать тектонические, речные, эоловые, карстовые и другие факторы образования естественных озер. Что касается всех озер в БиГ, естественные озера занимают около трети поверхности. В таблице представлен обзор 10 крупнейших водоемов (озер) в БиГ.

Согласно базе данных CLC на 2018 г., в БиГ имеется 48 водных объектов площадью более 100 га общей площадью 18 985 га (189,85 км<sup>2</sup>). Номенклатура CLC определяет их (код 5.1.2, более подробное описание см. : [6]) как: естественные или искусственные водные объекты с наличием поверхностных стоячих вод в течение большей части года.

Таблица

#### **10 самых больших озер в Боснии и Герцеговине**

	Название	Высота над уровнем моря (м)	Предназначение	Площадь (га)
1	Бушко озеро	700	Гидроэнергия	4757
2	Билечко озеро	380	Гидроэнергия	2139
3	Ябланичко озеро	263	Гидроэнергия	1415
4	Модричко озеро	192	Туризм	1272
5	Рибняк Саничани	134	Рыболовство	1253
6	Рамско озеро	578	Гидроэнергия	1152
7	Свитавско озеро	0	Туризм	1024
8	Зворничко озеро	152	Гидроэнергия	779
9	Дринско озеро	337	Гидроэнергия	727
10	Бродско озеро	85	Рыболовство	558



Поверхностные водные объекты и большие водотоки Боснии и Герцеговины

Как по количеству, так и по площади более 93% озер находится ниже 1000 м над уровнем моря. Почти 60% из них расположены ниже 500 м, и в основном состоят из плотинных речных водохранилищ. Они равномерно распределены по всей БиГ, но несколько более высокая концентрация малых водоемов находится на севере страны в доль рр.Сава и Дрина. Именно здесь чаще всего случаются разливы рек, поэтому за последнее десятилетие было зарегистрировано три катастрофических наводнения (одно в 2010 г. и два в 2015 г.).

На высоте выше 1000 м находится небольшое количество преимущественно естественных озер, чья площадь составляет 6,21%. Большинство из них имеют ледниковое происхождение, поэтому из-за исключительно прозрачной воды получили народное название «горные глаза». Некоторые из горных озер пригодны для туризма (оз.Прокошко на горе Враница), а для некоторых существует план благоустройства (озера на горе Маглич, Зеленгори, Трескавица и т. д.).

### **Выводы**

В Боснии и Герцеговине мало естественных и искусственных водоемов, которые занимают 0,39% территории, и в основном предназначены для выработки электроэнергии. Учитывая, что потенциал водной энергии используется в недостаточной мере, планируется строительство новых водохранилищ, таких как проект Бук-Биела на востоке страны. Также планируется строительство нескольких аккумуляций для водоснабжения, особенно в окрестностях г. Сараево. Возрастает понимание

многофункционального значения использования водных аккумуляций связанных с сельским хозяйством, туризмом, рыболовством, и т. д.

### Библиографический список

1. *Агенција за статистику БиХ*, Краткорочни индикатори енергетске статистике, 2021. [Электронный ресурс]  
URL:[http://www.bhas.ba/data/Publikacije/Saopstenja/2021/ENE\\_01\\_2020\\_11\\_0\\_SR.pdf](http://www.bhas.ba/data/Publikacije/Saopstenja/2021/ENE_01_2020_11_0_SR.pdf) (дата обращения: 14. 02. 2021.)
2. *Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)*: European Digital Elevation Model (EU-DEM), version 1.1. Database. [Электронный ресурс] URL: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1/view> (дата обращения: 05. 01. 2021.).
3. *Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)*: EU-Hydro, Database [Электронный ресурс] URL: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-hydro> (дата обращения: 25. 01. 2021.)
4. *Дукић Д., Гавриловић Ј.* Хидрологија, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд. 2006. 386 р.
5. *Драшкович Б., Гуталь М., Милетић Б.* Водохранилища Черная река и Белая река в окрестностях города Сараево: проблемы и вызовы // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VII Всерос. научно-практической конференции с международным участием. Пермь, 2019. Т. II. 80-85р.
6. *European Environment Agency (EEA)*. CORINE Land Cover Nomenclature Guidelines, 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html> (дата обращения: 10. 01. 2021.)
7. *FAO, AQUASTAT*. 2017. Database, AQUASTAT Website [Электронный ресурс] URL <http://www.fao.org/aquastat/statistics/query/index.html?lang=en> (дата обращения: 10. 02. 2021.)
8. *SNC BiH*, Second National Communication of Bosnia and Herzegovina under the UN framework convention on climate changes. 2013. 196p.
9. *Spahić M.* Prirodna jezera Bosne i Hercegovine, limnološka monografija, HARFO-GRAF, Tuzla. 2001. 170p.



## **СТАДИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВ КРУПНЫХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ**

На основе анализа многолетней динамики развития берегов днепровских и других крупных равнинных водохранилищ рассмотрены основные стадии формирования берегов и соответствующие им типологические характеристики. Показана роль исходного рельефа и геологического строения речной долины в развитии береговых процессов. Отмечена условность стадии динамического равновесия для берегов водохранилищ и возрастающая роль вдольбереговых течений и связанных с ними потоков наносов и динамических систем берегов. Проанализировано экологические особенности проявления процессов формирования берегов – наследственность (инерционность и изменчивость), направленность и необратимость развития.

*Ключевые слова:* водохранилище, береговая зона, стадии развития, абразионно-аккумулятивные процессы, динамические системы берегов, наследственность и направленность процесса.

S.S. Dubnyak, [dubnyak@ukr.net](mailto:dubnyak@ukr.net)

*Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

## **STAGE FEATURES OF COAST FORMATION OF LARGE PLAIN RESERVOIRS**

The main stages of the reservoir coast formation and the corresponding typological characteristics are considered on the base of the analysis of the long-term dynamics of the coast development on the Dnieper and other large plain reservoirs. The role of the initial relief and geological structure of the river valley in the development of coastal processes is shown. The conventionality of the stage of dynamic equilibrium for the reservoirs shores and the increasing role of alongshore currents and associated sediment flows and dynamic systems of shores are noted. The ecological features of coastal formation processes are analyzed - heredity (inertia and variability), direction and irreversibility of development.

*Keywords:* reservoir, coastal zone, stages of development, abrasion-accumulative processes, dynamic coastal systems, heredity and direction of the process.

### ***Введение***

Идею идентичности развития морских берегов и берегов крупных равнинных водохранилищ, выдвинутую В.П. Зенковичем [4], последовательно развивали Б.А. Пышкин [7] и др. ученые. В своих исследованиях берегов крупных равнинных водохранилищ мы также исходили из основного теоретического постулата об общности основных закономерностей гидролого-морфологической теории руслового процесса (Кондратьев, Попов, Маккавеев, Чалов, Ободовский) и учения о динамике и морфологии берегов морей и водохранилищ (Зенкович, Леонтьев, Лонгинов, Шуйский, Вендров, Розовский, Попов, Пышкин, Максимчук и другие). Такой подход позволяет рассматривать

формирование берегов водохранилищ как многофакторный процесс, факторы и условия которого изменяются во времени (на разных стадиях развития берегов) и в пространстве (на разных участках и типах берегов).

Эволюцию берега традиционно рассматривают в профиле и в плане. Для абразионных берегов водохранилищ выделяют следующие стадии развития профиля берега [1; 3; 5-6; 8]: первая – интенсивного переформирования (3-10 лет в зависимости от типа берегов) или стадия формирующегося (нестабильного) режима; вторая стадия – стабилизации или устоявшегося (сформированного) режима, на которой сейчас находится большинство берегов водохранилищ; третья стадия – динамического равновесия, когда морфометрические характеристики берегового склона практически не меняются со временем, испытывая лишь знакопеременные деформации или флуктуации.

### ***Материалы и методы исследования***

Сформулированные в работе положения, касающиеся стадий формирования берегов водохранилищ, особенностей и тенденций их развития, базируются на анализе результатов многолетних мониторинговых исследований динамики берегов днепровских водохранилищ, а также анализе и обобщении опубликованных материалов по днепровским, волжским и другим крупным равнинным водохранилищам.

### ***Анализ результатов***

Водохранилище наследует от затопленной им речной долины конфигурацию и геолого-геоморфологическое строение береговых склонов, расположенных выше вновь образованной линии уреза воды, т.е. местного базиса эрозии. Система плесов и перекатов, сформированных течением воды в реке, проявляется в береговой зоне водохранилищ в виде мысовидных выступов и бухт. Таким образом, на первой стадии интенсивного формирования профиля берега происходит активное, в первую очередь абразионное, выравнивание береговой линии водохранилища. В результате срезаются и отступают мысы и медленно заполняются наносами, преимущественно за счет стоковых течений. На этой стадии береговые отмели практически отсутствуют, как и вдольбереговые потоки наносов. Материалы размыва береговых уступов поперечными течениями сбрасываются здесь же в понижения у подводных склонов. Активно процессы выравнивания береговой линии происходят на мысах абразионно-обвальных берегов, медленнее – на абразионно-денудационных берегах.

Стадия абразионного выравнивания береговой линии проявляется только на тех берегах, где ведущим фактором являются ветро-волновые процессы. Как правило, это озеровидная относительно глубоководная часть водохранилища. В зоне мелководий происходят процессы активного зарастания воздушно-водной растительностью приустьевой зоны (биогенные берега). В речной части водохранилища выравнивание береговой линии происходит в условиях режима попусков воды, что приводит к промывке затопленного русла, срезанию перекатов и углублению канала, по которому сбрасываются попуски. Здесь

формируются эрозионные берега, особенностью которых является побочни. В результате активной боковой эрозии они отступают вместе с берегом.

На смену стадии абразионного выравнивания береговой линии приходит стадия абразионно-аккумулятивного выравнивания, для которой характерно наличие вдольбереговых потоков наносов и береговых отмелей. В результате формируются динамические системы берегов, которые включают участки размыва, к которым прилегают с обеих сторон участки транспорта и аккумуляции наносов [2]. Перечисленные участки под воздействием стоковых и вдольбереговых течений воды и наносов постепенно смещаются вниз к плотине ГЭС. Наиболее ярко данная стадия проявляется в озеровидной части водохранилища. Она характерна для берегов, сложенных несвязными породами (абразионно-осыпных и абразионно-обвальными-осыпными), которые формируют достаточное количество пляжеобразующего материала.

Считается, что стадия абразионно-аккумулятивного выравнивания отличается стабилизированным (установившимся) режимом формирования берегов на крупных равнинных водохранилищах. Однако, как показывают наши наблюдения на Днепровском каскаде, для этого процесса характерна пространственная и временная неоднородность. Стабилизированный режим проявляется преимущественно на абразионных и эрозионных берегах. В результате на одном и том же водохранилище различные типы берегов находятся на разных стадиях развития, что сказывается и на сукцессиях биоты. Все же надо отметить, что большинство типов берегов на днепровских, волжских и других крупных равнинных водохранилищах находятся на стадиях развития, близких или синхронных стадии установившегося режима.

Третья стадия развития берегов получила название «конечной стадии» или «стадии динамического равновесия». В отличие от морских берегов на действующих водохранилищах установить эту стадию натурными наблюдениями не удалось. Заложенные в многочисленные методики прогнозов переработки берегов показатели уклонов надводного и подводного береговых склонов, которые можно считать приближенными к показателям динамического равновесия, оказались лишь ориентировочными и временными. Уже сейчас на Каховском, Кременчугском, Киевском водохранилищах выявлены участки, где ведущим фактором формирования берегов выступает не волнение, а вдольбереговое течение и связанные с ним потоки наносов и динамические системы берегов. Это означает, что стадия абразионно-аккумулятивного выравнивания плавно, через кратковременную стадию динамического равновесия на участках транспорта наносов, переходит в стадию абразионно-аккумулятивного расчленения берегов. Абразионные ранее мысы становятся участками аккумуляции наносов, а бухты из участков аккумуляции превращаются в участки размыва вдольбереговыми течениями.

Эколого-гидроморфологический анализ формирования береговой зоны днепровских водохранилищ позволил выявить экологические особенности проявления процессов формирования берегов, для которых, как и для абиотических процессов вообще, характерны: наследственность, проявлениями

которой являются инерционность и изменчивость; направленность, в результате которой формируется единая гетерогенная поверхность берегов и ложа водохранилищ; необратимость, что приводит к формированию современной биотопической структуры водохранилищ [2].

*Наследственность* процесса формирования берегов водохранилищ проявляется в том, что ведущую роль в этом процессе играют физико-географические и структурно-геологические условия территории, сложившиеся еще до заполнения водохранилища. Эти условия могут длительное время определять *инерционность* берегового процесса, то есть сохранение зависимости между показателями процесса и характеристиками его ведущих факторов и условий. Так, на днепровском каскаде к правобережному плато со сложным геологическим строением тяготеют абразионно-обвальными, оползневые, денудационные берега; к пойме и второй надпойменной террасе – абразионно-обвальные берега; к первой надпойменной террасе и высокой пойме – абразионно-осыпные берега. Левобережья днепровских водохранилищ – это затопленные и подтопленные поймы и надпойменные террасы Днепра, которые образуют мелководные и мелководно-осушенные зоны и нейтральные, преимущественно биогенные, берега значительной протяженности – около половины периметра каскада. Эти берега наследуют эрозионные берега Днепра на более ранних стадиях формирования речной долины.

В то же время *изменчивость*, как потеря инерционности, является проявлением исходных условий и факторов при их резком изменении. На крупных равнинных водохранилищах часто наблюдается ситуация, когда завершается размыв делювиальных шлейфов, которые прикрывают береговые склоны, и в зону размыва выходят коренные породы (граниты, гнейсы, доломиты, известняки). В таких случаях на смену абразионно-обвальным или абразионно-осыпным берегам образуются денудационные, устойчивые к размыву берега. Это явление распространено практически на всем правобережье Днепровского каскада, где размыву подвержены склоны правобережного плато Приднепровской возвышенности, сложенной под аллювиально-делювиальным покровом лессовидных супесей и суглинков, песков и глин коренными породами, устойчивыми к размыву.

Исходный рельеф и геологическое строение речной долины, в которой создано водохранилище, на длительное время вносят постоянный (стационарный) вклад в динамику берегов, определяют их типологические характеристики, морфометрию, ориентацию и расчлененность береговой линии.

Инерционность береговых процессов определяется также гидрометеорологическими характеристиками: ветро-волновые явления, режим уровней, глубины и длины разгона волн. Гидрометеорологические характеристики также отмечаются изменчивостью и теряют инерционность, о чем свидетельствует современный период глобального потепления климата.

Вторая важная характеристика берегового процесса на водохранилищах – это *направленность развития*, которая связана с повышением базиса эрозии (подпор воды плотиной) и ее следствием – выравниванием рельефа береговой

зоны. Направленность общего процесса формирования берегов на достижение состояния динамического равновесия включает этапы инерционности и изменчивости. Инерционные состояния являются определенными промежутками времени (этапами, циклами, фазами), в течение которых преобладает определенный комплекс факторов и условий – определенный тип берега. Изменчивость – это изменение факторов и условий, в результате которой образуются новые типы берегов (однонаправленные необратимые деформации), или же происходят флуктуации характеристик береговой зоны (движение отмелей, динамических систем берегов, сезонные изменения профилей берега), вызванные знакопеременными, часто циклическими деформациями под влиянием течений, сезонных колебаний уровня воды и т.п. Отметим, что на берегах водохранилищ наблюдаются также однонаправленные обратные деформации, которые отличаются от флуктуаций временным изменением факторов и типа берегового процесса.

### **Выводы**

Береговой процесс имеет стохастическую природу, а потому оценки и прогнозы формирования берегов водохранилищ должны быть комплексными, интегральными, а их методическая основа – это историко-геологический или географо-гидрологический анализ, выражением которого является выбор и изучение ведущих факторов и условий, типизация берегов и геодинамическое районирование береговой зоны, выбор репрезентативных участков, установление этапов развития берега, оценка состояния берега и прогноз его изменений на этих участках. Такие последовательные действия обеспечивают всесторонний учет специфики берегов на участке. Выводы затем могут распространяться на всю береговую зону, которую представляет данный участок берега.

*Работа выполнена в рамках бюджетной программы «Поддержки развития приоритетных направлений научных исследований» НАН Украины (КПКВК 6541230).*

### **Библиографический список**

1. Дубняк С.А. Геодинамическое районирование берегов водохранилищ // Тезисы докл. Всесоюзн. науч.-техн. совещания по динамике берегов водохранилищ. Кн. 2. Черкассы: УФ ЦНИИКИВР, 1979. С. 10-16.
2. Дубняк С.С. Эколого-гидроморфологический анализ биотопической структуры крупных равнинных водохранилищ // Географический вестник. 2013. № 3 (26). С. 107-120.
3. Дубняк С.С. Эколого-гидроморфологическое обоснование берегозащитных экосистем на крупных равнинных водохранилищах // Географический вестник. 2014. № 4(31). С. 42-54.
4. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
5. Максимчук В.Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ. Киев: Будівельник, 1981. 112 с.

6. *Методические указания по прогнозированию перестроения берегов равнинных водохранилищ.* МУ 33.10.001-85. – Киев: Минводхоз УССР, 1985. 103 с.

7. *Пышкин Б.А.* Динамика берегов водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1973. 413 с.

8. *Рекомендації щодо поліпшення екологічного стану прибережних територій дніпровських водосховищ* // Дубняк С.А., Сакевич А.М., Тимченко В.М. та ін. / за ред. В.Я. Шевчука. К.: КСП, 1999. 182 с.

УДК 551.312(285.2)

В.В.Законнов, [zak@ibiw.ru](mailto:zak@ibiw.ru)

*Институт биологии внутренних вод РАН, п. Борок, Россия*

## **ОСАДКООБРАЗОВАНИЕ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ ВОЛЖСКОГО КАСКАДА В XXI ВЕКЕ**

Комплексные грунтовые съемки водохранилищ Волги в XX веке и продолженные в XXI подготовили основу для современной количественной оценки влияния донных осадков на функционирование пресноводных экосистем. Полученные результаты могут использоваться в моделировании многофакторных компонентов в системе: вода–донные отложения–биота, прогнозировании, создании объектно-ориентированных, специальных и тематических карт, а также для принятия решений по ликвидации негативных последствий, связанных с качеством воды.

*Ключевые слова:* мониторинг, база данных, осадконакопление, водохранилища Волги.

V.V.Zakonnov, [zak@ibiw.ru](mailto:zak@ibiw.ru)

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia*

## **SEDIMENTATION IN THE VOLGA CASCADE RESERVOIRS IN THE 21st CENTURY**

The complex surveys of sediments in the Volga River reservoir in the 20th century and continued in the 21st century provided the basis for a modern quantitative assessment of the impact of bottom sediments on functioning of freshwater ecosystems. The results may be used in modelling of the multi-factor components in the water-bottom sediments-biota system, prediction, creating of object-oriented, special and thematic maps as well as for making decisions on elimination of negative consequences associated with water quality.

*Keywords:* monitoring, database, sedimentation, Volga reservoirs.

### ***Введение***

В XX в. строительство ГЭС шло опережающими темпами по сравнению с исследованиями крупных равнинных водохранилищ. Технические проблемы,

связанные с переселением людей, отчуждением земель, энергетикой, навигацией, водопотреблением, рекреацией и т.д. решались оперативно, но гидроэкологические были не предсказуемы и до сих пор актуальны. Наиболее изученными в России являются водохранилища Волги, где вопросам осадкообразования (формированию, распределению и накоплению донных отложений) уделялось первостепенное внимание задолго до их проектирования. Изучение ложа будущих водохранилищ было основным, т.к. оно было первичным звеном размыва почв и местом формирования вторичных грунтов – донных отложений (ДО) [1;2].

Донные осадки – это многокомпонентные минерально-органические природные образования, отражающие в своей гетеродисперсности и хемотропном составе все разнообразие внутриводоемных, бассейновых и планетарных, гидрофизических и биогеохимических процессов, влияющих на функционирование пресноводных экосистем через взаимодействие между водой, седиментами и биотой.

Процесс седиментации – осаждение взвешенных наносов (80–90%), биологической субстанции и химическое выпадение солей, в том числе загрязняющих веществ в осадок (10–20%) представляет собой не просто проявление физических законов гидродинамики, а сложное образование нового вещества в природе, где наряду со взвешенными частицами (сестон) в процессе участвуют растворенные в воде поллютанты, поступающие из различных источников [5; 2].

Цель статьи – оценка специфики и направленности процессов осадкообразования в начале XXI века для использования полученной информации в дальнейших гидробиогеохимических исследованиях.

### ***Материал и методика***

В работе обобщены материалы мониторинговых исследований осадкообразования в водохранилищах Волги с середины XX в., выполненных по единым методикам [1;2]. С 2001 г. начался второй этап, когда осадкообразующие процессы стали стабильны и предсказуемы, что позволяет сделать ситуационные прогнозы к 100-летию эксплуатации техногенных водоемов. Как и ранее, все комплексные гидрологические съемки осуществлялись по стандартной сетке станций. Ошибка определения интенсивности осадконакопления составляет 10–20%, что вполне приемлемо для такого рода расчетов. Площади различных типов ДО определялись по батиметрическим картам и проектной морфометрической документации, характеризующей литоральную, сублиторальную и профундальную зону водоемов с учетом их вероятностного распределения. Ошибка метода около 5% и зависит от количества станций в заданных интервалах глубин.

### ***Анализ результатов***

Процессы осадкообразования в каждом водохранилище имеют свои особенности. Однако динамика распределения различных типов грунтов и донных наносов в водохранилищах Волги с 10-летним ранжированием к 100-



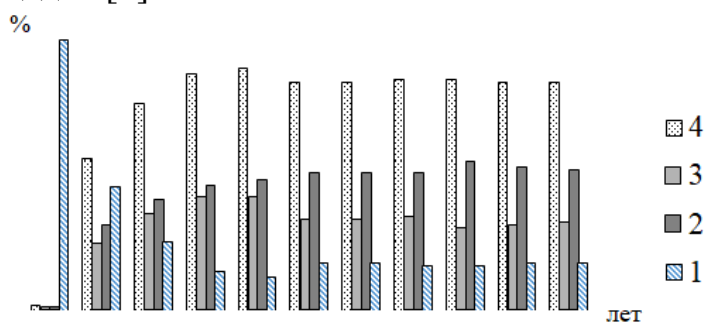
летию их эксплуатации, выявила общие закономерности трансформации грунтового комплекса (рисунок):

- сокращение площадей, занятых почвами, переход их в категорию трансформированных грунтов и новообразованных гидроморфных почв – заболачивающихся и болотно-луговых;

- увеличение площадей песчаных наносов;

- увеличение ареалов глинистых илов, а затем их сокращение.

Диаграммы суммарной величины последних (вторичных осадков) демонстрирует постепенное в течение 30–40 лет увеличение, а затем уменьшение и стабилизацию площадей [3].



Распределение площадей грунтового комплекса в водохранилищах Волги:  
1 – трансформированные грунты, 2 – песчаные наносы, 3 – илистые отложения, 4 – вторичные осадки

Морфологические и гидродинамические особенности водохранилищ обуславливают специфику распределения и особенности формирования ложа (табл. 1).

В результате длительного функционирования водохранилищ происходят изменения морфометрических характеристик за счет отчуждения суши части акватории в результате гидроморфного почвообразования, срастания макрофитных сплавин с дном, создания новых водохранилищ (Чебоксарское, Нижнекамское), спрямления и размывы берегов (Волгоградское), занесением ложа. В таблице впервые приводятся сведения о зонах размыва, которые в основном расположены в нижних бьефах, речных участках с высокой проточностью, а также в мелководных водохранилищах (Рыбинское) и озеровидных плесах и расширениях, где преобладают циркуляции вод вызванные ветро-волновыми процессами. Данные участки являются природными реакторами насыщения воды кислородом и самоочищения от вредных поллютантов.

Итоги последних грунтовых съемок на стыке веков показали стабильность структуры ложа и интенсивности осадкообразования по видам:

- осадконакопление – аккумуляция всех типов наносов (крупнозернистых и тонкодисперсных) на площадь их распространения;

- занесение – на площадь водохранилища;

- илонакопление – аккумуляция алевритовой и пелитовой фракций на их площадь (табл. 2; 3).



Таблица 1

**Структура грунтового комплекса водохранилищ Волги в начале XXI века**

Структура ложа	Площадь		Средняя толщина, см	Объем, млн м <sup>3</sup>	Масса, млн т
	км <sup>2</sup>	%			
Иваньковское – 2012 г.					
Гидроморфные почвы	40	–	–	–	–
Зоны размыва	43	15	–	–	–
Песчаные наносы	134	47	8.1	109	185
Илистые отложения	110	38	22.5	247	122
Угличское – 2012 г.					
Гидроморфные почвы	23	–	–	–	–
Зоны размыва	24	11	–	–	–
Песчаные наносы	139	61	8.6	120	172
Илистые отложения	63	28	28.6	179	90
Рыбинское – 2010 г.					
Гидроморфные почвы	70	–	–	–	–
Зоны размыва	567	13	–	–	–
Песчаные наносы	2639	59	8.1	2138	3635
Илистые отложения	1274	28	41.0	5223	2612
Горьковское – 2010 г.					
Гидроморфные почвы	82	–	–	–	–
Зоны размыва	202	13	–	–	–
Песчаные наносы	790	53	8.5	670	760
Илистые отложения	506	34	25.1	1270	680
Чебоксарское – 2010 г.					
Зоны размыва	208	17	–	–	–
Песчаные наносы	630	53	3.3	208	370
Илистые отложения	362	30	8.8	319	200
Куйбышевское – 2016 г.					
Гидроморфные почвы	30	–	–	–	–
Зоны размыва	788	14	–	–	–
Песчаные наносы	2602	44	11.1	2888	4335
Илистые отложения	2480	42	43.2	10714	5900
Саратовское – 2017 г.					
Зоны размыва	465	25	–	–	–
Песчаные наносы	1056	57	11.3	1192	1936
Илистые отложения	312	18	45.0	1400	988
Волгоградское – 2016 г.					
Зоны размыва	390	12	–	–	–
Песчаные наносы	1559	48	13.9	2167	3322
Илистые отложения	1299	40	46.5	6040	4006

Таблица 2

**Среднегодовая интенсивность осадкообразования в водохранилищах  
Волги в конце XX века**

Водохранилище	Осадконакопление		Занесение		Илонакопление	
	мм	кг/м <sup>2</sup>	мм	кг/м <sup>2</sup>	мм	кг/м <sup>2</sup>
Иваньковское	2.1	1.8	1.9	1.6	3.3	1.8
Угличское	2.5	1.9	1.9	1.4	5.6	1.9
Рыбинское	2.9	1.8	2.3	1.4	6.7	2.0
Горьковское	2.8	2.1	2.2	1.7	4.5	2.3
Чебоксарское	2.3	2.7	1.8	2.2	3.6	2.6
Куйбышевское	4.4	2.9	3.8	2.5	7.0	3.8
Саратовское	3.7	4.3	2.7	3.1	9.1	6.0
Волгоградское	5.4	4.7	4.6	4.0	8.0	5.3
R <sup>2</sup>	0.70	0.85	0.59	0.84	0.50	0.81

Таблица 3

**Среднегодовая интенсивность осадкообразования в водохранилищах  
Волги в начале XXI века**

Водохранилище	Осадконакопление		Занесение		Илонакопление	
	мм	кг/м <sup>2</sup>	мм	кг/м <sup>2</sup>	мм	кг/м <sup>2</sup>
Иваньковское	1.9	1.7	1.7	1.4	3.0	1.5
Угличское	2.1	1.6	1.8	1.4	4.0	1.3
Рыбинское	2.7	2.3	2.4	2.0	5.9	3.0
Горьковское	2.7	2.0	2.2	1.7	4.6	2.4
Чебоксарское	1.8	2.0	1.5	1.6	3.0	1.9
Куйбышевское	4.4	2.8	3.8	2.4	7.1	3.9
Саратовское	3.8	4.3	2.8	3.2	9.0	6.4
Волгоградское	4.9	4.4	4.3	3.9	8.0	5.3
R <sup>2</sup>	0.69	0.78	0.59	0.77	0.62	0.73

Несмотря на флуктуирующий характер показателей осадкообразования, четко прослеживается географическая зональность накопления ДО в системе водохранилищ Волжского каскада [4].

### **Заключение**

Исследование седиментационных процессов и условий осадкообразования в лимнических системах очень важно, ибо в первом случае дается характеристика наносодержания, необходимая для расчета времени эксплуатации водоема, а в других – выясняются гидроэкологические аспекты, связанные: с особенностями накопления донных осадков, биопродуктивностью дна, депонированием химических элементов, оценкой риска вторичного загрязнения воды, евтрофированием водоемов, эксплуатацией, реконструкцией, реабилитацией. Это позволяет в изучении донных отложений использовать комплексный геоэкологический подход:

- гидролого-геоморфологический;
- седиментологический;
- гидрохимический;
- гидробиологический.

*Работа выполнена в рамках темы АААА-А18-118012690104-3 и приоритетного проекта «Оздоровление Волги» АААА-А18-118052590015-9.*

### **Библиографический список**

1. Буторин Н.В., Зимина Н.А., Курдин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 160 с.
2. Законнов В.В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М.: ИГРАН, 2007. 39 с.
3. Законнов В.В. Илонакопление в системе водохранилищ Волжского каскада // Тр. ИБВВ РАН. Вып. 75 (78). Ярославль: Филигрань, 2016. С. 30–40.
4. Законнов В.В., Законнова А.В. Географическая зональность осадкообразования в системе волжских водохранилищ // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 105–111.
5. Остроумов С.А. О самоочищении водных экосистем // Антропогенное влияние на водные экосистемы. М.: МГУ, 2005. С. 94–119.

УДК 556.555.5

В.Г. Калинин, К.Д. Микова, В.В. Чичагов

vgkalinin@gmail.com, mikovak@yandex.ru, chvv50@mail.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

### **ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СРОКИ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА КАМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

Выполнены расчеты среднемноголетних, ранних и поздних дат появления ледяных образований на Камском водохранилище. Предложен метод сравнительного анализа средних сроков за разные временные интервалы. Выявлено, что наибольшие отклонения отмечаются при сравнении временных интервалов после 1995 г. При этом последнее десятилетие (2008–2018 гг.) оказало значительное влияние на изменение поздних дат. Использование метода сглаживания временных рядов позволило выявить момент их разладки, который приходится на 1996 г.

*Ключевые слова:* водохранилище, сроки ледообразования, многолетняя изменчивость.

V.G. Kalinin, K.D. Mikova, V.V. Chicagov

vgkalinin@gmail.com, mikovak@yandex.ru, chvv50@mail.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

### **CLIMATIC CHANGES IMPACT ON THE KAMSKY RESERVOIR'S ICE FORMATION DATES**

Calculations of the average long-term, early and late dates of ice formations on the Kamsky Reservoir have been done. A comparative analysis method for quantitative assessment of average

dates for different time intervals is proposed. It was revealed that the greatest deviations are observed when comparing time intervals after 1995. At the same time, the last decade (2008–2018) had a significant impact on the change in late dates. The use of the data series smoothing method made it possible to identify the change point for observation series, which falls on 1996.

*Keywords:* reservoir, terms of ice formation, long-term variability.

### ***Введение***

Знание процессов формирования ледового режима рек и водохранилищ крайне важно, поскольку большинство водных объектов России расположено в условиях умеренного или холодного климата с длительным (6 месяцев и более) и устойчивым периодом отрицательных температур воздуха, что усложняет их режим и использование.

Формирование ледовых явлений в виде заберегов и сала на Камском водохранилище по среднемноголетним данным начинается на мелководьях краевых заливов и плесов, где быстрее всего происходит выхолаживание водных масс. Это в первую очередь верховья Чусовского (Нижние Шалыги), Иньвинского (Майкор) и Косьвинского заливов, затем с севера на юг – от Березников, Пожвы к Чермозу. В это же время процессы ледообразования наблюдаются в Нижнелуховском и Обвинском заливах. Далее замерзание распространяется в район Висима, Слудки, Добрянки и одновременно наблюдается на Чусовском (Ветляны) и Сылвинском (Троица) плесах. Процесс образования льда заканчивается на приплотинном глубоководном участке. Таким образом, общая закономерность замерзания водохранилища – с севера на юг и от краевых плесов к центральной части [2].

Наблюдающиеся в последние десятилетия изменения климата во многом определяют особенности гидрологического режима водных объектов. Наиболее чувствительными к изменению температуры воздуха являются процессы формирования ледовых явлений на реках и водохранилищах [3]. Поэтому исследование многолетней изменчивости сроков появления устойчивых ледяных образований на водохранилищах является важным и актуальным.

### ***Материалы и методы исследования***

Исходными данными послужили многолетние ряды наблюдений за ледовым режимом на 11-ти гидрологических постах (г/п) за весь период существования водохранилища (1956–2018 гг.). В качестве исследуемой характеристики использованы сроки появления устойчивых ледяных образований в осенний период. Методика определения этих сроков детально описана в [2]. При выполнении исследований использованы методы математической статистики. Для средних многолетних дат  $D$  появления ледяных образований в осенний период последние были представлены натуральными числами, в качестве начала отсчета использовалось 1 сентября текущего года [3].

### ***Анализ результатов***

По среднемноголетним данным, рассчитанным за весь период наблюдений (1956–2018 гг.) на разных г/п, появление ледяных образований на Камском водохранилище происходит с 30 октября по 3 ноября. Следует отметить значительные колебания сроков появления ледяных образований от года к году,

синхронность колебаний на разных постах и тенденцию к смещению этих сроков в позднюю сторону в последние десятилетия.

Ранее нами выполнен расчет среднемноголетних, ранних и поздних дат появления ледяных образований на Камском водохранилище за обоснованный репрезентативный 40-летний (1956–1995 гг.) период [2]. В настоящее время период наблюдений увеличился в 1,5 раза и составляет 63 года (1956–2018 гг.). Анализ изменений среднемноголетних сроков появления ледяных образований за периоды 1956–1995 гг. и 1956–2018 гг. (таблица) показал, что средние сроки на всех г/п сместились в позднюю сторону на 2–4 дня. Следует отметить, что изменение на  $\pm 2$  дня находится в пределах точности определения этих сроков. На г/п Майкор, Чермоз, Усть-Кемаль, Ильинский, Добрянка, Нижние Шалыги и Троица средние сроки появления ледяных образований изменились на 3–4 дня. На г/п Добрянка смещение в позднюю сторону на 4 дня можно объяснить увеличением сбросов теплой воды Пермской ГРЭС, связанной с вводом в работу новых энергоблоков в 1987, 1990 и 2017 гг.

Ранние сроки появления ледяных образований и годы, в которые они наблюдались, не изменились. В то время как поздние сроки изменились в позднюю сторону на всех постах, кроме г/п Усть-Пожва. Поздние сроки замерзания на г/п Майкор и Троица сместились на 15 дней, а на г/п Нижние Шалыги лед появился позже на 29 дней. Последнее десятилетие (2008–2018 гг.) оказало значительное влияние на изменение поздних сроков. Наиболее теплыми были 2008, 2013 и 2017 гг. Также значительное изменение поздних сроков замерзания произошло на г/п Добрянка (17 дней) и г/п КамГЭС (14 дней), основной причиной которого явилось влияние сбросов подогретых вод Пермской ГРЭС.

Анализ сроков появления ледяных образований в осенний период, выполненный за весь имеющийся период наблюдений (1956–2018 гг.), показал отсутствие статистически значимых линейных трендов. В то же время в работах [4,5] отмечено, что устойчивое глобальное потепление климата, связанное с перестройкой атмосферы и подтверждаемое данными о повышении температуры воздуха и океана, наблюдается с середины 70-х годов.

Для выявления различий в среднемноголетних сроках появления ледяных образований, выполнено сравнение средних сроков, рассчитанных за разные временные интервалы (с шагом в 5 лет), от средних сроков за весь период наблюдений (1956–2018 гг.) (таблица).

Анализ результатов расчетов показал, что для первой половины всех рассматриваемых пар временных интервалов отклонения сроков появления ледяных образований имеют знак «-», т.е. средние сроки за эти интервалы приходятся на более ранние даты по сравнению со средними сроками за весь исследуемый период (1956–2018 гг.). В то же время для второй половины рассматриваемых пар – эти отклонения имеют знак «+», т.е. средние сроки приходятся на более поздние даты (таблица).

Наименьшие отклонения (до 2 сут.) среднемноголетних сроков появления ледяных образований в среднем по постам наблюдаются для первых четырех

временных интервалов. При рассмотрении временных интервалов с 5 по 7 эти отклонения увеличиваются до 3-4 сут., а в интервалах с 8 по 11 – до 5-7 сут., причем для второй половины рассматриваемых пар. Это свидетельствует о том, что в последние два десятилетия наблюдается выраженное влияние климатических условий на сроки ледообразования. Наибольших значений (до 10 сут.) расхождения достигают в 10-м временном интервале для г/п Майкор и Нижние Шалыги, расположенных в мелководных заливах, где выхолаживание водных масс происходит очень быстро.

Таблица

**Отклонение средних сроков появления ледяных образований (сут.) за  
разные временные интервалы от средних сроков за весь период  
наблюдений (1956–2018 гг.)**

<i>№ n/n</i>	<i>Временные интервалы</i>	<i>Кол-во лет</i>	<i>Березники</i>	<i>Усть-Пожева</i>	<i>Майкор</i>	<i>Чермоз</i>	<i>Висим</i>	<i>Усть-Кемаль</i>	<i>Ильинский</i>	<i>Нижние Шалыги</i>	<i>Троица</i>	<i>КамГЭС</i>	<i>Среднее</i>
1	1956-1960 1961-2018	5 58	-1 0	-1 0	-3 0	-1 0	0 0	0 0	-4 0	-2 0	-2 0	-3 0	-2 0
2	1956-1965 1966-2018	10 53	-1 0	-2 0	-1 0	+1 0	2 0	0 0	-2 0	-3 +1	0 0	+1 0	-1 0
3	1956-1970 1971-2018	15 48	-1 0	-1 0	-2 0	0 0	+1 0	-1 0	-2 +1	-3 +1	-1 0	-1 0	-1 0
4	1956-1975 1976-2018	20 43	-1 +1	-2 +1	-2 +1	-1 +1	-1 +1	-2 +1	-2 +1	-3 +1	-2 +1	-1 +1	-2 +1
5	1956-1980 1981-2018	25 38	-2 +1	-3 +2	-3 +2	-3 +2	-3 +2	-3 +2	-4 +2	-4 +2	-4 +2	-3 +2	-3 +2
6	1956-1985 1986-2018	30 33	-2 +2	-2 +2	-3 +3	-3 +2	-3 +3	-2 +2	-3 +3	-4 +3	-3 +3	-3 +2	-3 +3
7	1956-1990 1991-2018	35 28	-2 +3	-2 +3	-3 +4	-3 +3	-3 +3	-2 +3	-3 +4	-4 +5	-3 +4	-3 +3	-3 +4
8	1956-1995 1996-2018	40 23	-3 +4	-2 +4	-3 +6	-3 +5	-3 +4	-3 +5	-3 +6	-4 +6	-3 +5	-2 +4	-3 +5
9	1956-2000 2001-2018	45 18	-2 +5	-2 +4	-3 +7	-2 +6	-2 +6	-2 +6	-3 +7	-3 +7	-3 +6	-2 +6	-2 +6
10	1956-2005 2006-2018	50 13	-2 +7	-2 +6	-3 +10	-2 +8	-2 +7	-1 +6	-2 +7	-3 +10	-2 +7	-1 +6	-2 +7
11	1956-2010 2011-2018	55 8	-1 +4	-1 +4	-1 +7	-1 +6	-1 +5	-1 +5	-1 +4	-1 +5	0 +3	-1 +4	-1 +5

Анализ многолетних колебаний сроков появления устойчивых ледяных образований не позволяет точно определить момент разладки временного ряда (начало выраженных изменений). Для выявления последних выполнено сглаживание исследуемых сроков методом скользящего среднего [1] по нечетным периодам: 3, 5, 7, 9, 11 и т.д. до 31 с шагом в один год.

Следует отметить, что сглаживание по 3, 5 и 17÷31-летним периодам не позволило выявить начало выраженных изменений из-за соответственно очень малого и слишком большого периодов осреднения, тогда как по 7, 9, 11, 13 и 15-летним периодам момент разладки выделяется очень четко (рисунок). Для трех из них (11÷15-летних периодов) год начала момента разладки не меняется и приходится на 1996 г. Таким образом, влияние современных климатических изменений на сроки появления устойчивых ледяных образований на Камском водохранилище наиболее выражено в последние 25 лет.

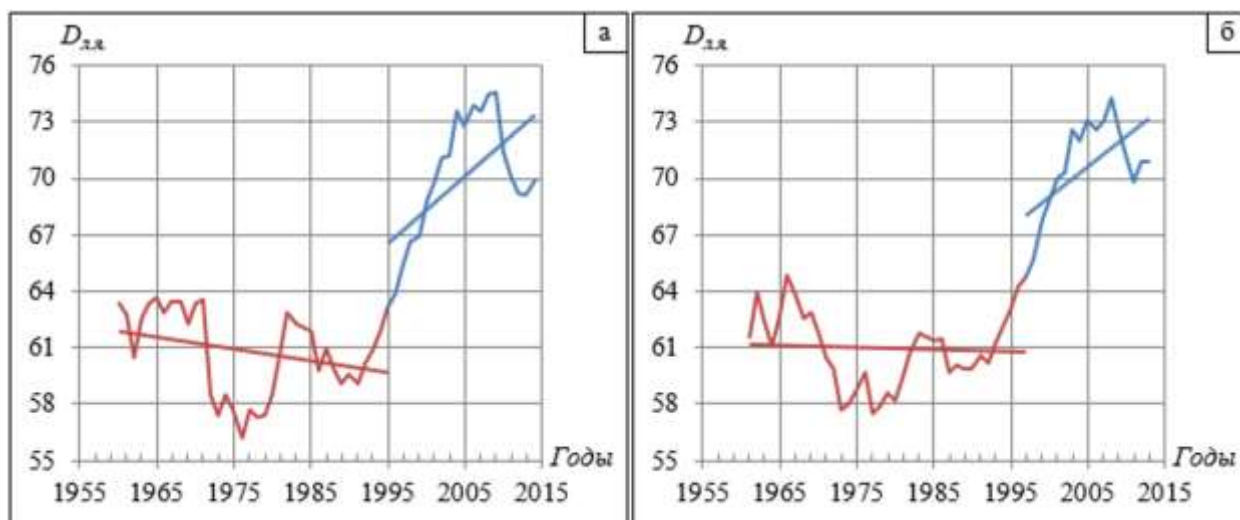


Рисунок. Кривые сглаженных многолетних колебаний сроков появления устойчивых ледяных образований  $D_{л.я.}$  по 9-леткам (а), 11-леткам (б) на г/п Ильинский

### **Выводы:**

1. Расчет среднемноголетних, ранних и поздних сроков появления ледяных образований на Камском водохранилище за периоды 1956–1995 гг. и 1956–2018 гг. показал, что средние сроки появления ледяных образований за 1956–2018 гг. на всех г/п сместились в позднюю сторону на 2-4 дня. Последнее десятилетие (2008–2018 гг.) оказало значительное влияние на изменение поздних сроков. Наиболее теплыми были 2008, 2013 и 2017 гг. Ранние сроки появления ледяных образований и годы, в которые они наблюдались, не изменились.

2. Сравнение средних сроков, рассчитанных за разные временные интервалы от средних сроков за весь период наблюдений, позволило выявить, что для первой половины всех рассматриваемых пар временных интервалов появление ледяных образований наблюдалось в более ранние сроки. Для второй половины рассматриваемых временных интервалов средние сроки приходятся на более поздние даты. Наибольшие отклонения отмечают при сравнении временных интервалов после 1995 г.

3. Использование разных периодов сглаживания временных рядов показало, что момент разладки наиболее четко выделяется на кривых сглаживания средних сроков за 7÷15-летние периоды. При рассмотрении только 11÷15-летние периоды год начала разладки приходится на 1996 г.

## Библиографический список

1. *Владимиров А.М.* Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 368 с.
2. *Калинин В.Г.* Ледовый режим рек и водохранилищ бассейна Верхней и Средней Камы: монография. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. 252 с.
3. *Kalinin V.G., Chichagov V.V.* Long-term variability of ice formation dates on the rivers of the Votkinsk reservoir catchment // Russian Meteorology and Hydrology. 2014. V. 39. № 7. pp. 491–497.
4. *Фролов А.В.* Вклад гидрометеорологической науки в развитие водохозяйственного комплекса страны // VII Гидрологический съезд: тез. пленарных докл. (19-21 ноября 2013 г., Санкт-Петербург). 2013, Санкт-Петербург. С. 1–5.
5. *Шимараев М.Н.* Циркуляционные факторы изменений ледово-термического режима Байкала // География и природные ресурсы. 2007. № 4. С. 54–60.

УДК 556.124.001.572

В.Г. Калинин, А.А. Шайдулина, В.С. Русаков, М.А. Фасахов,  
[vgkalinin@gmail.com](mailto:vgkalinin@gmail.com), [adelinash89@mail.ru](mailto:adelinash89@mail.ru), [rusakov\\_vas@mail.ru](mailto:rusakov_vas@mail.ru),  
[komrad.fasakhov2017@yandex.ru](mailto:komrad.fasakhov2017@yandex.ru)

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

## О ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ПЕРИОД СНЕГОТАЯНИЯ

Предложен метод верификации результатов расчетов пространственного распределения снежного покрова с использованием данных космического мониторинга. Для выполнения количественного сравнения модельных карт с дешифрированными снимками обоснован выбор значения доли оставшегося снега в каждой ячейке карты – информации о наличии или отсутствии снежного покрова. Если значение доли  $\geq 0,5$ , то присваивается 1 – снег есть, если  $< 0,5$ , то присваивается 0 – снега нет. На основе оценки результатов моделирования снеготаяния в течение весеннего периода 2015 г. выявлено, что средняя сходимость площадей, занятых снегом на модельных картах и дешифрированных снимках, составила 72,38%.

*Ключевые слова:* снеготаяние, ГИС-технологии, моделирование пространственного распределения снежного покрова.



V.G. Kalinin, A.A. Shaydulina, V.S. Rusakov, M.A. Fasakhov,  
[vgkalinin@gmail.com](mailto:vgkalinin@gmail.com), [adelinash89@mail.ru](mailto:adelinash89@mail.ru), [rusakov\\_vas@mail.ru](mailto:rusakov_vas@mail.ru),  
[komrad.fasakhov2017@yandex.ru](mailto:komrad.fasakhov2017@yandex.ru)

*Perm State University, Perm, Russia*

## **ON THE VERIFICATION OF MODEL CALCULATIONS OF THE SNOW COVER SPATIAL DISTRIBUTION DURING THE SPRING PERIOD**

A method for verifying the results of calculations of the spatial distribution of snow cover using space monitoring data is proposed. To perform a quantitative comparison of model maps with interpreted space images, the choice of the value of the share of the remaining snow in each cell of the map – information on the presence or absence of snow cover – is justified. If the share value is  $\geq 0.5$ , then 1 is assigned – there is snow, if  $< 0.5$ , then 0 is assigned – there is no snow. Based on the assessment of the results of modeling snow melting during the spring period of 2015, it was revealed that the average convergence of areas occupied by snow on model maps and interpreted space images was 72.38%.

*Keywords:* snow melting, GIS technologies, modeling the spatial distribution of snow cover.

### ***Введение***

Изучение закономерностей снеготаяния является важным этапом для комплексной оценки объема и продолжительности весеннего половодья. Величина последнего определяется группой факторов, к важнейшим из которых относятся метеорологические условия и физико-географические особенности водосбора (залесенность, высотное положение, экспозиция склонов, почвенно-растительный покров, гидрографическая сеть и др.). Применение геоинформационных систем и технологий позволяет моделировать процессы формирования снеготаяния на основе картографических и метеорологических данных. Это крайне важно для своевременного принятия мер по предотвращению негативных последствий катастрофических явлений на реках, связанных с затоплением территорий.

### ***Материалы и методы исследования***

При моделировании снеготаяния за основу принят метод теплового баланса В.Д. Комарова [3], адаптированный Н.Д. Лебедевой для условий бассейна р. Камы [4]. Исходными данными являются максимальный снеготаяние и дата его наступления для поля и леса, дефицит влажности, температура воздуха и осадки в период таяния снежного покрова. Результаты расчетов представлены ежедневными значениями стаявшего и оставшегося снежного покрова для каждой ячейки растровой модели с последующим картографическим отображением его пространственного распределения на водосборе. Подробно этот метод рассмотрен в [1].

Следует отметить, что при использовании цифровых топографических карт масштаба 1:100000 и ГИС-технологий детально учитывается рельеф водосбора, а именно, его высотное положение и экспозиция склонов, которые оказывают значительное влияние на процессы накопления, распределения и таяния снежного покрова в весенний период.

Учет влияния высотного положения и экспозиции склонов возможен путем введения различных коэффициентов. Так, по зависимостям максимального

снегозапаса от высоты места определяются коэффициенты высотного положения для леса и поля [5]. Для учета влияния экспозиции склонов на процессы снеготаяния необходимо оценить распределение солнечной радиации на водосборе. Известно, что максимальные значения солнечной радиации приходятся на южные, минимальные – на северные склоны, а западные, восточные склоны и равнинная территория получают примерно равные значения. Поэтому для западных и восточных склонов, а также равнинной территории коэффициенты экспозиции приняты равными 1.

Для определения оптимальных коэффициентов экспозиции северных и южных склонов, а также их постоянства во времени, проведено моделирование величин снегозапаса и слоя стаявшего снега (мм) на каждый день периода снеготаяния за 2002, 2004, 2010 и 2015 гг. Сравнительный анализ полученных результатов с данными Пермского ЦГМС показал, что наименьшая величина относительной погрешности моделирования снегозапаса и слоя стаявшего снега наблюдается при использовании поправочных коэффициентов: для северных склонов – 0,5; для южных – 1,5; для западных, восточных и равнинной территории – 1,0 [2].

Достоинством применения ГИС-технологий является получение модельной карты пространственного распределения снежного покрова в пределах водосбора на любую дату. В связи с этим проверка правильности результатов моделирования возможна при их сравнении с фактическим оставшимся снежным покровом по космическим снимкам исследуемой территории. Для этого использованы снимки со спутника «Terra» серии EOS, полученные сканирующим спектрорадиометром среднего разрешения MODIS в формате GeoTiff (RGB, каналы 1, 4, 3), дешифрованные в программном пакете ScanEx Image Processor [6].

Исследование проведено на примере водосбора р. Коса – с. Коса (рис. 1) в период весеннего снеготаяния 2015 г.

Для количественной оценки результатов моделирования пространственного распределения снежного покрова использован следующий методологический подход:

- автоматическое дешифрирование космического снимка для определения фактической площади, занятой снегом, с последующей его трансформацией в растр;
- построение растровой модельной карты пространственного распределения снежного покрова на дату космического снимка с учетом коэффициентов экспозиции склонов и высоты местности;
- количественное сравнение модельной карты и дешифрованного снимка с использованием оверлейных операций для каждой растровой ячейки (где снег есть или нет).

В результате расчетов получаем два значения:

- величину пересечения расчетного растра с дешифрованным снимком;
- величину пересечения дешифрованного снимка с расчетным растром.

Обязательным условием сравнения растров являются одинаковая проекция, их пространственное разрешение и расположение ячеек строго друг под другом.

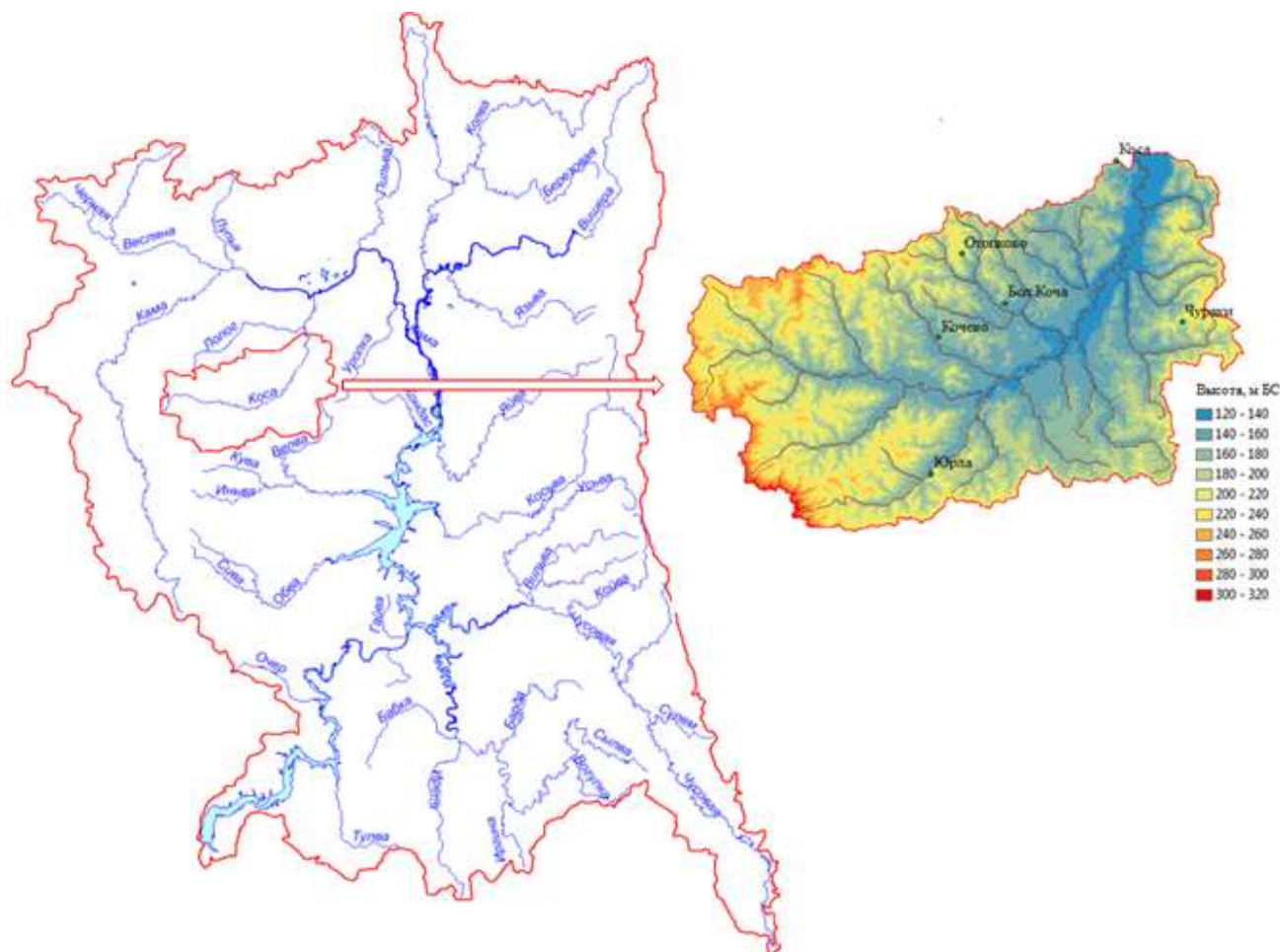


Рис. 1. Положение водосбора р. Косы в пределах водосбора Воткинского водохранилища

### **Анализ результатов**

При трансформации отдешифрованного космического снимка в растр в каждой ячейке последнего формируется информация о наличии (1), либо отсутствии (0) снежного покрова. В тоже время в результате модельных расчетов снеготаяния на дату снимка, в каждой растровой ячейке получаем величину оставшегося снежного покрова, причем как в абсолютных значениях (мм слоя), так и в относительных – в долях от единицы ( $0 \div 1$ ).

Для выполнения попиксельного сравнения этих двух растров необходимо, чтобы в каждой ячейке модельной карты также имелась информация о наличии (1), либо отсутствии (0) снежного покрова. Т.е. для каждой растровой ячейки вычисленное значение доли оставшегося снега следует округлить либо до 1, либо до 0. В качестве «критерия округления» принято значение 0,5 (если значение доли  $\geq 0,5$ , то присваиваем 1 – снег есть, если  $< 0,5$ , то присваиваем 0 – снега нет).

Для проверки правильности выбора такого критерия последовательно вычислена сходимость площадей двух растров при разных значениях доли оставшегося в ячейке снега ( $0,1 \div 0,9$ ) с шагом 0,2 (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты сравнения модельной карты и дешифрованного космического снимка для водосбора р. Коса – с. Коса на 15.04.2015 г.**

№ п/п	Доля оставшегося снега в ячейке	Величина пересечения расчетного раstra с дешифрованным космоснимком, %	Величина пересечения дешифрованного снимка с расчетным растром, %	Средняя сходимость площадей, %
1	0,1	82,58	91,74	87,16
2	0,3	82,30	89,29	85,79
3	0,5	82,19	88,34	85,26
4	0,7	82,15	81,81	81,98
5	0,9	83,75	25,83	54,79

Как видно из табл. 1, величина сходимости площадей практически не изменяется для значений  $0,1 \div 0,7$  доли оставшегося снега и составляет в среднем 85,05%. Средняя сходимость площадей, занятых снегом, увеличивается, если считать, что вся ячейка заполнена снегом при его реальном наличии лишь на 0,1 части площади ячейки (87,16%). Это связано с тем, что чем меньше значение доли оставшегося снега в ячейке, тем в большем количестве ячеек присутствует снег на модельной карте (рис. 2а). Последнее приводит к ложному увеличению площади пересечения дешифрованного снимка (рис. 2г) и модельной карты.

Обратная картина наблюдается в случае использования критерия 0,9: все ячейки, заполненные снегом на меньшую величину, при построении модельной карты окажутся свободными от снега (рис. 2в), что не соответствует действительности. Поскольку при дешифрировании космических снимков и присвоении ячейке информации о наличии либо отсутствии снежного покрова максимальная пространственная погрешность составляет половину размера ячейки [7], то для построения расчетного раstra справедливо использование критерия 0,5 (рис. 2б, г).

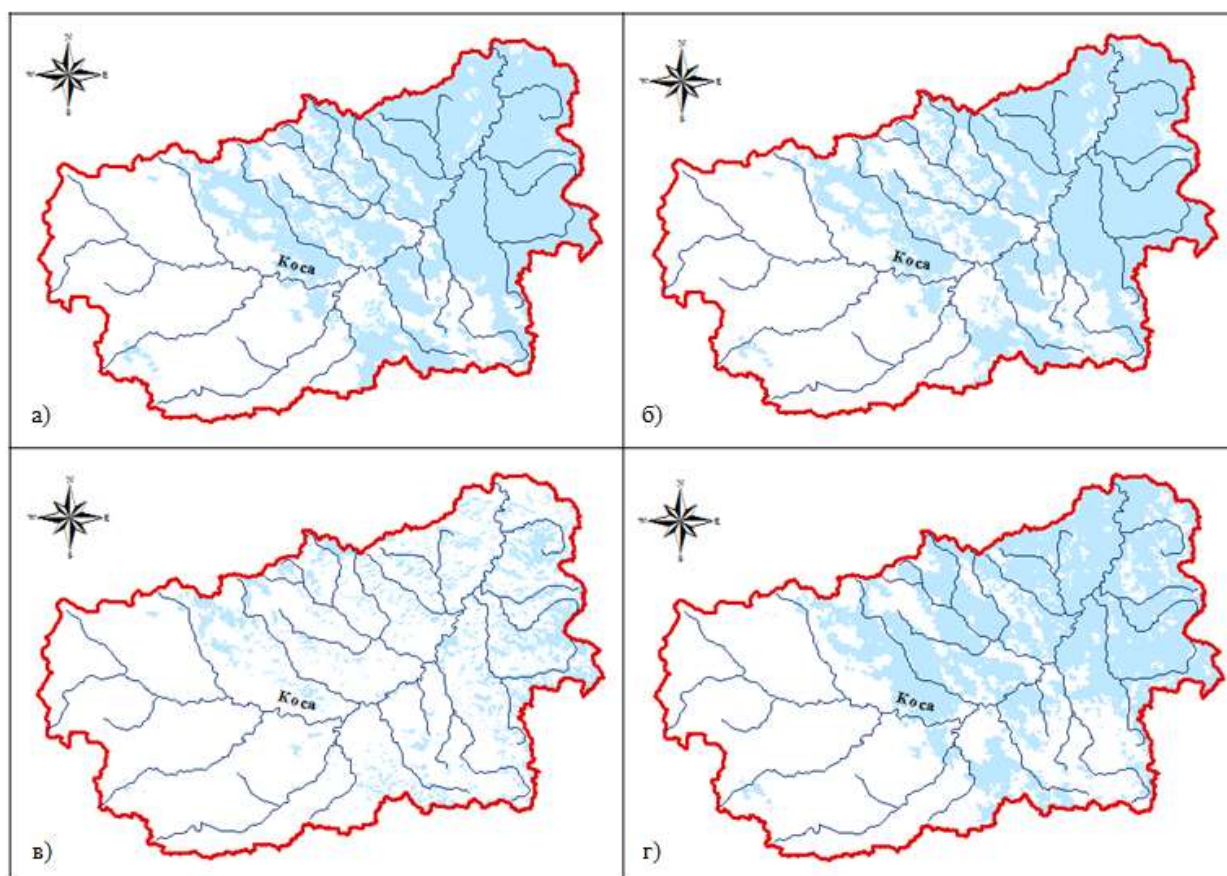


Рис. 2. Пространственное распределение снежного покрова в пределах водосбора р. Коса – с. Коса на 15.04.2015 г. Модельные карты созданы при разных значениях доли оставшегося снега в ячейке: а – 0,1; б – 0,5; в – 0,9; г – дешифрованный космический снимок. Наличие снега отмечено голубым цветом.

Выполнена количественная оценка результатов моделирования пространственного распределения снежного покрова в течение весны 2015 г. (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты сравнения модельных карт и дешифрованных космических снимков при использовании поправочных коэффициентов экспозиции склонов (северных – 0,5; южных – 1,5; западных, восточных и равнинной территории – 1,0) для водосбора р. Коса – с. Коса весной 2015 г.**

№ п/п	Дата	Величина пересечения расчетного раstra с дешифрованным космоснимком, %	Величина пересечения дешифрованного снимка с расчетным растром, %	Средняя сходимость площадей, %
1.	05.04	95,88	96,89	96,38
2.	05.04	57,97	89,18	73,57
3.	15.04	42,61	88,34	65,47
4.	28.04	64,51	43,70	54,10

Как видно из таблицы 2, средняя сходимость площадей модельных карт и дешифрованных космических снимков для весеннего периода 2015 г.



составляет 72,38%. Величина сходимости достигает своего минимума в конце периода снеготаяния. По-видимому, это связано с особенностями дешифрирования снежного покрова в конце весны. В процессе таяния снег начинает темнеть и при дешифрировании может распознаваться как талая земля.

### **Выводы:**

1. Учет интенсивности таяния снежного покрова в весенний период на склонах разной экспозиции возможен путем введения поправочных коэффициентов: для северных склонов – 0,5; для южных – 1,5; для западных, восточных и равнинной территории – 1,0.

2. Для верификации результатов моделирования пространственного распределения снежного покрова предложен методологический подход, в котором с использованием оверлейных операций реализовано сравнение модельных карт и данных космического мониторинга на наличие или отсутствие снега в каждой растровой ячейке.

3. Установлено оптимальное значение доли оставшегося снега для присвоения каждой ячейке расчетного раstra информации о наличии или отсутствии снежного покрова. Если значение доли  $\geq 0,5$ , то присваивается 1 – снег есть, если  $< 0,5$ , то присваивается 0 – снега нет.

4. Оценка результатов моделирования на примере весеннего периода 2015 г. показала, что средняя сходимость площадей модельных карт и дешифрированных космических снимков составляет 72,38%.

### **Библиографический список**

1. Калинин В.Г., Суманеева К.И., Русаков В.С. Моделирование пространственного распределения снежного покрова в период весеннего снеготаяния // Метеорология и гидрология, 2019. №2. С. 74–85.

2. Калинин В.Г., Шайдулина А.А., Русаков В.С., Фасахов М.А. К вопросу об учете влияния экспозиции склонов в расчетах снеготаяния // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках [Электронный ресурс]: матер. междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф., под общ. ред. П.С. Лопуха. Минск: БГУ, 2021. С. 392–397.

3. Комаров В.Д. О процессах формирования половодья на малой реке и предвычислении его гидрографа // Труды ЦИП, вып. 6 (33). 1947.

4. Лебедева Н.Д. Расчет снеготаяния и метод краткосрочного прогноза даты наступления максимального уровня половодья на р. Каме // Тр. ЦИП, вып. 94. М.: Гидрометеиздат, 1959. С. 15-33.

5. Микова К.Д., Трифонова Е.В. Вопросы об использовании эмпирических зависимостей для прогноза дат начала весеннего половодья // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: матер. междунар. науч. - практ. конф. Челябинск. АБРИС, 2008. С. 80–82.

6. [Электронный ресурс] <http://researchpark.spbu.ru/kgt-metods-rus/1192-kgt-modis-rus> Дата обращения 06.07.2020.

7. [Электронный ресурс] <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/data-management-toolbox/resample.htm> Дата обращения 21.02.2021.

А.С. Калугин, [andrey.kalugin@iwp.ru](mailto:andrey.kalugin@iwp.ru)  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИТОКА ВОДЫ В КАМСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

Рассмотрены результаты оценки влияния будущих изменений климата на динамику сезонного и годового притока воды в Камское водохранилище, полученные на основе региональной модели формирования стока и ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана.

*Ключевые слова:* изменения климата, моделирование формирования стока, Камское водохранилище.

A. Kalugin, [andrey.kalugin@iwp.ru](mailto:andrey.kalugin@iwp.ru)  
*Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

## **MODELLING OF CHANGES IN THE INFLOW INTO THE KAMA RESERVOIR**

The results of evaluating the impact of future climate changes on the dynamics of seasonal and annual water inflow into the Kama reservoir using the regional runoff formation model and the ensemble of atmosphere-ocean general circulation models are considered.

*Keywords:* climate change, modelling of runoff formation, the Kama reservoir.

### ***Введение***

Годовой приток воды в Камское водохранилище составляет почти четверть от среднегодового стока Волги. Среднесуточный приток воды в водохранилище за многолетний период получен на основе синтеза измеренного стока в створах рек, впадающих в водохранилище, и восстановленного стока с территории, не охваченной гидрометрическими наблюдениями, по рекам-аналогам. В XXI в., по сравнению с 1980-ми, 1990-ми годами, приток воды в Камское водохранилище уменьшился на 8%. Это связано с сокращением речного стока за теплый период с мая по октябрь на 14% из-за уменьшения количества осадков на 5% и увеличения дефицита влажности воздуха на 10%. Наибольшее сокращение притока воды в Камское водохранилище характерно для июля-августа – на 23%, а осадки в эти месяцы стали меньше на 16%.

Основной задачей данного исследования являлась оценка изменений внутригодового режима речного стока для водосбора р. Камы до Камской ГЭС на период XXI в. на базе откалиброванной и проверенной на независимых рядах данных модели его формирования. Применяемый подход, объединяющий гидрологическую модель с глобальными моделями климата (General Circulation Models, GCMs), позволяет в наибольшей степени учесть разнообразие физических механизмов реакции гидрологической системы на будущие климатические воздействия.

### ***Материалы и методы исследования***

На первом этапе была разработана региональная физико-математическая модель формирования стока для бассейна р. Камы на основе информационно-моделирующего комплекса ECOMAG [1;2], описывающая все основные процессы гидрологического цикла. Исходной информацией для модели послужили глобальные базы данных параметров подстилающей поверхности и многолетние ряды станционных наблюдений за гидрометеорологическими характеристиками. Использовались среднесуточные данные наблюдений на 39 метеостанциях. Калибровка модели проводилась по данным о расходах воды за период 2000–2014 гг., верификация – за период 1986–1999 гг. При этом в качестве целевых функций соответствия рассчитанного стока фактическому были выбраны критерии NSE и PBIAS.

Для численных экспериментов на будущий период были использованы данные климатических моделей CMIP5, подготовленные Потсдамским институтом климатических исследований (проект ISIMIP <https://www.isimip.org/>) путем интерполяции исходных данных на сетку  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  и проведения процедуры устранения систематических погрешностей расчета метеовеличин в среднемесечном разрешении с использованием реанализа. Таким образом, были подготовлены метеоданные на территорию бассейна р. Камы, необходимые для гидрологической модели, по четырем климатическим моделям: GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC5.

В качестве базового исторического периода был принят двадцатилетний период 1986–2005 гг., для которого была проведена оценка точности воспроизведения ансамблем указанных климатических моделей сезонных норм среднебассейновых метеорологических величин в сравнении с данными станционных наблюдений. Для оценки изменчивости сезонных гидрометеорологических характеристик период с ноябрь по март рассматривался как зимний, апрель-май – весна и половодье, с июня по октябрь – лето-осень.

Для проведения численных экспериментов на период до конца XXI века использовались метеоданные GCMs с учетом двух RCP-сценариев: RCP 2.6 и RCP 6.0. По разработанной модели формирования стока проводились расчеты на XXI век с теми же параметрами, что были установлены при расчетах за исторический период. Возможные в течение XXI века изменения климатических и гидрологических характеристик в бассейне р. Камы оценивались путем расчета аномалий этих величин, т.е. относительного изменения в сравнении со значениями базового периода 1986–2005 гг. для каждой GCM, после чего проводилось осреднение по ансамблю и двадцатилетним периодам, соответствующим середине (2040–2059 гг.) и концу (2080–2099 гг.) XXI века.

### ***Результаты и их обсуждение***

Результаты соответствия фактического и рассчитанного притока воды в Камское водохранилище за период калибровки и верификации модели формирования стока представлены в таблице 1. Гидрологическая модель позволяет достаточно точно ( $NSE > 0.90$  и  $|PBIAS| < 10\%$ ) рассчитывать



среднесуточный речной сток за многолетний период по данным станционных наблюдений и может быть использована для проведения численных экспериментов совместно с глобальными моделями климата. За референсный период гидрологическая модель позволяет рассчитать сток р. Камы с точностью NSE 0.94 и PBIAS –6% (табл. 1). Стоит отметить робастность модели при переходе от одного периода расчета к другому.

Таблица 1

**Статистические критерии оценки соответствия рассчитанного и фактического стока р. Камы за период калибровки и верификации модели его формирования**

<i>Створ</i>	<i>Площадь водосбора, тыс. км<sup>2</sup></i>	<i>2000–2014 гг.</i>		<i>1986–1999 гг.</i>		<i>1986–2005 гг.</i>	
		<i>NSE</i>	<i>PBIAS, %</i>	<i>NSE</i>	<i>PBIAS, %</i>	<i>NSE</i>	<i>PBIAS, %</i>
Камская ГЭС	168	0.93	–7	0.93	–4	0.94	–6

Оценка точности воспроизведения ансамблем климатических моделей годовых и сезонных норм среднебассейновых метеорологических величин в сравнении с данными станционных наблюдений за референсный период 1986–2005 гг. показала, что погрешность расчета среднегодовой температуры воздуха на водосборе Камского водохранилища составила 0,3°C, а весенней и летней до 0,5°C (табл. 2). Климатические модели завышают зимние осадки на 11%, занижают весенние и летние на 7% и 6% соответственно, при погрешности расчета годовой суммы осадков –1%.

Таблица 2

**Относительные погрешности определения норм среднегодовых и сезонных метеохарактеристик и стока р. Камы, рассчитанных по данным GCMs в сравнении с данными станционных наблюдений за период 1986–2005 гг.**

<i>Период</i>	<i>Температура воздуха, °C</i>	<i>Осадки, %</i>	<i>Речной сток, %</i>
Зима	–0,1	11	–8
Весна	0,5	–7	–4
Лето-осень	0,5	–6	12
Год	0,3	–1	1

Результаты расчета нормы годового стока р. Камы по разработанной модели его формирования с использованием метеоданных ансамбля GCMs за базовый период показали, что относительная погрешность расчета составила 1% относительно фактического стока. При этом зимний и весенний приток воды в Камское водохранилище занижены на 8% и 4% соответственно, а летне-осенний сток завышен на 12%.

В итоге используемый ансамбль GCMs воспроизводит региональные особенности атмосферной циркуляции в речном бассейне за исторический период и может быть применен для оценки возможных изменений исследуемых характеристик в бассейне р. Камы в течение XXI века. Полученные результаты аномалий норм среднебассейновых метеохарактеристик и речного стока представлены в таблице 3.

**Изменения (аномалии) норм метеохарактеристик, осредненных по площади бассейна р. Камы, и речного стока, рассчитанные по данным GCMs на середину и конец XXI века согласно сценариям RCP 2.6 / RCP 6.0 относительно соответствующих значений за исторический период**

<i>Характеристика</i>	<i>Период</i>	<i>Середина XXI века</i>	<i>Конец XXI века</i>
Температура воздуха, °С	Зима	2,6 / 2,5	2,3 / 5,1
	Весна	2,2 / 2,1	1,9 / 4,1
	Лето-осень	1,9 / 2,2	1,8 / 3,9
	Год	2,2 / 2,3	2,0 / 4,4
Осадки, %	Зима	11 / 8	7 / 20
	Весна	-1 / -1	2 / 7
	Лето-осень	1 / -5	3 / 4
	Год	4 / 0,1	4 / 10
Речной сток, %	Зимняя межень	7 / 8	9 / 62
	Половодье	3 / -8	1 / -7
	Лето-осень	-26 / -39	-16 / -41
	Год	-7 / -17	-4 / -10

Результаты расчетов по ансамблю GCMs показали, что возможный рост среднегодовой температуры составит 2–2,2°С по сценарию RCP 2.6, а по RCP 6.0 к середине и концу столетия 2,3°С и 4,4°С соответственно. Наибольшие темпы потепления (на 2,5–5°С) характерны для зимнего периода. При этом увеличение годовых сумм осадков по RCP 2.6 будет около 4%, а по сценарию RCP 6.0 к концу XXI в. на 10%. Наибольшее изменение осадков отмечено для зимы: рост на 7–20% в зависимости от периода и RCP-сценария. Весенние и летне-осенние осадки почти без изменений в середине XXI века, а в конце столетия увеличиваются на 2–7%.

Результаты расчетов по ансамблю GCMs показали, что возможное сокращение стока р. Камы в XXI в. составит 4–7% по сценарию RCP 2.6, а по RCP 6.0 – 17% и 10% к середине и концу столетия соответственно. При этом характерен рост стока в период зимней межени на 7–62%, уменьшение летне-осеннего стока на 16–41%, изменение стока за период весеннего половодья до 8% в зависимости от периода XXI века и RCP-сценария. Основной причиной уменьшения будущего стока р. Камы является увеличение испарения в связи с усилением потепления на водосборе Камского водохранилища. Подобные результаты изменения будущего водного режима получены ранее для бассейна р. Оки [3]. Различие заключается в том, что для Оки отмечено значительное уменьшение водности в период весеннего половодья, в отличие от Камы, из-за большего влияния зимних оттепелей и перераспределения весеннего стока в пользу зимнего.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-77-00077).*

### Библиографический список

1. *Калугин А.С.* Единая гидрологическая модель Волжского бассейна // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: труды всерос. науч. конф. М.: Студия Ф1. 2019. С. 155–160.
2. *Мотовилов Ю.Г.* ЕСОМАГ // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. 2013. № 2013610703.
3. *Kalugin A.S.* The impact of climate change on surface, subsurface and groundwater flow: a case study of the Oka River (European Russia) // *Water Resources*. 2019. V. 46. No. S2. P. S31–S39.

УДК 556.552

А.Б. Китаев, [kitaevab1953@gmail.com](mailto:kitaevab1953@gmail.com)

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

### ОЦЕНКА ВОДНОСТИ В КАМСКОМ И ВОТКИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ В МНОГОЛЕТНЕМ АСПЕКТЕ

Показана трансформация понятия «водность года» при прохождении вод через Камское и Воткинское водохранилище, осуществляющих регулирование речного стока. Представлено несоответствие в величинах водности речных вод и вод, движущихся по водоемам каскада и, чем дальше от входного створа, тем больше это несоответствие. В основу исследования положены материалы многолетнего периода (1956-2004 гг.).

*Ключевые слова:* водохранилище, водность года, приток воды, сброс вод через гидроузел.

A.B. Kitaev, [kitaevab1953@gmail.com](mailto:kitaevab1953@gmail.com)

*Perm State University, Perm, Russia*

### ASSESSMENT OF WATER LIFE IN KAMSK AND VOTKINSK RESERVOIRS IN A LONG-TERM ASPECT

The transformation of the concept of "water content of the year" during the passage of waters through the Kamsky and the Votkinsk reservoir carrying out the regulation of the river flow. There is a discrepancy in the values of water water and waters moving along the cascade ponds and, the farther from the input, the greater the inconsistency. The study is based on the materials of the perennial period (1956-2004).

*Keywords:* reservoir, water, water inflow, water discharge through the hydroelectric complex.

В настоящее время, как в России, так и за рубежом при исследовании речного стока широко используется понятие «водность года». Деление временного периода по величине водности стока достаточно четко описано в монографической, нормативной и учебной литературе [1-17]. В тоже время в исследованиях искусственных водоемов, и прежде всего водохранилищ и их

каскадов, также используется этот термин. Возникает вопрос о справедливости автоматического переноса оценки водности года для речных вод к водоемам, осуществляющих их регулирование в интересах различных отраслей хозяйства, и прежде всего энергетики.

Целью исследования является изучение трансформации водности речных вод при продвижении их по водохранилищу или каскаду искусственных водоемов. Объекты исследования – Камское и Воткинское водохранилища. Временной интервал в исследовании начинался с момента образования водоемов (1956 г. для Камского и 1962 г. для Воткинского) и заканчивался 2004 г.

Для анализа многолетнего распределения стока в различные по водности годы, были использованы данные среднегодовых объемов воды, поступающей в Камское и Воткинское водохранилище в многолетнем аспекте по основным элементам, таким как: приток по основной реке и боковая приточность. По каждому водоему была определена обеспеченность объемов поступающей воды, с помощью программы StokStat, построены эмпирические кривые обеспеченности поступления воды по основным составляющим водного баланса. Это дало основание поделить ранжированный ряд на 5 частей: очень многоводные годы ( $P < 16,7\%$ ), многоводные годы ( $16,7\% \leq P < 33,3\%$ ), средние по водности годы ( $33,3\% \leq P \leq 66,7\%$ ), маловодные годы ( $66,7\% < P \leq 83,3\%$ ) и очень маловодные годы ( $P > 83,3\%$ ) [17]. В ходе исследования была построена кривая обеспеченности объема воды, поступающего в Камское водохранилище по основной реке + боковая приточность. Данная эмпирическая кривая построена за многолетний период с 1956 по 2004 гг. Ее анализ показал, что четко выделяются различные по водности годы. Естественное поступление стока в Камское водохранилище выражается гладкой эмпирической кривой, и лишь 1971 и 1967 г. имеют небольшое отклонение от нее, имея обеспеченность 2,2% и 97,8%, соответственно. Прежде всего, это говорит о том, что естественное регулирование оказывает «балансирующее» воздействие на объем водохранилища, и то, что маловодные годы в дальнейшем компенсируются многоводными, и наоборот. В дальнейшем была построена эмпирическая кривая обеспеченности притока воды в Воткинское водохранилище исходя из сброса воды через плотину Камской ГЭС. Данная эмпирическая кривая была построена за многолетний период с 1956 по 2004 гг. Проанализировав эту эмпирическую кривую, видна несколько другая картина, нежели, чем на Камском водохранилище. Заметно выделяются годы, которые сильно отклоняются от эмпирической кривой, что говорит о том, что здесь оказывает влияние искусственное регулирование стока, а конкретно определенное количество сброса воды через турбины Камской ГЭС. Прежде всего, это значит, что регулирование стока гидроузлом оказывает огромное воздействие на объем водохранилища. Годы одной водности не обязательно будут повторяться на Камском и Воткинском водохранилищах, и иметь одинаковую обеспеченность.

По Воткинскому водохранилищу была проделана такая же работа, в ходе выполнения которой была построена эмпирическая кривая обеспеченности притока воды в Воткинское водохранилище исходя из сброса через КамГЭС и

боковой приточности. Проанализировав эту эмпирическую кривую можно сделать вывод о том, что боковая приточность тоже оказывает влияние на регулирование стока, хотя на Воткинском водохранилище данный приходной компонент невелик, но он также неодинаков в различные по водности годы.

Еще одним этапом данного анализа было построение эмпирической кривой обеспеченности объема сброса воды через Воткинскую ГЭС за многолетний период, а именно с 1962-2004 гг. Анализ ее позволил отметить, что картина схожа с приходной частью водного баланса Воткинского водохранилища. Прежде всего, это связано с тем, что основной частью объема воды поступающей в Воткинское водохранилище является сброс через Камскую ГЭС, что также является искусственным регулированием, как и сброс через Воткинский гидроузел. В многолетнем аспекте годы одной водности не обязательно будут повторяться на различных участках водохранилища.

Завершающим этапом анализа было сравнение водности в различных частях Камского и Воткинского водохранилищ (таблица). Из полученных данных видно, что характерные по водности годы не одинаковы на различных участках водохранилищ. Так, одни из самых многоводных лет исходя из притока по основной реке и боковой приточности в Камское водохранилище (1965 или 1971 г.), не являются самыми многоводным по величине сброса воды через КамГЭС, и на других участках ниже по течению. Отмеченные годы на остальных участках являются просто многоводными. Также стоит отметить 1974 г., который на первых двух участках является многоводным, а переходя на участки Воткинского водохранилища, впоследствии оказался очень многоводным, к этому же числу можно отнести 2002 г., только он является многоводным на первом участке, а далее, на остальных трех участках является очень многоводным. Очень интересным является 1999 г. Он на первом своем участке имеет среднюю водность, на втором участке является очень многоводным, а на участках Воткинского водохранилища является многоводным годом. 1986 и 1978 гг. на первых трех участках относятся к очень многоводным годам, а на последнем участке (сброс воды через плотину Воткинской ГЭС) имеет многоводную фазу. Стоит отметить 1979 г., который на первых двух и последнем участке является очень многоводным годом, на третьем участке имеет среднюю водность. Связано это, прежде всего, с малым количеством бокового притока в данном году ( $0,13 \text{ м}^3 \cdot 10^9$ ). 1965 г. на первом своем участке имеет очень многоводную фазу, а на остальных трех – многоводную. 1980 г. на первом своем участке является очень маловодным, в дальнейшем его водность изменилась на просто маловодную. 1976 г. на первом участке и на двух участках Воткинского водохранилища является очень маловодным годом, на втором же участке Камского водохранилища он является маловодным годом. 1982 г. на участках Камского водохранилища, и на втором участке Воткинского является очень маловодным годом, а на первом участке этого водоема является малым по водности годом. Даже, исходя из обилия годов, водность которых отличается на различных участках водохранилищ, стоит отметить годы, в которых водность не менялась на участках. Так, к очень многоводным годам, можно отнести 1993,

1994 гг., интерес вызывает то, что эти годы идут друг за другом. К малым по водности годам относится только лишь 2004 г. К очень маловодным годам относятся 1988, 1977, 1975 и 1967 гг. Также стоит отметить годы, где ни единого совпадения лет на всех участках водохранилищ. Прежде всего, это говорит о влиянии антропогенных и природных факторов на водный баланс, а конкретнее на регулирование стока (сброс определенного количества воды через плотины КамГЭС и ВотГЭС), и неодинаковое распределение атмосферных осадков в разных частях водохранилищ.

Таблица

**Оценка характерных по водности лет в различных частях Камского и Воткинского водохранилищ (фрагмент по очень экстремальным годам)**

Камское водохранилище (основная река+ боковая приточность)		Камское водохранилище (сброс через КамГЭС)		Воткинское водохранилище (сброс через КамГЭС + боковая приточность)		Воткинское водохранилище (сброс через ВотГЭС)	
1971	Очень многоводные годы	1994	Очень многоводные годы	1994	Очень многоводные годы	1994	Очень многоводные годы
1986		1993		1993		1993	
1965		1986		1978		2002	
1993		2002		2002		1990	
1978		1978		1974		1979	
1979		1979		1986		1974	
1994		1999					
1976	Очень маловодные годы	1956	Очень маловодные годы	1997	Очень маловодные годы	1976	Очень маловодные годы
1980		1982		1975		1982	
1982		1976		1977		1988	
1988		1988		1989		1975	
1977		1975		1967		1967	
1975		1977		1988		1977	
1967		1967					

**Выводы.** Оценка притока вод в Камское и Воткинское водохранилища за многолетний период показала, что происходит его трансформация при прохождении речной водной массы по водоемам. Причина – регулирование стока речных вод, поступающих в водоем. Наиболее ярко это проявляется при каскадном регулировании стока.

**Библиографический список**

1. *Владимиров А.М.* Сток рек в маловодный период года. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 293с.
2. *Владимиров А.М.* Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 365с.
3. *Волчек А., Шелест Т.* Паводочный сток рек Беларуси. Современное состояние и прогноз. Саарбрюкен: LAMBERT, 2015. 199с.

4. *Горошков И.Ф.* Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 433с.
5. *Губарева Т.* Максимальный сток рек в бассейне Амура. Закономерности формирования и методы расчетов. Саарбрюкен: LAMBERT, 2011. 140с.
6. *Добровольский С.Г.* Глобальные изменения речного стока. М.: ГЕОС, 2011. 660с.
7. *Евстигнеев В.М.* Речной сток и гидрологические расчеты. М.: МГУ, 1990. 304с.
8. *Евстигнеев В.М., Магрицкий Д.В.* Практические работы по курсу «Речной сток и гидрологические расчеты». М.: МГУ, 2013. 304с.
9. *Евстигнеев В.М., Магрицкий Д.В.* Речной сток. Методические основы современной практики гидрологических расчетов. М.: МГУ, 2016. 224с.
10. *Клибышев К.П., Горошков И.Ф.* Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 460с.
11. *Клименко Д.Е.* Годовой сток рек Урала. Пермь, 2011. 196с.
12. *Комлев А.М.* Закономерности формирования и методы расчетов речного стока. Пермь, 2002. 162с.
13. *Магрицкий Д.В.* Речной сток и гидрологические расчеты. Компьютерный практикум: учеб. пособие. М.: Юрайт, 2017. 184с.
14. *Макаревич А.А., Яротов А.Е.* Речной сток и русловые процессы. Минск: БГУ, 2019. 115с.
15. *Соколовский Д.Л.* Речной сток. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 540с.
16. *Фролова Н.П.* Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока. М.: Юрайт, 2016. 802с.
17. СП 33-101-2003. Определение расчетных гидрологических характеристик. М., Госстрой России, 2004. 70 с.

УДК 630\*116.11, 556.121.3

Д.Е. Клименко<sup>1</sup>, А.Л. Остахова<sup>2</sup>, [klimenkodi@rambler.ru](mailto:klimenkodi@rambler.ru)

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

## **ОЦЕНКА БЕЗВОЗВРАТНОГО УДЕРЖАНИЯ ЖИДКИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЛУГОВЫМИ ТРАВСТОЯМИ СРЕДНЕГО УРАЛА**

В статье рассматриваются вопросы взаимосвязи атмосферных осадков и растительности. Оценка перехвата осадков растительностью вообще и травостоями в частности представляет собой важнейшую задачу в описании процессов формирования

поверхностного стока. Травяной покров может удерживать дождевые осадки целиком, препятствуя их проникновению в почву. В настоящем исследовании представлены экспериментальные данные по предельному удержанию дождевых осадков для травостоев Среднего Урала, основанные на анализе масс опытных образцов в процессе их искусственного дождевания. Разработаны связи ёмкости удержания осадков с площадью листовой поверхности трав и их зелёной массой. Определены величины потерь дождевых осадков: для трав под пологом леса они оказываются незначительными – не более 0,1–0,2 мм, на полянах – 1–2 мм, на вырубках – 2–4 мм, что сопоставимо со слоем осадков отдельных дождей. Результаты получены впервые и могут быть использованы при оценке фактического поступления дождя на поверхность грунтов, изменения водности рек в ходе сукцессий лесов.

*Ключевые слова:* лесная гидрология; травостой; дожди; перехват атмосферных осадков; листовая поверхность.

D. Ye. Klimenko<sup>1</sup>, A. L. Ostakhova<sup>2</sup>, [klimenkodi@rambler.ru](mailto:klimenkodi@rambler.ru)

<sup>1</sup>*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russia*

<sup>2</sup>*Perm State National Research University, Perm, Russia*

## **ASSESSMENT OF IRRETRIEVABLE RETENTION OF LIQUID ATMOSPHERIC PRECIPITATION BY MEADOW GRASSES OF THE MIDDLE URALS**

The process of retaining precipitation by grass vegetation is important in the processes of moisture circulation in forest landscapes. At the same time, there is an erroneous opinion that grasses are not able to retain a significant amount of rain moisture, which further forms the river flow. For this reason, the question remains poorly understood. In turn, grass stands are able to retain rainfall on their leaves in whole or in part. It depends on the duration and intensity of the rain. The leaves of grass stands have a specific morphology and are arranged more vertically than the leaves of woody plants; therefore, moisture on the leaves of grasses is held in film and drip forms (in woody plants - only in drip). When droplets roll down the stem, water is trapped in bowl-shaped recesses or funnels of grass leaves. The article discusses the relationship of precipitation and vegetation. The authors conducted field experiments on the retention of rainfall by grasses that grow in the landscapes of the Middle Urals. The experiments consisted of artificial sprinkling of grass samples and their subsequent weighing (weight experiments). In the course of the experiments, the connections were developed for the retention capacity of rain deposited on the leaves of species of grass vegetation with the leaf surface area of grass stands and their green mass. The magnitude of the loss of rainfall on grass stands is comparable with the magnitude of the rainfall of individual rains. According to the results of the experiment, it was found that under the forest canopy, the interception of precipitation is 0.1–0.2 mm, in the clearings – 1–2 mm, in the clearings – 2–4 mm. The results can be used to assess the actual rainfall to the surface of the soil and to calculate the change in the discharge of water from rain floods on rivers as a result of forest successions.

*Keywords:* forest hydrology; grass stands; rains; interception of precipitation; leaf surface (LAI).

### ***Введение***

В современных гидролого-экологических исследованиях укрепилось мнение о том, что травостой задерживают ничтожное количество осадков. Ролью травостоев в процессе влагооборота лесов часто пренебрегают. В процессе сукцессий лесов и смене их травяной растительностью проникновение дождевых



осадков в почвогрунты может оказаться меньшим, нежели было в условиях лесных ландшафтов, что сказывается на гидрологическом режиме рек лесной зоны.

Целью настоящего исследования является определение величин безвозвратного удержания дождевых осадков в ходе отдельных дождей на листовой поверхности травостоев в период максимального развития зелёной массы лугов.

### ***Изученность***

Встречающиеся в иностранной литературе сведения указывают на большой диапазон значений ёмкости травостоев в зависимости от вида растительности и её густоты. Как отмечает Г.У. Лалл [9; 14], высокие травы задерживают до 84% осадков, выпадающих с интенсивностью 3,2 мм за 30 мин, и 47% при интенсивности 25,4 мм [7].

Значительная водоудерживающая способность травостоев предопределена высокими величинами индекса листовой поверхности (LAI, га/га), превышающим эти показатели для древостоев. Специальный подсчет листовой поверхности травостоев проводился на Подмосковной воднобалансовой станции [6]. Когда травостой достигает высоты 15–20 см, то листовая поверхность достигает 15–20 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>2</sup> поверхности. Распространённые в различных климатических условиях травяные сообщества имеют большие листовые индексы, чем лесные насаждения.

### ***Материалы и методы***

Экспериментальные работы проводились на следующих видах травяных растений, распространённых на лесных водосборах Среднего Урала: пырейник волокнистый (*Elymus fibrosus*), осока корневищная (*Carex rhizina*), крапива (глухая и двудомная) (*Lamium album* L., *Urtica dioica* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfasa* L.).

С репрезентативных площадок размером 40×40 см под корень срезалась вся произрастающая трава и вручную подсчитывалось количество растений и количество листьев на каждом растении. Определялось количество листьев, из которых формировалась случайная выборка (20–30 листьев) и определялись геометрические размеры каждой листовой пластины в выборке; рассчитывались статистические параметры: средняя (нормальная) площадь листовой пластины, а также характеристики изменчивости площади (коэффициент вариации) и скоса (коэффициент асимметрии) (табл. 1). Для определения ёмкости удержания воды на листовых пластинах проводилось искусственное дождевание срезанных растений с использованием установки, сконструированной и собранной авторами (подача воды осуществляется в виде пыли через отверстия в 6 алюминиевых трубках, расположенных параллельно). Подробно методика описана в [2; 8-9].

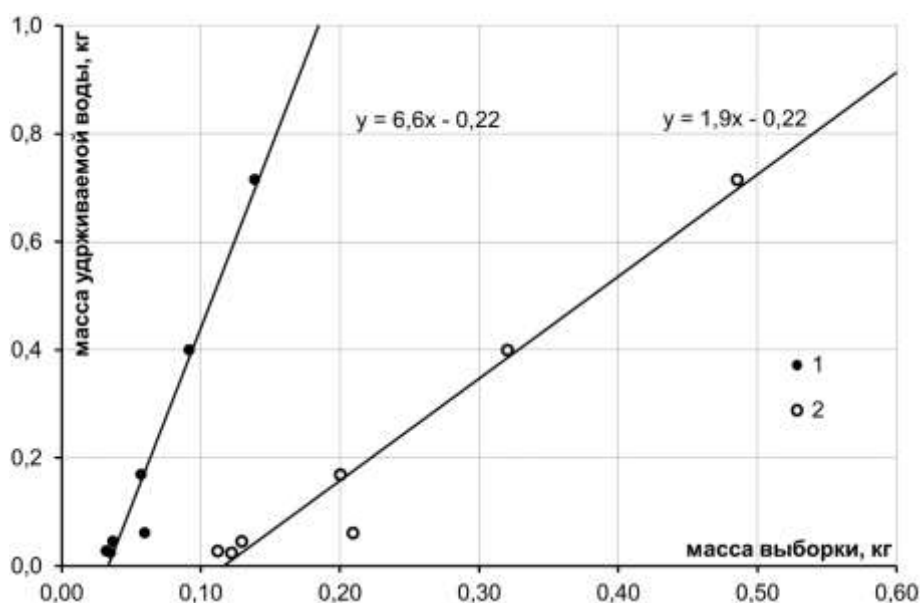
**Статистические параметры размеров листовых пластин  
анализируемых травостоев**

Наименование породы травостоя	Статистические параметры площади листовой поверхности, м <sup>2</sup>		
	Норма	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
Ежа сборная ( <i>Dactylis glomerata</i> L.)	0,0011	0,18	0,54
Одуванчик лекарственный ( <i>Taraxacum officinale</i> Wigg.)	0,0044	0,06	-0,31
Полынь обыкновенная ( <i>Artemisia vulgaris</i> L.)	0,0017	0,45	0,43
Мать-и-Мачеха обыкновенная ( <i>Tussilago farfasa</i> L.)	0,0095	0,35	-0,27

Растения закреплялись вертикально в металлической решётке. Весовым способом определялись суммарная зелёная масса в состоянии до дождевания и максимальная во время дождевания. Разность масс соответствует предельной водоудерживающей способности.

### **Результаты и их обсуждение**

Важнейшим результатом проведенных экспериментальных работ является получение фактических данных по ёмкостям удержания дождевых осадков на листовой поверхности анализируемых травостоев. Эмпирические данные интерпретированы в виде зависимостей ёмкости предельного удержания воды от величины зелёной массы или площади листовой поверхности (рисунок).



Зависимости предельной ёмкости удержания дождевых осадков травяной растительностью от величины зелёной массы (1) и сухой массы (зеленой массы в пересчете на сено) (2)

В пересчете на слой осадков, наибольшие величины удержания характерны для осоки корневищной (*Carex rhizina*) – 7,9 мм; пырейника волокнистого (*Elymus fibrosus*) – 2,5 мм; крапивы (глухой и двудомной) (*Lamium album* L. и *Urtica dioica* L.) – 1,1 мм. Для других анализируемых трав величины удержания менее 0,5 мм. Величины удержания оказываются существенно

меньше слоя осадков, перехваченного лиственными и хвойными древостоями [2; 8-9]. В то же время слой осадков, затраченных на смачивание травостоев, сопоставим с суммой осадков за отдельные дожди, потому пренебрегать им в расчетах паводочного стока нельзя.

Ввиду того, что для целей гидрологических расчетов необходимо иметь представление о пространственном распределении потерь жидких осадков на достаточно больших площадях (от 0,1 до 200 км<sup>2</sup>), были предприняты попытки оценки величины зелёной массы лугов в период её максимального развития.

Зависимость продуктивности пастбищ от сомкнутости полога древостоев показана в таблице 2. Для определения сухой фитомассы по зелёной массе травы использованы коэффициенты [1]: для лесных сенокосов 3–4, для заливных низинных лугов 4–4,5, для суходолов 2,5–3.

Таблица 2

**Урожайность сырой травы, т/га [1]**

<i>Относительная полнота</i>	<i>Лиственные древостои</i>	<i>Хвойные древостои</i>
0,8–0,9	0,2–0,3	0,1–0,2
0,5–0,6	0,9–1,3	0,6–1,0
0,3–0,4	1,8–2,8	1,5–2,0
0,1–0,2	3,0–5,0	3,0–5,0
На полянах	3,0–5,0	3,0–5,0
На вырубках	7,0–10,0	6,0–10,0

Под пологом леса величины перехвата осадков оказываются незначительными – не более 0,1–0,2 мм. На полянах слой перехваченных осадков достигает 1–2 мм, а на вырубках – 2–4 мм. Похожие величины водоудержания травами были получены В.П. Лоховым: скошенные луговые травы задерживают одновременно 1,4 мм, зелёные мхи 9,8 мм и лишайники 4,5 мм воды [3].

**Выводы**

Приведённые данные свидетельствуют, что задержание осадков травостоями в среднем немного меньше задержания их лесными насаждениями. Если слой дождя 10 мм, то при задерживающей способности растительного покрова в 1 мм через него пройдет 9 мм осадков. При выпадении дождей до 1 мм с интервалами, достаточными для обсыхания смоченных листьев, сквозь них осадки не проникают. Так как большинство видов растительного покрова имеет задерживающую способность не менее 1 мм, то можно допустить, что почти все осадки до 1 мм перехватываются ими. Таких осадков в течение года во всех зонах России наблюдается в среднем 25%. Приходная часть водного баланса лесных почв оказывается больше, чем почв незалесённых площадей.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-05-00448*

**Библиографический список**

1. Грязькин А.В., Потокин А.Ф. Недревесная продукция леса: Учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2005. 152 с.

2. *Клименко Д.Е., Остахова А.Л.* Моделирование потерь дождевых осадков на кронах хвойных древостоев // Лесоведение, 2020, №2 (принята в печать).
3. *Лохов Д.П.* Учет осадков, задерживаемых лесом, методом дождевания // Метеорология и гидрология. 1938. № 6. С. 97–104.
4. *Рахманов В.В.* Водоохранная роль лесов. М., 1962. 236 с.
5. *Рахманов В.В.* Лесная гидрология. Итоги науки и техники. Лесоведение и лесоводство. ВИНТИ. М., 1981. Т. 3. 184 с.
6. *Субботин А.И.* Влияет ли лес на осадки? // Лесоведение. 1979. №5. С. 13–18.
7. *Burgy R.H., Pomeroy C.R.* Interception losses in grassy vegetation // Transactions, American Geophysical Union. 1958. №6. P. 1095–1100.
8. *Klimenko D.Ye., Ostakhova A.L.* Modeling Of Rain Losses On The Crowns Of Coniferous Stands Of The Urals // Practical Geography and XXI Century Challenges. International Scientific and Practical Conference, 4–6 June 2018, Moscow. Conference Book. Moscow: Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 2018. P. 416–418.
9. *Klimenko D.Ye., Ostakhova A.L., Tuneva A.* Experimental Data on Maximum Rainfall Retention on Crowns of Deciduous Tree Species of the Middle Ural (Russia) // Forests, 10(2):183, 2019. DOI: 10.3390/f100201832019.

УДК 627.8.034.72

И.А. Ковязина, Д.С. Баяндина [irinakoviazina@mail.ru](mailto:irinakoviazina@mail.ru)

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

## **ОЦЕНКА ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

В работе представлена изученность вопроса о стоке взвешенных наносов с водосбора камских водохранилищ. Приведены критерии выбора рек-аналогов для восполнения рядов наблюдений за мутностью. Рассчитаны среднемесячные значения расходов взвешенных наносов за многолетний период (1958-1983 гг.) и проанализировано внутригодовое распределения величины стока взвешенных наносов по основным замыкающим створам Камского водохранилища.

*Ключевые слова:* водохранилище, наносы, сток взвешенных наносов, река-аналог, мутность, твердые частицы.

## **ESTIMATION OF THE INTRA ANNUAL DISTRIBUTION OF THE SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF OF THE MAIN TRIBUTARIES OF THE KAMA RESERVOIR**

The paper presents the study of the issue of suspended sediment runoff from the catchment area of the Kama reservoirs. Criteria for the selection of analogous rivers for replenishing the series of observations of turbidity are given. The average monthly values of suspended sediment discharge for a long-term period (1958-1983) were calculated, and the intra-annual distribution of the suspended sediment runoff value along the main outlet sections of the Kama Reservoir were analyzed.

*Keywords:* reservoir, sediment, suspended sediment runoff, analogue river, turbidity, solid particles.

### ***Введение***

Трудно переоценить изучение стока взвешенных наносов и мутности речных вод при решении целого ряда геоэкологических задач. Наиболее просто геоэкологическая интерпретация может быть сведена к проблеме отражения интенсивности денудации на поверхности водосбора [8].

Водохранилища, выполняя свои основные функции – накопления пресной воды и регулирования водного стока, задерживают транспортировку терригенного материала во внутренние и окраинные моря континентов, внося существенный дисбаланс в глобальный круговорот вещества и энергии.

Главной особенностью искусственных водоемов является большая пространственная неоднородность, внутригодовая и многолетняя изменчивость гидрологических, морфометрических и гидрохимических характеристик состояния экосистем. Регулирование уровня воды обуславливает особый, присущий только водохранилищам гидроэкологический режим, который определяет специфику формирования, распределения, накопления и качественного состава поступающих наносов [5].

Внутригодовое распределение расхода наносов определяется фазами водности, которые определяют поступление аллохтонного вещества в водный объект – продукты смыва и выветривания грунтов подстилающей поверхности водосбора. Также интенсивность поступления грунта извне в одинаковые фазы водности для разных лет определяется водностью и метеорологической обстановкой отдельного года [10].

Ранее в работах [1;2;7] принимались попытки количественного учета стока взвешенных наносов с замыкающих створов Камского водохранилища. Также Кузнецовой в [6] была проведена предварительная оценка внутри годового распределения стока взвешенных наносов за период 1958-1978 гг. Однако в работе учитывались материалы наблюдений лишь по пяти гидрологическим постам - Кама-Тюлькино, Косьва-Останино, Обва-Карагай, Сылта-Подкаменное, Чусовая-Лямино. К сожалению, на таких крупных притоках как Яйва и Иньва наблюдения за мутностью с последующим вычислением расходов взвешенных наносов не проводились.

### ***Материалы и методы исследования***

В качестве исходных данных были использованы измеренные и среднемесячные значения расходов взвешенных наносов за период 1958-1983 гг., опубликованные в гидрологических ежегодниках [3].

На вышеперечисленных постах, ведущих наблюдения за мутностью, имелись пропуски в рядах наблюдений за отдельные годы. При восполнении пропущенных среднемесячных значений расходов взвешенных наносов был использован метод построения зависимостей расходов взвешенных наносов от расходов воды  $R=f(Q)$  по данным лет-аналогов.

Восстановление рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов на замыкающих створах Яйва-Усть-Игум и Иньва-Слудка проводилось с использованием материалов рек-аналогов.

При выборе реки-аналога выполнена оценка и сравнение ведущих факторов, определяющих формирование стока наносов двух рек (СП, Горошков) [4;9]:

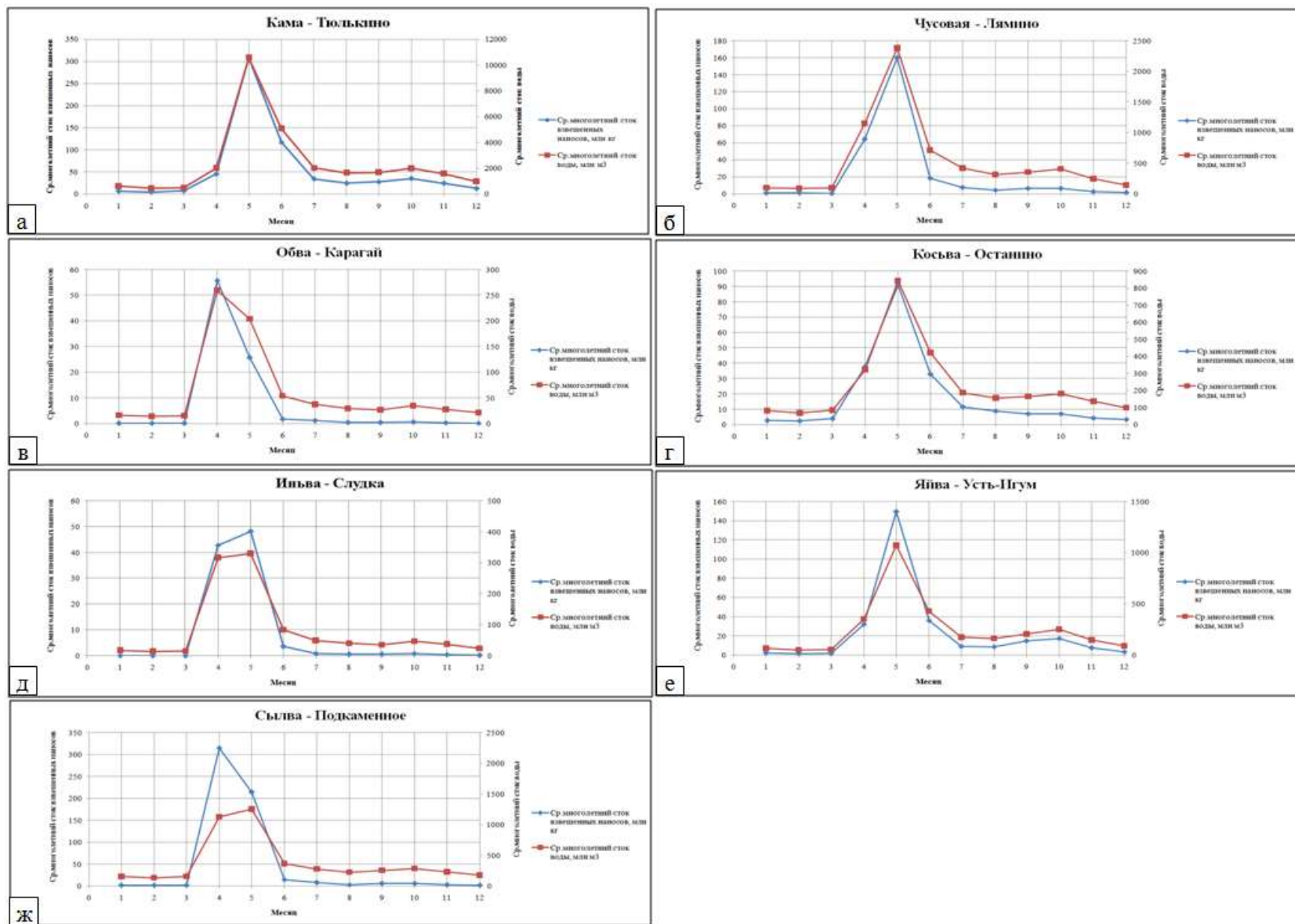
- пространственной структуры колебаний рассматриваемой гидрологической характеристики;
- однотипности стока рек аналогов и исследуемой реки;
- географической близости расположения, уклона и площади водосборов;
- однородности условий формирования стока, сходства климатических условий, однотипности почв (грунтов) и гидрогеологических условий, степени озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;
- средних высот водосборов, экспозиции склонов и гипсометрии;
- факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование речного стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и другие нужды).

Самым важным параметром при выборе реки-аналога для расчета стока взвешенных наносов являлась схожесть почвенных и геологических условий водосбора, поскольку именно они определяют скорость и количество поступающих наносов.

Так, для замыкающего створа Яйва-Усть-Игум был выбран аналог – Косьва-Останино, для Иньва-Слудка – Обва-Карагай.

Среднемесячные значения стока взвешенных наносов были рассчитаны как произведение среднемесячных расходов взвешенных наносов и количество секунд в том, или ином месяце. Сумма полученных величин стока в месяц представляет собой значение годового стока взвешенных наносов (млн. кг).

Для проведения оценки внутригодового распределения стока взвешенных наносов выполнено осреднение за многолетний период месячных его значений по следующим гидрологическим постам: Кама-Тюлькино, Косьва-Останино, Яйва-Усть-Игум, Обва-Карагай, Иньва-Слудка, Сытва-Подкаменное, Чусовая-Лямино (рисунок).



Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов на основных притоках Камского водохранилища

### ***Анализ результатов***

Анализ распределения среднесуточных значений стока взвешенных наносов позволил выявить тесную зависимость времени наступления максимальных расходов воды и максимальных расходов наносов. Самые большие расходы наносов отмечаются в период половодья. В эту фазу водного режима происходит активное таяние снега и смыв твердых частиц с поверхности водосбора. Затопление пойменных участков также сопровождается вовлечением в водный поток почвенного покрова и других материалов эрозии. На период половодья приходится 72-96% годового стока взвешенных наносов, в то время как расходы водного стока этого периода составляют 58-72% годового. Минимальные расходы наносов отмечены в меженный период и составили не более 14% в целом по бассейну.

Для рек Кама, Иньва, Косьва, Яйва, Чусовая пики максимальных расходов воды и максимальных расходов наносов совпадали и отмечались в мае месяце (рис. а, б, г, д, е). В то время как на р. Обве и р. Сылве аналогичная картина наблюдалась в апреле, при этом выявлено несовпадение сроков наступления максимальных расходов воды и максимальных расходов наносов на посту Сылва-Подкаменное (рис. в, ж). Здесь максимальные расходы наносов отмечаются в апреле, тогда как максимальные расходы воды зафиксированы только в мае. Это может быть вызвано затуханием эрозионных процессов на водосборе и аккумуляцией части наносов в затопленной пойме реки, так как выход воды на пойму сопровождается снижением транспортирующей способности потока.

Наибольшие значения стока взвешенных наносов наблюдались преимущественно на левобережных притоках Камского водохранилища. Они в свою очередь имеют горный характер, отличаются высокими скоростями течения и как следствие большим стоком. Правобережные притоки являются типично равнинными реками с широкими, хорошо выраженными долинами и сравнительно спокойным течением.

Максимальные годовые значения стока взвешенных наносов отмечены на гидрологическом посту Сылва-Подкаменное (1,12 млн т за 1970 г.). Это явление может быть вызвано тем, что на р. Сылве пойма представлена пашнями и луговой растительностью. Также на р. Сылве зачастую встречаются обрывистые берега, сложенные суглинком, что способствует более интенсивному развитию эрозионных процессов.

Наименьшие годовые значения стока взвешенных наносов наблюдались на р. Обве (0,01 млн тонн за 1976 г.), так как река является правобережным притоком Камского водохранилища, находящимся в условиях равнинного рельефа, и как следствие имеет меньшие скорости течения, а также небольшой расход воды.

### ***Выводы***

Таким образом, учет внутригодовых особенностей распределения стока взвешенных наносов имеет большое значение при проведении количественной оценки величины твердого вещества, поступающего в водохранилище по его основным притокам.



Наблюдается тесная зависимость между значениями расходов воды и расходов взвешенных наносов рек. При этом максимум величин обоих параметров приходится на период весеннего половодья (72-96% годового стока взвешенных наносов и 58-72% годового стока воды). Наименьшие значения расходов взвешенных наносов отмечаются в период летней и зимней межени (14% годового стока).

### **Библиографический список**

1. Балков В.А. К вопросу о твердом стоке бассейна Камы до г. Перми // Вопросы географии и охраны природы Урала. Пермь, 1960. Вып. II-IV. С.1-7.
2. Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 160 с.
3. Гидрологический ежегодник. Т.4. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Бассейн реки Камы. Л: Гидрометеиздат, 1958-1983.
4. Горошков И.Ф. Гидрологические расчёты. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 432 с.
5. Законнов В.В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: автореф. дисс. ...д-ра геогр. наук. М., 2007. 52 с.
6. Кузнецова Л.А. Заиление камских водохранилищ // Комплексные исследования гидрологии и водной экологии камских водохранилищ и рек их водосборов. Межвуз. сб. научн. трудов. Пермь: Изд-во ПГУ, 1987 С. 38-49.
7. Кузнецова Л.А. Формирование донных отложений равнинных водохранилищ (на примере Камского водохранилища): дисс. ... канд. геогр. наук. Пермь, 1981. 224 с.
8. Мозжерин В.И., Мозжерин В.В. Мировой сток взвешенных наносов: его геоморфологическая и геоэкологическая интерпретация // Геоморфология. №1. 2011. С. 13-24.
9. СП 33-101-2003 Свод правил по проектированию и строительству «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».
10. Шмакова М.В. Методология решения геоэкологических задач, связанных с оценкой твердого стока водных объектов: дисс. ... канд. геогр. наук. Пермь, 2020. 313 с.

## **ВОДНЫЙ БАЛАНС ОЗЕРА ЧАНЫ В МНОГОВОДНЫЕ И МАЛОВОДНЫЕ ПЕРИОДЫ**

Представлены результаты исследования водного баланса бессточного озера Чаны после отделения Юдинского плеса (за период 1971-2018 гг.). Подтверждено, что наиболее существенное влияние на изменение уровня водоема оказывает колебание водности впадающих в него рр. Каргат и Чулым. Впервые рассчитаны средние годовые величины составляющих водного баланса для выявленных многоводных и маловодных периодов после отделения Юдинского плеса, соответствующих фазам подъема и спада уровня озера.

*Ключевые слова:* бессточное озеро, уровень воды, водный баланс, речной приток, атмосферные осадки, испарение, многоводные и маловодные периоды

O.V. Kondakova, [kondakova@iwep.nsc.ru](mailto:kondakova@iwep.nsc.ru)

*Institute for Water and Environmental problems SB RAS, Barnaul, Russia*

## **WATER BALANCE OF LAKE CHANY IN HIGH-WATER AND LOW-WATER PERIODS**

The results of investigation of closed lake Chany water balance after the separation of the Yudinskiy pool (1971-2018) are performed. It was confirmed that the most significant influence on the water level fluctuation comes from changes in the discharge of the Kargat and Chulyum rivers feeding the lake. For the first time the average annual values of the Lake Chany water balance components for the revealed high-water and low-water periods, corresponding to the phases of rise and decrease of the lake water level after the separation of the Yudinskiy pool are calculated.

*Keywords:* closed lake, water level, water balance, river inflow, precipitation, evaporation, high-water and low-water periods

### ***Введение***

Бессточное оз. Чаны является самым крупным естественным водоемом Западно-Сибирской равнины и имеет важное рыбохозяйственное и экологическое значение. Важнейшей природной особенностью оз. Чаны является цикличность колебаний уровня воды, обусловленная изменениями общей увлажненности территории, особенно ярко выраженной на границе степной и лесостепной зон, где расположен водоем. В связи с этим озеро является своеобразным индикатором проявления фаз повышенной и пониженной водности всего региона [6;7].

В течение последних 200 лет лесостепные и степные пространства, среди которых расположено оз. Чаны, постепенно усыхают. В последней четверти XVIII в., площадь озер Чановской системы достигала 10-12 тыс. км<sup>2</sup>, в начале XIX в. составляла 5,0-5,5 тыс. км<sup>2</sup>, в начале XX в. – около 3000 км<sup>2</sup>, а к 1960 г. снизилась до 2300 км<sup>2</sup> [7].

В сентябре 1971 г. для сохранения рыбохозяйственного значения водоема от его основной части системой дамб был отделен Юдинский плес (рис. 1). Это позволило сократить потери на испарение с поверхности озера и создать условия для повышения уровня воды за счет распределения на меньшую площадь притока впадающих в него рек Каргат и Чулым [7]. Площадь озера после отделения Юдинского плеса (за 1971-2018 гг.) в среднем составила 1580 км<sup>2</sup> (при среднемноголетнем уровне воды 106,01 м БС-77), изменяясь в пределах от 1285 км<sup>2</sup> (при уровне воды 105,19 м БС-77) до 1925 км<sup>2</sup> (при 107,04 м БС-77).

Изменение уровня воды в озере происходит при нарушении равновесия между приходными и расходными статьями его водного баланса [5]. В зависимости от того, какая из статей баланса преобладает, уровень воды повышается или понижается.

В статье рассматриваются результаты расчетов уточненного среднего многолетнего водного баланса оз. Чаны после отделения Юдинского плеса, а также средних годовых величин его элементов отдельно для многоводных и маловодных периодов (за 1971-2018 гг.).



Рис. 1. Схема озера Чаны [4]

### **Материалы и методы исследования**

Водный баланс оз. Чаны по гидрологическим годам (с ноября предыдущего по октябрь текущего года) рассчитывался согласно рекомендациям [8]. Приходные статьи водного баланса бессточного оз. Чаны – приток рр. Каргат и Чулым и атмосферные осадки; расходная статья – испарение с поверхности

озера. Атмосферные осадки (X) и приращение уровня воды ( $\Delta H$ ) рассчитаны по данным постов, расположенных на берегах озера: Квашнино, Таган, Городище, Яркуль (рис.1). С 2007 г. все водомерные посты на озере привязаны к Балтийской системе высот 1977 года (БС-77) [3]. Испарение в теплый период с водной поверхности определялось по формуле А.П. Браславского и З.А. Викулиной, в холодный период с поверхности снега – по формуле П.П. Кузьмина [7]; значения метеоэлементов, входящих в расчетные формулы, приняты по станции Квашнино.

Речной приток (Y) к оз.Чаны получен суммированием расходов воды рек Каргат (с. Здвинск) и Чулым (с. Старогоностаево) и уточнением их величин с учетом стока с площадей водосборов ниже водомерных постов (по модулям стока с вышележащих участков). Площадь озера в зависимости от уровня воды определялась по морфометрической кривой, построенной в ИВЭП СО РАН [4]. В расчетах были использованы данные Н.П. Смирновой [10] об атмосферных осадках и испарении за 1971–1983 гг.

### *Анализ результатов*

Выполнен расчет составляющих водного баланса по гидрологическим годам за период 2001-2018 гг. Уточнены величины за 1971–2000 гг. слоя речного притока полученные ранее в работе [9], с учетом новых морфометрических характеристик [4]; рассчитаны средние значения составляющих водного баланса за период после отделения Юдинского плеса.

Годовые величины элементов водного баланса оз. Чаны за 1971-2018 гг. в среднем составили: речной приток – 298 мм или  $0,47 \text{ км}^3$  (48% от приходной части), атмосферные осадки на поверхность озера – 324 мм или  $0,51 \text{ км}^3$  (52%); суммарное испарение – 571 мм или  $0,90 \text{ км}^3$ . Средняя невязка водного баланса ( $\eta$ ) за рассматриваемый период составила 3,1 % по отношению к приходной части. Причинами невязки водного баланса оз. Чаны являются несовершенство методов измерений и расчетов его составляющих, отсутствие сведений о подземном и боковом притоке в озеро.

Подтверждено, что наиболее существенное влияние на изменение уровня воды оз.Чаны оказывает колебание речного притока. Коэффициент корреляции за 1971–2018 гг. между приращением уровня и притоком по гидрологическим годам составил 0,87; приращением уровня и осадками – 0,56; приращением уровня и испарением – (–0,33). Основные фазы уровенного режима оз. Чаны достаточно хорошо отражают изменчивость речного притока к озеру [1;2]. Сопоставление графика изменения среднегодовых уровней озера и разностной интегральной кривой суммарного годового стока рр.Каргат и Чулым показывает, что характер колебаний уровня воды в озере и смены фаз водности речного притока совпадают (рис. 2).

На основе анализа разностной интегральной кривой притока к оз. Чаны за 1971-2018 гг. выявлены маловодные и многоводные периоды (таблица), которым соответствуют фазы подъема и спада уровней воды в озере. В расчетах были учтены сведения о периодах повышенной и пониженной водности за 1971-

2000 г., приведенные в работах [6;7]. Водность выражена модульным коэффициентом – отношением среднего объема притока за рассматриваемый период к среднему многолетнему ( $Y/Y_{\text{ср}}$ ). Для выделенных периодов определены средние годовые значения составляющих водного баланса (таблица). Установлено, что в последние годы (2014-2018 гг.) на озере Чаны наблюдается повышение уровня воды, обусловленное высокими величинами речного притока (рис.2).

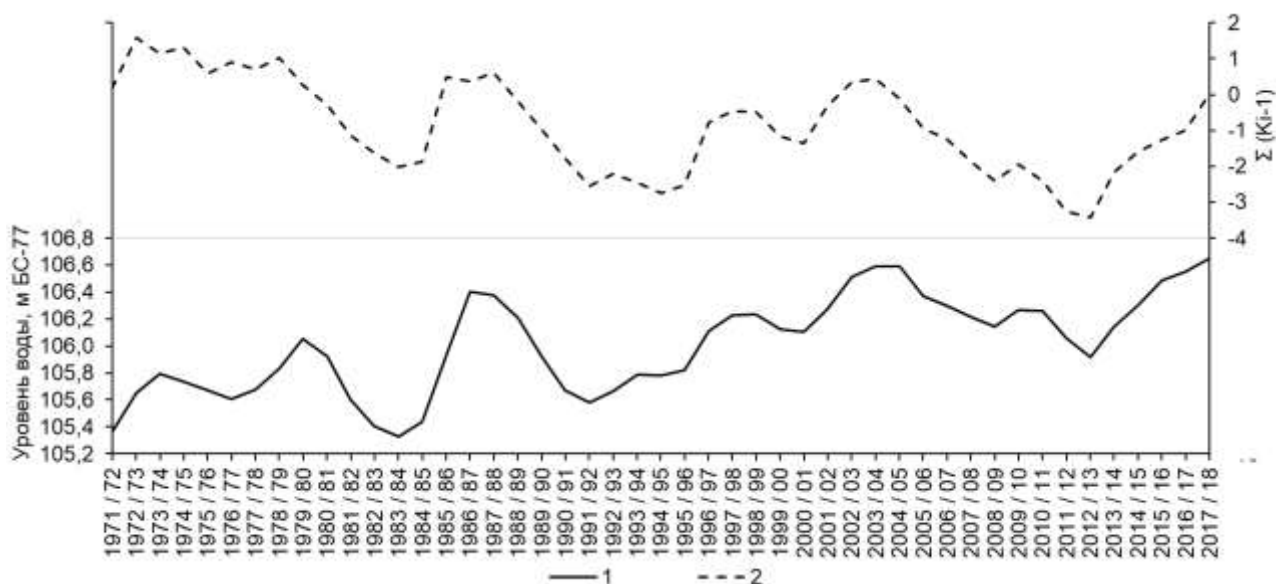


Рис. 2. Колебания среднегодового уровня оз. Чаны (1) и разностная интегральная кривая суммарного притока рек Каргат и Чулым (2) за 1971–2018 гг.

Таблица 1

**Водный баланс оз. Чаны в многоводные и маловодные периоды  
(за 1971-2018 гг.)**

Периоды	Число лет	$Y/Y_{\text{ср}}$	Характеристика периода по водности	$Y$ , мм	$X$ , мм	$E$ , мм	$\Delta H$ , мм	$\eta$ , %
1971/72 – 1978/79	8	1,13	Многоводный	385	346	619	91	-0,8
1979/80 – 1983/84	5	0,39	Маловодный	135	321	612	-144	-4,2
1984/85 – 1987/88	4	1,65	Многоводный	510	325	514	238	9,5
1988/89 – 1991/92	4	0,21	Маловодный	67	320	535	-176	6,9
1992/93 – 2003/04	12	1,25	Многоводный	361	320	537	86	6,2
2004/05 – 2012/13	9	0,57	Маловодный	157	304	558	-67	-8,8
2013/14 – 2017/18	5	1,68	Многоводный	441	335	632	164	-3,7

**Выводы**

Впервые выполнен расчет водного баланса бессточного озера Чаны отдельно для многоводных и маловодных периодов после отделения Юдинского плеса. Рассчитаны составляющие водного баланса озера (речного притока, атмосферных осадков, испарения) за 2001-2018 гг. по гидрологическим годам, уточнены их средние многолетние величины за период 1971-2018 гг.

Подтверждено, что наиболее существенное влияние на изменение уровня воды оз. Чаны оказывает колебание водности впадающих в него рек Каргат и Чулым. Коэффициент корреляции между речным притоком и приращением уровня воды в озере за рассматриваемый период составил 0,87. Показана синхронность колебаний уровня воды в озере и смены фаз водности рек. На основе анализа разностной интегральной кривой притока к оз. Чаны за 1971-2018 гг. выявлены маловодные и многоводные периоды, которым соответствуют фазы повышения и понижения уровней воды в озере. Для выделенных периодов рассчитаны средние годовые величины составляющих водного баланса.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН.*

### **Библиографический список**

1. Баева А.А., Бережных Т.В. Водный баланс озера Чаны и многолетняя изменчивость его составляющих // Тр. ЗапСибРНИГМИ. 1976. Вып. 22. С. 38–43.
2. Васильев О.Ф., Вострякова Н.В., Охалин С.Н., Савкин В.М. Изменение гидрологических условий и развитие береговых процессов при создании Карасук-Чановской водохозяйственной системы // Мелиоративные и водохозяйственные проблемы Сибири. Новосибирск: Наука СО, 1989. С. 130–138.
3. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2010 г. Ч.2. Т.1. Вып.10. Новосибирск: Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2011. 96 с.
4. Кондакова О.В., Савкин В.М., Дзуреченская С.Я., Марусин К.В. Водный баланс и характеристики минерализации бессточного озера Чаны // География и природные ресурсы. 2020. № 1. С. 122-129.
5. Крицкий С.Н. Методика анализа и расчета колебаний уровня замкнутых водоемов // Водные ресурсы. 1973. № 6. С. 9-26.
6. Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь) – Новосибирск: Академ. изд-во «Гео». 2015. 255 с.
7. Пульсирующее озеро Чаны /Под ред. Н.П. Смирновой, А.В. Шнитникова. Л.: Наука, 1982. 301 с.
8. Рекомендации по расчетам водного баланса крупных озер и водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 99 с.
9. Савкин В.М., Орлова Г.А., Кондакова О.В. Современный водный баланс бессточного озера Чаны // География и природные ресурсы. 2006. №1. С. 123–130.
10. Смирнова Н.П. Водный баланс за 1978–1983 гг. и за период 1971–1983 гг. с учетом новых морфометрических характеристик // Отчет по теме “Изучение материалов и анализ условий оз. Чаны”. Л.: Институт озераведения, 1985. С. 15–36.

Е.А. Коробкина, И.А. Филиппова, [irinafil@yandex.ru](mailto:irinafil@yandex.ru)  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРИТОК К МОСКВОРЕЦКО-ВАЗУЗСКОЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**

Проанализирована динамика многолетних колебаний притока к водохранилищам Москворецко-Вазузской гидротехнической системы (МВГС) за различные временные интервалы. Показано существенное изменение параметров распределений притока. Сделан вывод о необходимости уточнения правил эксплуатации МВГС в условиях изменения гидрологического режима.

*Ключевые слова:* приток, изменения климата, Москворецкая система водохранилищ, нестационарность гидрологического режима

E. Korobkina, I. Filippova, [irinafil@yandex.ru](mailto:irinafil@yandex.ru)  
*Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

## **CLIMATIC CHANGES IMPACT ON THE INFLOW TO THE RESERVOIRS OF THE MOSCOW WATER SUPPLY SYSTEM**

The dynamics of long-term fluctuations in the inflow to the reservoirs of the Moscow water supply system for different time intervals is analyzed. The article deals with part of the Moscow water supply system, namely Moskvoretskaya water system and Vazuzskaya hydrotechnical system (MVHS). A significant change in the parameters of the inflow distribution is shown. It is concluded that it is necessary to clarify the rules for the operation of reservoirs system under conditions of hydrological regime changes.

*Keywords:* inflow, climate change, Moskvoretskaya system of reservoirs, non-stationary hydrological regime

### ***Введение***

Функционирование стратегически важных объектов питьевого водоснабжения, таких как системы водохранилищ, находится в тесной зависимости от гидрологического режима рек, питающих эти системы. Определение расчетных характеристик эксплуатации таких систем производилось на момент их проектирования и строительства в середине прошлого века и опиралось на данные многолетних наблюдений. Проектные параметры были получены исходя из гипотезы стационарности, принятой в то время в качестве основной и базовой. Изменения климата привели к значительным нарушениям гидрологического режима рек ЕТС [3], что несомненно влияет и на эффективность работы водохранилищ на этой территории, в том числе и системы водохранилищ питьевого водоснабжения г. Москвы. В работе проанализирован средний годовой приток к водохранилищам Москворецко-Вазузской гидротехнической системы (МВГС), а

также изучено изменение режима притока к водохранилищам за водохозяйственные интервалы.

### ***Материалы***

Москворецко-Вазузская гидротехническая система (МВГС) является составной частью сложной технической системы водоснабжения г. Москвы. Сток р. Москвы и ее притоков регулируется водохранилищами Москворецкой водной системы (МВС) – Истринским, Можайским, Рузским и Озернинским, вода из которых поступает по р. Москве к Рублевскому гидроузлу. Вазузское и Яузское водохранилища осуществляют многолетнее регулирование стока р. Вазузы, притока Волги, и работают в режиме компенсированного регулирования стока боковой приточности р. Москвы между, с одной стороны, Истринским, Можайским, Рузским и Озернинским гидроузлами и, с другой стороны, Рублевским гидроузлом.

В работе использованы данные по притоку к МВГС за период 1914-2018 гг. с шести водосборных участков – бассейны Истринского, Можайского, Рузского, Озернинского, Вазузского водохранилищ и незарегулированная часть водосбора. Поскольку два компонента системы – Яузское и Верхнерузское водохранилища – на функционирование МВГС не оказывают существенного влияния, детального анализа их притока в работе не приводится.

### ***Анализ результатов***

Режим среднего годового притока ко всем водохранилищам МВГС подвергся изменениям в период 1975-1978 гг. и в настоящее время характеризуется увеличением водности (рис. 1). Исключением является Рузское водохранилище, средний годовой приток к которому остается в рамках гипотезы стационарности.

Анализ притока к Вазузскому водохранилищу по месяцам показал, что гипотеза стационарности не выполняется также и для большинства изучаемых среднемесячных рядов притока. Перераспределение притока к Вазузскому водохранилищу во внутригодовом разрезе повторяет тренд, выявленный для водохранилищ Москворецкой водохозяйственной системы (МВС) [2] – увеличение притока в период зимней и летней межени, и уменьшение в период половодья (рис. 2). Наибольшие изменения наблюдаются в период зимней межени. Такая же закономерность выявлена для многолетних рядов расходов воды за лимитирующие и нелимитирующие периоды.



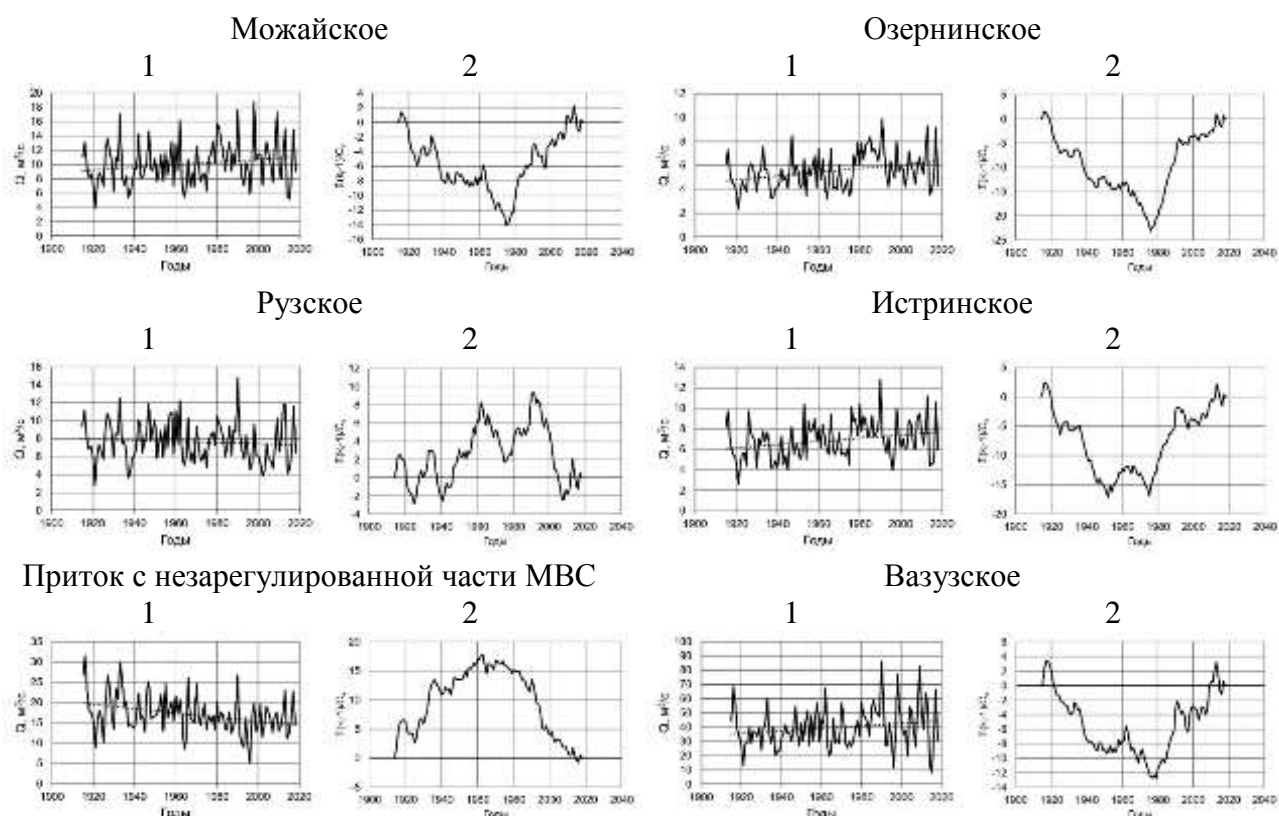


Рис. 1. Динамика среднего годового притока к водосборным участкам МВГС:  
1 – хронологический график, 2 – разностная интегральная кривая

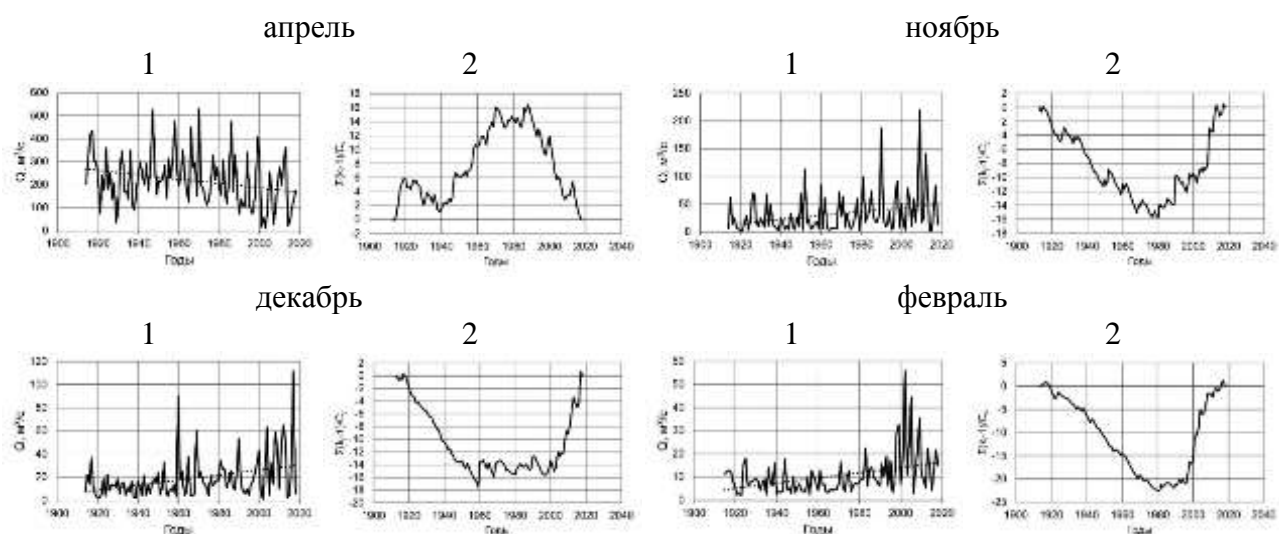


Рис. 2. Динамика среднего месячного притока к Вазузскому водохранилищу:  
1 – хронологический график, 2 – разностная интегральная кривая

Для гидрологических и водохозяйственных расчетов в таких случаях принимается гипотеза нестационарности [1; 4], согласно которой ряды делятся на условно стационарные части в точке перехода из одного стационарного состояния в другое. Эти части отдельно подвергаются статистической обработке и полученные параметры распределений используются для имитационного моделирования. Такой подход позволяет учесть в расчетах максимум

имеющейся информации об особенностях поведения стока в каждый период. Для всех нестационарных рядов притока к МВГС принята единая дата перехода в новое условно стационарное состояние – 1978 г.

Параметры распределения вероятностей нестационарных рядов среднемесячного притока к шести рассматриваемым водосборным участкам МВГС рассчитаны как для всего периода наблюдений, так и для двух условно стационарных частей ряда: базового – до 1979 и текущего – после 1979 г. Среднее и дисперсия существенно изменились за последние 40 лет, наибольшие изменения наблюдаются в период зимней межени (январь, февраль) – среднее увеличилось примерно в 2 раза, дисперсия увеличилась в 2 и более раз с незначительным увеличением  $C_v$ . Самым большим увеличением дисперсии характеризуется приток к Вазузскому и Можайскому водохранилищам в январе – в 3,5 и 4,4 раза, соответственно. Для притока апреля некоторое снижение среднего обусловлено климатическими изменениями смещения сроков наступления половодья с апреля на более ранние даты второй половины марта. Изменения среднего годового притока к водохранилищам МВГС вследствие разнонаправленных изменений меженного стока и стока в период половодья не настолько значительны и составляют от 15 до 20% параметра среднее относительно периода до 1979 г. Для примера в таблице приведены изменения параметров притока к водохранилищам МВГС (в долях от базового периода) за наиболее характерные месяцы зимней межени.

Таблица

**Изменения параметров притока к водосборным участкам МВГС (в долях от базового периода)**

№	Водосборный участок	Параметр								
		Среднее			$\sigma$			$C_v$		
		янв	фев	апр	янв	фев	апр	янв	фев	апр
1	Вазузское вдхр.	2.6	2.1	0.7	3.5	2.8	1.1	1.4	1.3	1.5
2	Можайское вдхр.	2.8	2.6	0.8	4.4	5.3	1.0	1.5	2.0	1.3
3	Рузское вдхр.	2.1	2.1	0.6	2.3	3.9	0.9	1.1	1.8	1.5
4	Озернинское вдхр.	2.2	2.2	0.8	2.3	3.0	0.8	1.1	1.4	1.0
5	Истринское вдхр.	2.0	1.9	0.8	1.8	2.6	0.8	0.9	1.4	1.1
6	Незарегулированная часть МВС	1.5	1.5	0.5	2.2	2.8	0.6	1.5	1.8	1.2

Кривые обеспеченности среднего годового притока к водохранилищам МВГС за два временных периода – до и после 1979 г. показывают увеличение значений во всем диапазоне обеспеченностей (пример на рис. 3).

Кривые обеспеченности среднего месячного притока к Вазузскому водохранилищу за два временных периода показывают существенное увеличение значений обеспеченности в зоне ниже 50% для осенней межени и марта. Для апреля картина меняется на противоположную. Аналогичная картина наблюдается и для изменений притока по водохозяйственным интервалам. Это

обстоятельство важно учитывать при регулировании стока водохранилищами МВГС. Такие изменения режима притока для водохранилищ многолетнего регулирования являются существенной причиной для анализа эффективности регулирования стока в изменившихся условиях с целью пересмотра стратегии использования полезной емкости водохранилищ под влиянием климатических изменений в регионе.

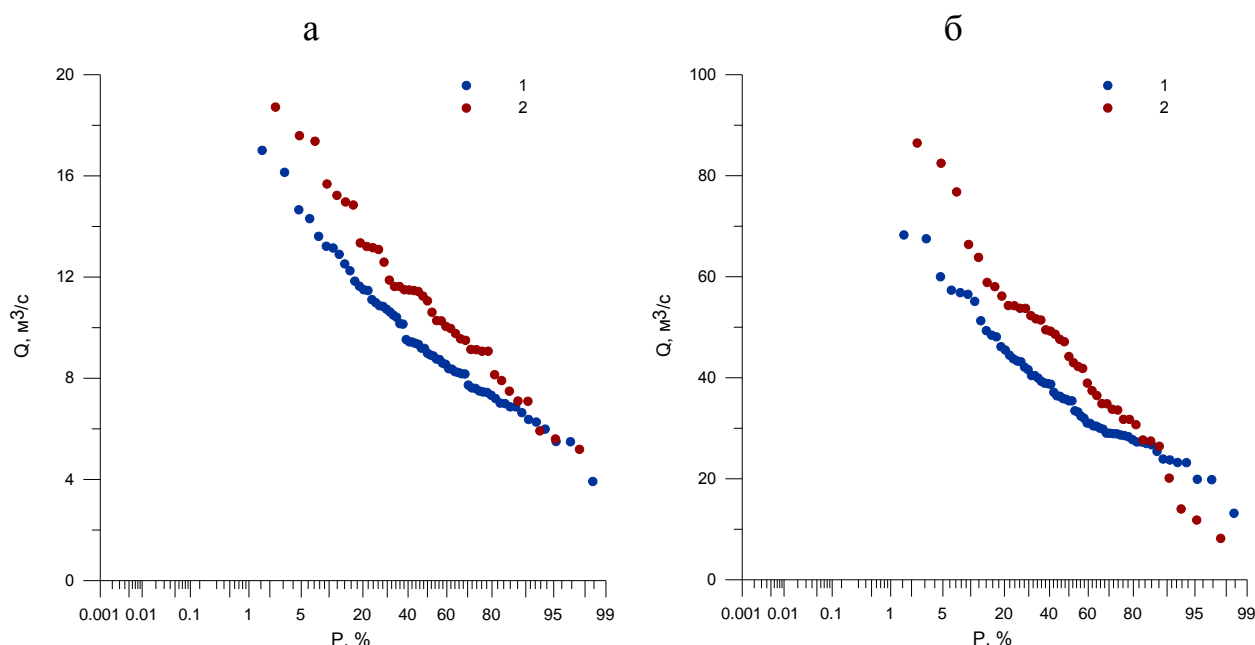


Рис. 3. Кривые обеспеченности среднего годового притока к Можайскому (а) и Вазузскому (б) водохранилищам за два временных периода: 1 – до 1979 г., 2 – с 1979 г.

### **Выводы**

Режим среднего годового притока ко всем водохранилищам МВГС в период с 1975 по 1978 гг. изменился и характеризуется увеличением водности. Внутригодовое перераспределение притока к системе водохранилищ выражается в увеличении водности в лимитирующие периоды и снижении водности в нелимитирующие периоды. Приток к Вазузскому водохранилищу и приток к Москворецкой системе колеблются синхронно, и это свойство создает дополнительные трудности при компенсационном регулировании стока МВГС в маловодные периоды.

В результате произошедших климатических изменений данные наблюдений за стоком и гидрологическими процессами теряют однородность, и их непосредственное использование при проектировании и эксплуатации водохозяйственных систем становится неправомерным, особенно если решается задача эксплуатации системы в условиях изменения характеристик стока, на основе которых в недалеком прошлом осуществлялось проектирование.

*Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0003 государственного задания ИВП РАН (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090105-5).*

### Библиографический список

1. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги // Метеорология и гидрология, 2014. №3. С. 75-85.
2. Болгов М.В., Филиппова И.А., Харламов М.А. Современные изменения гидрологического режима и водообеспечение московского региона // Метеорология и гидрология. 2020. № 8. С. 29-36.
3. Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Мельник К.С., Лукьянов К.В. Современные гидрологические изменения в бассейне реки Москва // Метеорология и гидрология, 2020. №8. С.22-28.
3. Bolgov M, Korobkina E, Filippova I. Bayesian Decision for Low Flow Evaluation in Non-Stationary Conditions // The-Grand Challenges Facing Hydrology in the 21st Century. Dooge Nash International Symposium 2014, Dublin, Ireland. P. 65-74.

УДК 556

В.А. Куровская<sup>1</sup>, С.С. Черноморец<sup>1</sup>, Т.А. Виноградова<sup>2,4</sup>, И.Н. Крыленко<sup>1,3</sup>,  
А.Г. Гуломайдаров<sup>5</sup>, Ю.Х. Раимбеков<sup>5</sup>

[viktoriiakurovskaja@gmail.com](mailto:viktoriiakurovskaja@gmail.com)

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>ООО «НПО «Гидротехпроект»», г. Валдай, Россия

<sup>5</sup>Филиал Агентства Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан,  
г. Душанбе, Таджикистан

### СЦЕНАРНЫЕ РАСЧЕТЫ ПРОРЫВНЫХ ПАВОДКОВ И СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Рассмотрены результаты моделирования прорывного паводка и селевого потока для долины р. Дарайсис (бассейн р. Пяндж). Моделирование осуществлялось по 2 сценариям: прорыв озера Сист, образование селевого потока на крупном притоке р. Дарайсис. В работе использовалась гидродинамическая модель FLO-2D и модернизированная модель транспортно-сдвигового селеобразования, разработанная Ю.Б. Виноградовым. Оценка расхода прорывного паводка проводилась на основе батиметрической съемки. В качестве данных для долины была использована цифровая модель рельефа (ЦМР) ALOS PALSAR с разрешением 12.5 м, для конуса выноса – данные съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). В результате были получены карты распределения скоростей и глубины для р. Дарайсис и Пяндж. Также были выявлены наиболее уязвимые участки в пределах кишлака Сист.

*Ключевые слова:* прорывной паводок, селевой поток, двумерное гидродинамическое моделирование, FLO-2D, транспортно-сдвиговая модель.

V.A. Kurovskaia<sup>1</sup>, S.S. Chernomorets<sup>1</sup>, T.A. Vinogradova<sup>2,4</sup>, I.N. Krylenko<sup>1,3</sup>,  
A.G. Gulomaydarov<sup>5</sup>, Y.Kh. Raimbekov<sup>5</sup>  
[viktoriakurovskaia@gmail.com](mailto:viktoriakurovskaia@gmail.com)

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

<sup>3</sup>*Research and Production Association Hidrotekhproekt LLC, Valday, Russia*

<sup>4</sup>*Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>5</sup>*Branch of the Aga Khan Agency for Habitat in the Republic of Tajikistan;  
Dushanbe, Tajikistan*

## SCENARIO CALCULATIONS OF OUTBURST FLOOD AND DEBRIS FLOWS

The results of the modeling of outburst floods and debris flows, which can possibly occur in the Daraisit River valley are presented in the paper. The modeling was carried out according to 2 scenarios: the outburst of Lake Sist, the formation of a debris flow on a large tributary of the river Daraisist. FLO-2D hydrodynamic model and the modernized transport-shear mudflow model developed by Yu.B. Vinogradov, were applied in this study. Evaluation of the outburst flood discharge was carried out on the basis of a bathymetric survey. A digital elevation model (DEM) ALOS PALSAR with a resolution of 12.5 m was used as relief data for the valley, and survey data from an unmanned aerial vehicle (UAV) was applied for the debris flow cone. As a result, maps of the spatial distribution of velocities and depths for the rivers Daraisist and Pyanj were obtained. The most vulnerable areas within the Sist village were also identified.

*Keywords:* glacial lake outburst flood (GLOF), debris flow, two-dimensional mathematical modelling, FLO-2D, transported-shift model.

### **Введение**

Деградация горного оледенения в Центральной Азии приводит к интенсивному образованию ледниковых озер [9]. Многие из этих озер впоследствии оказываются спущенными в результате прорыва подпруживающих их дамб. При наличии значительных уклонов и достаточно количества рыхлообломочного материала прорывной паводок может трансформироваться в селевой поток. Прямой ущерб от селей включает человеческие жертвы, разрушение домов и инфраструктуры и многие другие потери, которые трудно оценить количественно [6]. По распространению селей Таджикистан занимает одно из первых мест в Центральной Азии [4]. Исследования селевых потоков в регионе началось с 60-х гг. XX в. [2]. Последний катастрофический прорывной паводок и последующий за ним селевой поток наблюдался в 2002 г. в результате прорыва озера объемом около 250000 м<sup>3</sup> воды [7] в долине р. Дашт. Оценка характеристик селя с использованием моделей FLO-2D и RAMMS приводится в работе [7]. Целью данной работы было оценить потенциальную опасность прохождения прорывного паводка и селевого потока в долине р. Дарайсис.

### **Объект**

Река Дарайсис расположена на территории Западного Памира и является правым притоком р. Пяндж, и впадает в нее в 743 км от устья. Бассейн реки

находится на западном макросклоне Ишкашимского хребта. Высота бассейна колеблется от 4875 м до 2400 м. Длина р. Дарайсис составляет примерно 9,8 км, площадь бассейна – 14,5 км<sup>2</sup>. В верховьях находится каровое озеро Сист (площадь – 18 100 м<sup>2</sup>, средняя глубина – 1,15 м, максимальная глубина – 3,2 м) [3]. Самый крупный приток р. Дарайсис находится на расстоянии 7 км от устья по правому борту. В верхней части этого бассейна находятся каменный глетчер, и моренный пьедестал, уступ которого рассечен селевым врезом, в нижней – сформировавшийся конус выноса. Возможен вариант образования селя в данной долине при поступлении интенсивных осадков. Значительные уклоны р. Дарайсис и наличие рыхлообломочного материала, приведут к сходу селя уже по основной долине. У устья реки расположен конус выноса общей площадью 0,2 км<sup>2</sup>. На конусе выноса располагается кишлак Сист. Также по конусу вдоль р. Пяндж проходит отрезок автомобильной дороги Р–845, связывающий Хорог (административный центр ГБАО) и Ишкашим. В месте пересечения дорогой реки Дарайсис был сооружен мост.

### ***Материалы и методы исследования***

В работе для расчетов использовались двумерная гидродинамическая модель FLO-2D [8] и транспортно-сдвиговая модель селеобразования [1]. Модель FLO-2D применялась для зонирования долин. В основу модели положено решение уравнений Сен-Венана (вязкопластичная жидкость) [8]. В качестве основных данных о рельефе использовалась цифровая модель рельефа ALOS PALSAR с разрешением 12,5 м. На участке конуса выноса была получена детальная съемка с применением БПЛА, разрешение составило 0,13 м. В устьевой области р. Дарайсис присутствовало большое количество деревьев, учет высоты которых приводил к возникновению своеобразного «вала». Использование методов машинного обучения позволило в программе Agisoft Photoscan Professional автоматически классифицировать плотное облако точек на различные классы. В данном случае проводилась автоматическая классификация для класса высокая растительность. При построении ЦММ использовались все классы, кроме высокой растительности. Исходные гидрологические данные включали в себя гидрографы прорыва и селевого потока, а также фоновые значения расходов р. Пяндж. Моделирование проводилось для двух сценариев: прорыв озера Сист и формирование селевого потока на притоке р. Дарайсис. Предварительная оценка максимальных расходов воды при прорыве озера Сист проводилась на основе эмпирических формул [5]. Объем водной составляющей прорывного паводка задавался исходя из возможного объема озера (20 тыс. м<sup>3</sup>) по данным батиметрической съемки 2020 года [3].

Для расчета селевого гидрографа на притоке р. Дарайсис использовалась транспортно-сдвиговая модель селеобразования. Данная модель является одномерной и предназначена для расчета селевых потоков высокой плотности. Модель была разработана Ю.Б. Виноградовым на основе данных Чемолганских экспериментов по воссозданию селевых потоков [10]. В основе лежат уравнения для расчета расхода твердого материала, расхода селевого потока и плотности [10]. При этом принимается, что приращение расхода твердого вещества при

движении по тальвегу селевого очага прямо пропорционально коэффициенту неустойчивости ПСМ, элементарной потенциальной мощности потока и показателю подвижности селевой массы [1]. Для оценки расхода передового вала проводилось умножение величин расхода в замыкающем створе очага на коэффициент, в первом приближении близкий к 2,5 [1]. Скорость потока определялась по формуле максимальной скорости селя, предложенной Ю.Б. Виноградовым [1]. Время прохождения волны рассчитывалось, как расстояние между границами участков, деленное на скорость. В настоящее время уравнения модели реализованы в компьютерной программе на языке программирования Python. Исходная информация включала в себя данные о рельефе и параметрах селеформирующих грунтов, а также расход воды в реке.

Статический и динамический углы внутреннего трения селеформирующих грунтов оценивались на основе СП 425.1325800.2018 «Инженерная защита территории от эрозионных процессов. Правила проектирования» и работ Ю.Б. Виноградова [1] и составили соответственно  $45^\circ$  и  $25^\circ$ . Средний уклон русла в селевом очаге составил  $27,6^\circ$ . Моделирование проводилось для случая лавинообразного развития селя, при этом отношение объема воды к объему твердого вещества составило 0,2 [1]. Таким образом, для сценария I максимальный расход прорывного паводка равнялся  $28,2 \text{ м}^3/\text{с}$ . Для II сценария расход передового вала селя составил  $547 \text{ м}^3/\text{с}$ .

### ***Анализ результатов***

Максимальный расход прорывного паводка по I сценарию составит  $22,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , время прохождения от озера до вершины конуса выноса – 2,1 ч. Участок конуса выноса поток пройдет за 0,1 ч. В I сценарии водный паводок на р.Пяндж будет превышать фоновый расход воды на  $17 \text{ м}^3/\text{с}$ . По сценарию II максимальный расход селевого потока составит  $369 \text{ м}^3/\text{с}$ , время добегания будет равняться 1,3 ч, участок конуса будет пройден потоком за 0,3 ч. Водный паводок в р. Пяндж будет превышать фоновый расход воды на  $156 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Максимальные глубины в сужениях долины р. Дарайсис по результатам моделирования для обоих сценариев могут составлять более 3-4 м. Скорости течения на многих участках русла более 5 м/с. Максимальная скорость течения для I сценария равнялась 13,3 м/с, для II – 17,7 м/с. При прорыве озера согласно I сценарию глубина потока на конусе выноса будет составлять от 1 до 2 м, в р. Пяндж глубина будет достигать 1–4 м. В зоне затопления по данному сценарию оказываются несколько домов в месте выхода реки на конус выноса, дома, непосредственно примыкающие к дороге и мост, по которому проходит автодорога Р–45. По II сценарию будет наблюдаться растекание потока, в зону затопления попадают практически все дома на конусе выноса, а также упомянутый ранее мост. В данном случае глубина в самом русле р. Дарайсис будет варьироваться от 7 до 15 м. В р. Пяндж глубина потока будет составлять 1–8 м. Скорости селевого потока непосредственно в русле р. Дарайсис будут более 5 м/с, на конусе выноса – до 1,3 м/с, в русле р. Пяндж – до 7 м/с. Необходимо отметить, что при движении потока по р. Пяндж будет происходить

его распластывание. Так, противоположный берег р. Пяндж не будет попадать в зону затопления при данном сценарии.

### **Выводы**

В работе приведена оценка селевой опасности для долины р. Дарайсис. Моделирование осуществлялось по двум сценариям: I – прорыв оз.Сист, исходя из объема на 2020 г., и II – образование селевого потока на притоке р.Дарайсис. При этом использовались данные батиметрической съемки озера и детальная съемка устья с помощью БПЛА, проведенные в августе 2020 г. Зонирование долины реки проводилось с помощью гидродинамической модели FLO-2D. Гидрограф прорыва озера был получен по эмпирическим формулам, исходя из объема озера на август 2020. Оценка гидрографа селя, образованного на притоке р. Дарайсис осуществлялась с помощью транспортно-сдвиговой модели селеобразования. Для этого был добавлен расчет скорости потока и время прохождения волны. Полученный гидрограф в дальнейшем использовался в модели FLO-2D. Таким образом, были получены карты пространственного распределения скоростей и глубины потока. При моделировании по обоим сценариям будет наблюдаться затопление моста и автомобильной дороги Р–45. При этом по II сценарию в зоне затопления попадают практически все дома на конусе выноса.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Филиала Агентства Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан и РФФИ (проект № 20-35-90006), а также по теме 1.7 «Опасность и риск природных процессов и явлений» (ГЗ) МГУ имени М.В. Ломоносова.*

### **Библиографический список**

1. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Академия, 2010. 304 с.
2. Тукаев О.В. Селевые явления Памира: катастрофы, закономерности, прогноз. М.: ВНИИ ГОЧС, 2002. 176 с.
3. Черноморец С.С., Висхаджиева К.С., Кидяева В.М., Куровская В.А., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Савернюк Е.А., Аришинова М.А., Черноморец М.С. Батиметрическая съемка озера Сарез (1 этап). Отчет. М.: Географический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова, 2020. Т.1. 200 с.
4. Яблоков А.А. Сели Таджикистана: Сб. научных трудов ОАО «Севкавгипроводхоз». 2009. Вып. 18. С. 88–102.
5. Huggel C., Haeberli W., Käb A., Bieri D., Richardson S. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps // Can. Geotech. Journal. 2004. Vol. 41. P. 1068–1083.
6. Jakob M., Hungr O. (eds) Debris-flow hazards and related phenomena. Berlin: Springer, 2005. 739 pp.
7. Mergili M., Schneider D., Worni R., Schneider J. F. Glacial lake outburst floods in the Pamir of Tajikistan: Challenges in prediction and modelling // 5th Int.



conf. on Debris-Flow Haz. Mitigation: Mech., Predic. and Assessment. Padua: Università La Sapien. 2011. P. 973–982.

8. *O'Brien J., Julien P., Fullerton W.* Two-dimensional water flood, mudflow simulation // *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 1993. Vol. 119 (2). P. 244–259.

9. *Richardson S.D., Reynolds J.M.* An overview of glacial hazards in the Himalayas // *Quaternary International*. 2000. Vol. 65/66. P. 31–47.

10. *Vinogradova T.A., Vinogradov A.Yu.* The experimental debris flows in the Chemolgan River basin // *Natural Hazards*. 2017. Vol. 88, No. 1. P. 189–198.

УДК 556

Л.С. Лебедева<sup>1</sup>, Д. Густафссон<sup>2</sup>, [lyudmilaslebedeva@gmail.com](mailto:lyudmilaslebedeva@gmail.com)

<sup>1</sup>*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия*

<sup>2</sup>*Шведский метеорологический и гидрологический институт,  
г. Норчепинг, Швеция*

## **ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА РЕК В БАССЕЙНЕ ВИЛЮЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Целью исследования является оценка изменений водности рек на водосборе Вилуйского водохранилища. По восьми действующим гидрологическим постам с периодами наличия данных от 40 до 50 лет обработано 2556 выборок расходов воды по месяцам продолжительностью 30, 35, 40 и 45 лет. Результат статистического теста на наличие тренда зависит от продолжительности ряда и охвата конкретных лет. Сток в мае и июне практически не меняется. Больше всего статистически значимых положительных трендов зафиксировано в апреле, сентябре и ноябре. Среди восьми постов наибольшая доля положительных трендов зафиксирована на р.Ахтаранда и р. Вилуй. На р.Чона преобладают отрицательные тренды.

*Ключевые слова:* Вилуйское водохранилище, изменение речного стока, изменение климата, продолжительность ряда, статистический тест.

L. Lebedeva<sup>1</sup>, D. Gustafsson<sup>2</sup>, [lyudmilaslebedeva@gmail.com](mailto:lyudmilaslebedeva@gmail.com)

<sup>1</sup>*Melnikov Permafrost Institute, Siberian branch, Russian Academy of Sciences,  
Yakutsk, Russia*

<sup>2</sup>*Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrkoping, Sweden*

## **RIVER STREAMFLOW CHANGES IN THE VILUY RESERVOIR CATCHMENT**

The aim of the study is to assess changes of the river streamflow in the catchment area of the Viluy reservoir. We analyzed 2,556 time series with a duration of 30, 35, 40 and 45 years sampled from the dataset of monthly discharges for eight hydrological gauges with data availability periods from 40 to 50 years. The result of a statistical trend test depends on the time series length and the coverage of specific years. The river streamflow practically does not change in May and June. Most of the statistically significant positive trends were found in April, September and November. Among

the eight gauges, the largest fraction of positive trends was found for the Akhtaranda River and the Viluy River. Negative trends prevail on the Chona River.

*Keywords:* Viluy reservoir, river streamflow changes, climate change, time series length, statistical test.

### ***Введение***

В северных регионах России климат меняется интенсивнее, чем в умеренной зоне. Актуальными вопросами остаются оценка изменений речного стока северных рек и описание их механизмы. По результатам Н.Л. Фроловой [3] годовой сток большинства арктических рек России увеличился на 4-18% в 1976-2014 гг. в сравнении с периодом 1936-1975 гг. Во многих исследованиях изменений водности северных регионов рассматриваются данные только по замыкающим постам крупных рек, включая р. Лена. Лишь в некоторых работах анализируются изменения стока средних и малых рек [1;4;5], которые могут показывать противоположные тенденции по сравнению с крупными реками [2].

При анализе гидрологических изменений пользуются различными методами оценки трендов. Хотя длина ряда во многом определяет результат статистического теста, ограниченность натурной гидрометеорологической информации приводит к тому, что во многих исследованиях сравниваются результаты анализа рядов различной продолжительности [4;5], что затрудняет их интерпретацию. Наличие циклов водности различной продолжительности приводит к тому, что изменение длины анализируемого ряда даже на 1-2 года может изменить результат статистического теста.

Целью исследования является оценить наличие и отсутствие статистически значимых трендов в рядах расходов воды по месяцам по выборкам различной продолжительности на действующих постах на водосборе Вилуйского водохранилища.

### ***Материалы и методы исследования***

На водосборе Вилуйского водохранилища площадью 141 150 км<sup>2</sup> функционирует восемь гидрологических постов, на которых измеряется расход воды (таблица). Площади водосборов составляют от 850 до 57300 км<sup>2</sup>. По каждому посту анализировались выборки расходов воды по месяцам продолжительностью 30, 35, 40 и 45 лет. Для оценки устойчивости наличия или отсутствия тренда во времени анализировались все возможные выборки данных заданной продолжительности из массива наблюдаемых расходов по посту, то есть ряды заданной продолжительности выбирались, начиная со всех возможных лет в массиве. По 8 постам с периодами наличия данных от 40 до 50 лет обработано 2556 выборок расходов воды по месяцам продолжительностью 30, 35, 40 и 45 лет.

Стационарность временных рядов расходов воды была проверена относительно наличия монотонных трендов с помощью непараметрических критериев ранговой корреляции Манна-Кендалла и Спирмена со значением  $p < 0.05$ . В тех случаях, когда оба теста указывали на наличие тренда, проверялся коэффициент автокорреляции ряда. При величине коэффициента

автокорреляции  $r < 0.20$  тренд принимался достоверным. При  $r \geq 0.20$  для устранения автокорреляции в исходных рядах применялась процедура «предварительного очищения» («trend-free pre-whitening»). «Очищенные» ряды вторично тестировались с помощью непараметрического критерия Манна-Кендалла со значением  $p < 0.05$  и делался окончательный вывод о наличии или отсутствии статистически значимого тренда [4;5].

### *Анализ результатов*

Больше всего статистически значимых положительных трендов (15-25%) зафиксировано в январе, апреле, июле, сентябре, ноябре и декабре. За январь, февраль и март на 5% выборок наблюдаются как положительные, так и отрицательные тренды.

Ни по одному посту нет месяца, по которому все выборки вне зависимости от их продолжительности и охвата показывают наличие положительного или отрицательного тренда. На каждом посту по 2-7 месяцам сток стабилен вне зависимости от продолжительности и охвата выборки. Самые стабильные месяцы – май и июнь, где не фиксируется ни одного тренда на семи и шести постах соответственно. В феврале тренд хотя бы по одной выборке есть на всех постах.

Среди восьми исследуемых постов (таблица) наибольшая доля положительных статистически значимых трендов зафиксирована на р.Ахтаранда-г.п.Сюрях-Хая (29%) и р. Вилуй-г.п.Усть-Амбардах (25%). На р.Чона-г.п. Чона 16% выборок показывают отрицательные тренды.

На р.Ахтаранда-г.п.Сюрях-Хая положительные тренды преобладают в декабре и январе, а также фиксируются в апреле, июле, сентябре, октябре и ноябре. На р. Вилуй-г.п.Усть-Амбардах большая часть положительных трендов наблюдается на выборках, которые начинаются в 1970-1980 гг. В основном тренды наблюдаются в январе, апреле, сентябре, ноябре и декабре. На р.Чона-г.п. Чона не зафиксировано ни одного положительного тренда. Отрицательные тренды наблюдаются в основном в феврале и марте, реже – в январе, июне и декабре. На р.Батыр – г.п. Ясный некоторая доля положительных трендов наблюдается в апреле в выборках, которые заканчиваются после 2010 г., а также в июле и в сентябре.

### Характеристики исследуемых водосборов и доли положительных, отрицательных трендов и их отсутствия

<i>Река - пост</i>	<i>Код поста</i>	<i>Площадь водосбора, км<sup>2</sup></i>	<i>Среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с</i>	<i>Среднегодовой слой стока, мм/год</i>	<i>Период наблюдений, годы</i>	<i>Количество выборок</i>	<i>Положительные тренды, %</i>	<i>Отрицательные тренды, %</i>	<i>Отсутствие трендов, %</i>	<i>Нет данных, %</i>
р. Вилуй - г.п.Усть-Амбардах	3310	57300	379	208	50	504	25	0	75	0
р.Чуркуо - г.п.Лавинда	3579	4130	17	133	42	252	6	7	87	0
р.Улахан-Эдьэк - г.п.Дальний	3560	854	4.6	169	41	216	12	0	78	10
р.Чона - г.п. Чона	3334	21000	82	124	43	288	0	16	84	0
р.Ичода - г.п.Майский	3625	2820	12	129	44	360	12	0	88	0
р.Дьэкиндэ - г.п.Улар	3597	1490	4.9	105	40	180	2	3	93	1
р.Ахтаранда - г.п.Сюрях-Хая	3341	11600	50	136	42	252	29	0	71	0
р.Батыр - г.п. Ясный	3344	3380	15	137	48	504	10	0	87	3

Сток р.Улахан-Эдьэк-г.п.Дальний растет в июле, сентябре, октябре и ноябре в выборках, которые начинаются в 1977-1980 гг. и заканчиваются в 2007-2011 гг. На р.Чуркуо-г.п.Лавинда в январе и феврале сток преимущественно уменьшается, а в июле увеличивается. Сток р.Дьэкиндэ - г.п.Улар показывает единичные положительные и отрицательные тренды и в целом стабилен. Сток р.Ичода - г.п.Майский показывает некоторую тенденцию к увеличению в октябре, ноябре, феврале, марте и апреле преимущественно на коротких выборках (30-35 лет).

#### **Выводы**

Результат статистического теста на наличие тренда зависит от продолжительности ряда и охвата конкретных лет. Тренды стока за май отсутствуют на семи постах из восьми на всех выборках вне зависимости от их охвата и продолжительности. В феврале тренды хотя бы на одной выборке фиксируются на всех восьми постах. Больше всего статистически значимых положительных трендов зафиксировано в апреле, сентябре и ноябре. Среди восьми исследуемых постов наибольшая доля статистически значимых

положительных трендов зафиксирована на р.Ахтаранда-г.п.Сюрях-Хая и р. Вилюй-г.п.Усть-Амбардах, которые главным образом относятся к ноябрю, декабрю, январю, апрелю и сентябрю. На р.Чона-г.п. Чона 16% выборок показывают отрицательные тренды, которые наблюдаются в основном в феврале и марте.

*Анализ зимнего стока рек выполнен при финансовой поддержке РФФ (проект № 19-77-00055). Анализ весеннего и летнего стока рек выполнен при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-55-71005).*

### **Библиографический список**

1. *Георгиади А.Г., Кацутина Е.А.* Многолетние изменения годового и сезонного стока рек бассейна Лены // Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2014. №2. С.71-83

2. *Румянцева, Е.В., Шестакова, Е.Н., Муждаба, О.В.* Динамика водных ресурсов рек Арктической зоны Западной Сибири. Научный вестник Ямало-Ненецкого Автономного округа, 2017. №3(96). С. 53-61

3. *Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Повалишников Е.С.* Антропогенные и климатически обусловленные изменения стока воды и ледовых явлений рек российской Арктики // Вопросы географии, 2018, №145. С. 233-251

4. *Makarieva, O., Nesterova, N., Post, D. A., Sherstyukov, A., and Lebedeva, L.* Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost // The Cryosphere, 2019 №13. p. 1635-1659.

5. *Tananaev, N. I., O. M. Makarieva, and L. S. Lebedeva* Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia, Geophys. Res. Lett., 2016 №43(10), p. 764–772.

УДК 556.18:624.131.6(255)

Д.В. Магрицкий, М.А. Самохин, Д.И. Соколов, О.Н. Ерина, А.В. Гончаров,  
М.А. Терешина, В.В. Сурков, В.М. Морейдо, В.С. Архипкин  
[magdima@yandex.ru](mailto:magdima@yandex.ru)

*Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, г.Москва,  
Россия*

### **НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АГРАХАНСКОМ ЗАЛИВЕ**

На основе данных экспедиционных исследований в 2018-2020 гг. и многолетнего стационарного гидрологического мониторинга, сравнительного анализа разновременного

---

© Магрицкий Д.В., Самохин М.А., Соколов Д.И., Ерина О.Н., Гончаров А.В., Терешина М.А., Сурков В.В., Морейдо В.М., Архипкин В.С., 2021

картографического материала и спутниковых снимков, лабораторного анализа проб воды и донных отложений и др. впервые подробно и комплексно охарактеризовано современное гидролого-морфологическое состояние, изучены закономерности, причины и параметры неблагоприятной гидролого-морфологической эволюции Аграханского залива в дельте Терека в XX и начале XXI в., построены полноценная ГИС и многочисленные карты, обоснованы меры по частичному восстановлению его гидрологического и экологического потенциала.

*Ключевые слова:* Терек, дельта, залив, Каспий, рукав, гидрологическое состояние, гидротехнические мероприятия, морфологические изменения.

D.V. Magritsky, M.A. Samokhin, D.I. Sokolov, O.N. Erina, A.V. Goncharov, M.A. Tereshina, V.V. Surkov, V.M. Moreido, V.S. Arkhipkin, [magdima@yandex.ru](mailto:magdima@yandex.ru)  
*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

## **ADVERSE HYDROLOGICAL AND MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE AGRAKHAN BAY**

We have described the current hydrological state of the Agrahan Bay, studied its features and defined trends, factors and parameters of adverse hydrologic-morphological evolution of the Bay, mainly in the XX and early XXI centuries, and proposed measures for its restoration. The study was based on field measurements (in 2018-2020) and long-term networked hydrological observations, comparative analysis of multitemporal cartographic material and satellite images, and laboratory analysis of water and bottom sediment samples.

*Keywords:* Terek, delta, branch, lagoon, Caspian Sea, field measurements, hydrological state, hydro-technical activities, morphological change.

### ***Введение***

Бывший Аграханский залив находится в юго-восточной части дельты Терека, на западном побережье Каспия. По своему происхождению это морская лагуна возрастом ~6 тыс. лет, отделенная от моря Агрханским п-овом (или Уч-Косой). Вплоть до первой четверти XX в. Аграханский залив сохранял черты типичного морского залива и гидравлически был свободно связан с Каспийским морем. При уровне моря -25,6 м БС и средней водности р.Терек площадь его открытой акватории была тогда 340 км<sup>2</sup>, глубины доходили до 3,5-4,0 м. К 2021 г. он уже не имеет черт единого водного тела и морского залива, хотя в реестре водных объектов РФ по-прежнему обозначен как морской залив. Гидролого-морфологическая деградация Аграханского залива началась с появлением в дельте Терека в 1914 г. нового магистрального рукава – Каргалинского Прорыва, выносом им в залив и отложением здесь огромного количества речных наносов и завершилась с искусственным перенаправлением (с 1977 г.) сброса речных вод в море с северного на восточное - через канал Прорезь (в Средний Каспий). Фоном этому всему было сильное падение уровня моря (почти на 3 м к 1977 г.) и новое снижение после 1995 г. (до -28,0 м БС в 2020 г.). Сейчас залив разделен Каргалинским Прорывом на 2 обособленные и неравноценные части – Северный и Южный Аграхан, обладающие своим гидрологическим режимом, гидрографическим и ландшафтным строением. Причем на открытое водное зеркало разобщенных водоемов приходится всего 146 км<sup>2</sup>, на обводненный

тростник – еще 112 км<sup>2</sup>. Остальное – суша. Изменения в гидрологическом режиме и морфологическом строении повлекли за собой целый набор негативных гидрологических, экологических и социально-экономических последствий [1;2]. Прогноз на будущее неблагоприятный, особенно в отношении Северного Аграхана по причине падения уровня моря, усиления засушливости в Прикаспии, плачевного состояния каналов в северной части дельты и отсутствия притока свежих речных вод. Предотвратить негативный сценарий могли бы, в первую очередь, оперативные гидротехнические мероприятия. Но научное обоснование их перечня требует полноценных и актуализированных гидрологических данных об объекте, о факторах его гидролого-морфологической деградации и анализа эффективности уже реализованных мер. До начала (до 2018 г.) масштабных камеральных поисковых, обзорно-аналитических и теоретических, лабораторных и экспедиционных работ, участниками которых были авторы, практически мало что было известно. А к концу 2020 г. уже была подготовлена обширная программа спасения Аграханского залива, успешно прошедшая экспертизу в Росводресурсах.

### ***Материалы и методы исследования***

Основную часть огромного и уникального массива данных о современном гидролого-морфологическом состоянии бывшего Аграханского залива, гидрологических процессах и их основных природных и антропогенных факторах авторы материалов собрали во время 9 экспедиционных выездов на объект - с августа 2018 г. по август 2020 г. Во время них были обустроены 6 гидропостов на озерах и каналах; заложены 14 скважин для мониторинга за подземными водами. Получено 109 тыс. точек эхолотных измерений, 1775 измеренных наметкой глубин. Были выполнены макромасштабная съемка с квадрокоптера, 6 серий измерений расходов воды на 8 гидростворах в каналах и 19 в Каргалинском Прорыве, 8 серий отбора проб воды на химический состав в 10 мониторинговых точках и 4 серии на 15 рейдовых станциях, измерения гидрофизических показателей на 345 вертикалях, 200 измерений мутности воды, 653 измерений мощности донных отложений, отбор на 15 станциях колонок донных грунтов и их детальное описание, 40 определений видового состава и проективного покрытия макрофитов и их описаний, взвешивание (около 20), отбор проб на фито- и зоопланктон, зообентос и перифитон (по 10-15 проб каждой группы). В лабораториях Дагводресурсов и Географического факультета МГУ произведен химический и гранулометрический анализ 56 проб донных отложений, лабораторный анализ 111 отобранных проб воды, изучение 24 проб воды на весовую мутность. Часть гидрологических данных была получена с постов государственной гидрометеорологической сети - на р.Терек, рук. Каргалинский Прорыв, на побережье Каспийского моря. Кроме того, были собраны и с разной детальностью обработаны многочисленные картографические материалы и 157 спутниковых снимка (с 1965 г.); изучены результаты прошлых экспедиционных обследований дельты Терека и его объектов, их теоретического осмысления, представленные в опубликованных работах и фондах МГУ, ГОИНа, ГГИ, дагестанских организаций.

Создана электронная база данных стационарных и гидрологических наблюдений на постах в дельте Терека и на побережье Каспия (с момента их открытия и до 2020 г.), а также многослойная и высокодетальная ГИС Аграханского залива и Приаграханья (на платформе QGIS). На основе последней впервые построены карты залива с историческими границами, современным ландшафтным строением и глубинами (М: 1:10 000), рассчитаны батиграфические кривые, построены карты водной растительности, донных отложений, качества воды. Установлены основные гидрометеорологические, внутريدельтовые и внутриводоемные, антропогенные факторы эволюции Аграханского залива. Получены единственные в своем роде оценки по современному водному режиму водоемов Аграханского залива, по качеству вод и источникам загрязнения, по структуре водного баланса, источникам и скорости заиления. Оценено состояние гидротехнических сооружений, связанных с заливом. Построены многочисленные графики, зависимости и диаграммы. Проведено гидродинамическое численное (в ADCIRC) и водно-балансовое лимнологическое (в GLM) моделирование.

**Анализ результатов** разумно проводить отдельно для северной и южной частей бывшего Аграханского залива.

В настоящее время в Южном Аграхане почти 50% угодьев приходится на водное зеркало. Это, по сути, гидротехнически замкнутый и единый водоем, крупнейший на российском побережье Каспия, с искусственно регулируемым (через систему водоподающих и сбросных сооружений) водным балансом, объемом, уровнем и глубинами. Он изолирован от моря и Северного Аграхана (перепад уровней ~2,5-3,0 м), имеет ограниченный водообмен с Каргалинским Прорывом; в последние годы, с учетом падения уровня моря и врезания русла рукава, еще более затрудненный. На юге, западе и частично севере обвалован дамбами до 1,5-2 м высотой и местами выше. Средние глубины при отметке уровня -25,0 м БС - от 1,5 до 2 м. Глубины >2,5 м приурочены к центральной части. Объем водоема 0,16 км<sup>3</sup>. 42% Южного Аграхана занята тростником и 30% подводными харовыми водорослями, рдестами и роголистником. Проблема зарастания как в самом зарастании, так и в том, что после отмирания растения: 1) разлагаются бактериями, потребляя большое количество кислорода, образуя сероводородные зоны; 2) часть растительных остатков не разлагается и откладывается на дне, заиливая водоем. Донные отложения неоднородны по своей структуре, происхождению и мощности. Хорошо выделяются 3-4 слоя. Заиление автохтонным материалом составляет 0,6-0,8 см/год, занесение речными наносами – на порядок больше, что наглядно подтвердило быстрое нарастание микродельты на северо-востоке с 2008 по 2017 г. Мощность неплотных отложений варьирует от 10-20 см (в средней части и на юго-западе) до 1-2 м на севере, определяя ограничения по дноуглублению.

В отношении водного режима установлено следующее. В течение года максимальные уровни воды наблюдаются летом и ранней осенью, минимальные – зимой и ранней весной. Их диапазон 0,5 м. Почти то же было и в 1980-х гг., когда бо́льшая часть ГТС Южного Аграхана уже функционировала и работал



пост в Новой Косе. Характер межгодовых и сезонных колебаний уровней воды находится в прямой зависимости от водного баланса. Тогда как суточная изменчивость уровней имеет синоптическую природу и диапазон в 5–10 см. Приходную часть водного баланса формируют воды Главного Держинского коллектора (собирает излишки воды с полей обширной Держинской ОС и сбрасывает в залив) с  $W_{\text{год}} \sim 280\text{--}310$  млн м<sup>3</sup> (95–99%) и на порядок меньше – атмосферные осадки. Расходную часть составляют сбросы в нерегулируемый Северо-восточный и регулируемый Гаруновский (на юге) каналы, а также испарение с транспирацией. Все компоненты водного баланса были подробно изучены и количественно оценены, включая подземный водообмен. Из общих особенностей гидрохимических условий следует упомянуть, что воды солоноватые (2–4 г/л), сульфатно-магниевого, по солевому составу очень близкие к коллекторным водам. Особых выразительных черт в распределении гидрохимических характеристик по акватории нет – только значительные отклонения вблизи Держинского коллектора и на мелководьях у Уч-Косы. Обнаружены небольшие по кратности превышения ПДК – часто и сильно по марганцу, цинку, никелю. По УКИЗВ воды «грязные». Серьезная проблема – повышенное поступление биогенных веществ с коллекторными водами и их накопление в водоеме, которое приводит к дальнейшей эвтрофикации водоема.

В отличие от южной части залива, Северный Аграхан – это, по сути, типичный дельтовый озерно-плавневый массив с увеличивающимися (от года к году) площадями быстро осваиваемых «сухих» плавней, прорезанный руслами бывших и действующих каналов и проток, самым крупным из которых является Кубякинский канал. Включает 2 группы водоемов – южную (с часто пересыхающими, блюдцеобразными водоемами, самым большим водоемом – оз. Кузнечонок) и северную. Водообмен между ними затруднен, тогда как северный водный массив, состоящий из лагун-заливов Конный култук и Кара-Мурза, свободно связан с морем и имеет черты его водного режима. На водное зеркало приходится всего 34%, на обводненный тростник – еще 30%. Основную часть территории занимает Аграханский заказник. Высотные отметки снижаются с юга на север – с -25 до -27...-28 м БС, практически соответствуя уже уровню моря в среднем отсеке и достигая -28,5...-29 м БС в северном отсеке при доминирующих глубинах здесь 0,5–1 м. В Кубякинском канале максимальные глубины от 3 до 4,5 м. Распространены обширные заросли периодически обводняемого тростника, тогда как погруженной водной растительности значительно меньше. Донные отложения также имеют слоистую структуру, демонстрирующую историю превращения этой части залива из морского водоема в озерно-плавневый массив и сушу. Грунты засолены. Мощность механически проницаемых отложений в целом меньше, изменяясь от <0,25 м на устьевом взморье до 0,5 м в основной части Кара-Мурзы и 0,5–1,5 м в средней части.

В водоемах, свободно связанных с Северным Каспием, ход уровней воды определяется колебаниями уровня моря. Диапазон сезонных колебаний уровня – в среднем 20–35 см. Размах сгонно-нагонных колебаний – до 0,5 и 1 м и выше.

Блюдцеобразные водоемы Северного Аграхана (в южном и среднем его отсеках) "живут" за счет речных, коллекторных и снеготалых вод, дождевых осадков. Но каналы (с запада) более 15-20 лет остаются в пересохшем состоянии. Кубякинский канал-рыбоход функционирует лишь при высоких уровнях в Каргалинском Прорыве и после дноуглубления в истоке. В 2019 г. это было в июне-июле, в 2020 г. только в мае, что привело к гибели огромного числа рыбы, зашедшей в него на нерест. В отсутствие связи с рукавом и каналами северной части дельты Терека возможно пересыхание не только небольших водоемов, но даже оз.Кузнечонок максимальной площадью до 25 км<sup>2</sup> и глубинами до 1,5 м (в 2019 г. – уже <0,5 м). Именно это мы сейчас наблюдаем с 2020 г. – потеряно больше половины площади водоема. В Северном Аграхане также выявлены проблемы с качеством воды и ее засолением: в оз. Кузнечонок 1,5-2,5 г/л, в Кубякинском канале 1,2-3,5 г/л, по мере продвижения к морю – до 11-13 г/л. Воды в оз.Кузнечонок сульфатные, в Кубякинском канале – от сульфатных до хлоридных, в Кара-Мурза – хлоридные. По УКИЗВ вода «грязная» – «очень грязная». Есть вещества, специфичные для морских вод, очень высокие значения БПК<sub>5</sub> и ХПК. Высокое загрязнение донных отложений.

### **Выводы**

Морфологическая и гидрологическая деградация Аграханского залива бесспорна и она пример эволюции лагунного происхождения водоемов в дельтах, ускоренной масштабными изменениями уровня Каспия, занесением водоема наносами Терека, интенсивной водохозяйственной деятельностью, биогенным загрязнением вод. Основные проблемы современного Южного Аграхана, главным образом, гидроэкологического характера, и проявляемое в [1] беспокойство в отношении заиления, зарастания и достаточного водообеспечения не обосновано. У Северного Аграхана неблагоприятных гидролого-морфологических изменений намного больше и они серьезнее. Это – недостаточные глубины и водные площади, продолжающееся обмеление и сокращение числа и площади водоемов, отсутствие распреснения морских вод и их загрязненность, нерабочее состояние каналов и отсутствие возможности для прохода и нереста рыбы; негативные прогнозы дальнейшего развития в связи с падением уровня моря, отсутствием притока речных и коллекторных вод, аридизацией климата в этой части дельты Терека. Тем не менее, шанс на спасение еще сохраняется, если начать реализовывать научно-обоснованные (авторами) рекомендации по восстановлению части гидрологического потенциала бывшего Аграханского залива.

*Исследования выполнены в рамках хоздоговорных работ по заказу Западно-Каспийского БВУ и госбюджетной темы кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В.Ломоносова.*

### **Библиографический список**

1. Озеро Южный Аграхан: проблемы экологической реабилитации / под ред. Э.М.Эльдарова, М.А.Гуруева. Махачкала, 2014. 156 с.

2. Семенова А.А., Магрицкий Д.В., Самохин М.А. и др. Гидролого-морфологическая деградация Аграханского залива: особенности, причины, пути решения // Сб. докладов международной научной конференции «Четвертые Виноградовские чтения». СПб., 2020. С. 524-529.

УДК 519.714

О.Я. Масликова<sup>1</sup>, И.И. Грицук<sup>2,1,3</sup>, Д.Н. Ионов<sup>1</sup>  
[oksana68@mail.ru](mailto:oksana68@mail.ru)

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Российский Университет дружбы народов, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕГОВОГО СКЛОНА, В ТОМ ЧИСЛЕ ОКОЛО ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ, В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ**

Механическое поведение мерзлого грунта динамично и сложно. При формулировании взаимосвязи между прочностью и деформируемостью важно понимать характеристики оцениваемого грунта. В то же время разные образцы грунта, имеющие схожие физические характеристики в незамерзшем состоянии, могут вести себя по-разному после промерзания и во время оттаивания, поскольку мерзлые реликтовые и сезонноталые почвы ведут себя по-разному. В гидравлической лаборатории РУДН были проведены эксперименты по изучению прочности различных образцов мерзлого грунта при воздействии струи воды и одинаковой нагрузки.

*Ключевые слова:* многолетняя мерзлота, мерзлый грунт, оттаивание грунта, водный поток, нагрузка.

O.Ya. Maslikova<sup>1</sup>, I.I. Gritsuk<sup>2,1,3</sup>, D.N. Ionov<sup>1</sup>  
[oksana68@mail.ru](mailto:oksana68@mail.ru)

<sup>1</sup>Water problem institute of RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

## **STUDY OF THE STABILITY OF THE COASTAL SLOPE, INCLUDING NEAR THE TRANSPORT FACILITIES, IN THE CRYOLITHOZONE**

The mechanical behavior of frozen ground is dynamic and complex. When formulating the relationship between strength and deformability, it is important to understand the characteristics of the soil being assessed. At the same time, different soil samples with similar physical characteristics in an unfrozen state may behave differently after freezing and during thawing, since frozen relict and seasonally thawed soils behave differently. In the hydraulic laboratory of RUDN University,

experiments were carried out to study the strength of various samples of frozen soil when exposed to a stream of water and the same load.

*Keywords:* permafrost, frozen ground, soil thawing, water flow, load.

### ***Введение***

Традиционно считалось, что в криолитозоне мерзлые породы обладают устойчивостью, сравнимой со скальными породами, и долгое время такие допущения применялись при строительстве гидротехнических сооружений и мостовых переходов. Однако последние годы всё чаще стали возникать новые проблемы, связанные с увеличением температуры почвы, в том числе в горных районах [3]. По многим прогнозам [1;2;5], последствия изменения климата затронут новые арктические районы, вплоть до прибрежных зон Северных морей. В [6] отмечалось, что мерзлый грунт при оттаивании теряет свои прочностные характеристики до степени даже меньшей, чем аналогичный по структуре грунт в средних широтах.

Наблюдаемое потепление климата требует пересмотра стандартов строительства вблизи рек и других водных объектов, так как при больших нагрузках в малопрочных грунтах велик риск подвижности оттаивающей породы и обрушения строительных сооружений, что чревато катастрофическими последствиями. Для задач проектирования в условиях криолитозоны необходимо знать поведение мерзлых грунтов при тех или иных меняющихся условиях. В связи с этим возникают новые требования, связанные с деградацией мерзлоты и, как следствие, изменяются критерии прочности и устойчивости грунтов, пригодных для строительства. Целью работы является исследование различных образцов почвы на стрессоустойчивость при термическом (естественное оттаивание) и механическом (влияние водного потока) воздействиях.

### ***Материалы и методы***

Физическое моделирование проводилось в гидравлическом лотке циркуляционного действия со следующими образцами грунта:

1. увлажненный песок (крупность 0,2 мм);
  2. увлажненный торф в равных долях с песком (крупность 0,2 мм);
  3. увлажненный торф;
  4. торф с песком (крупность 0,2 мм) естественной влажности;
- торф естественной влажности.

Перед закладкой моделей они выдерживались несколько суток в морозильной камере при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$  до полной заморозки. Уже через несколько минут после начала эксперимента можно было заметить непосредственное влияние водного потока, что выражалось в размывании погруженной в воду части образца. В [8] было показано, что протаивание происходит немного быстрее, чем сам размыв. Также были проведены замеры оттаивания и эрозии в течении времени, построены графики глубины протаивания грунта различной заморозки и графики размыва для каждого

эксперимента в зависимости от времени. Полученные графики однозначно интерполируются логарифмической зависимостью (рис.1).

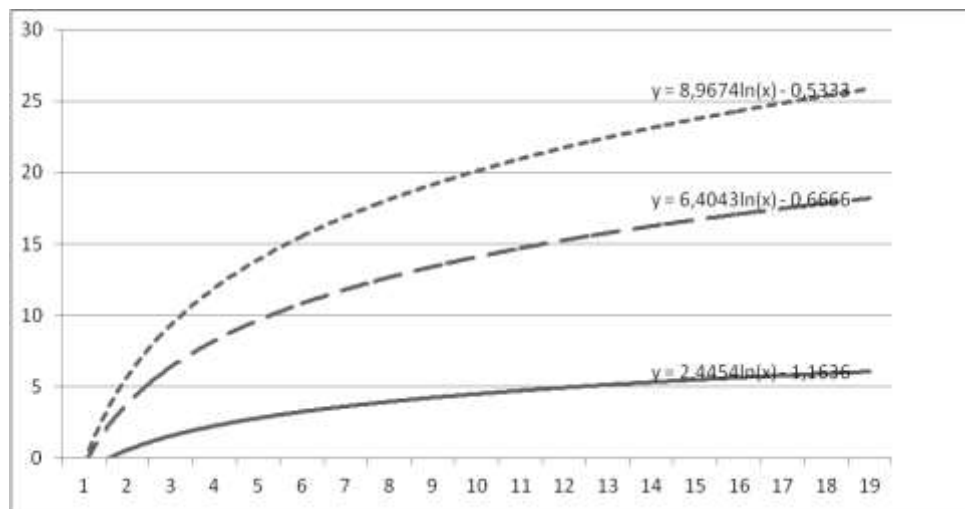


Рис. 1. Движение фронта протаивания (логарифмическая аппроксимация) – пунктирная линия – для смоченного грунта, точечная – для естественного влажного; сплошная линия – движение фронта эрозии

Из графиков видно, что время начала эрозии (размыва) не совпадает со временем начала протаивания, протаивание начинается раньше, при этом протаивание опережает и в скорости (примерно в два раза). Протаивание различных грунтов, например замороженного естественного грунта (аналог надводного склона) и замороженного смоченного (аналог подводной части склона), отличаются примерно в полтора раза. Эрозии подвергается только участок, находящийся в воде. После начала размыва верхняя, надводная часть склона, начинает проседать и обрушаться. В наших экспериментах несущая способность моделей грунтов в процессе оттаивания и влияния водного потока постепенно падала, что в результате привело к обрушению в следующей последовательности: 4→5→1→2→3. На рисунке 2 представлена нагрузка на образец, показавший самые большие прочностные характеристики.

### ***Анализ результатов***

В результате эксперимента увлажненный торф показал самые большие прочностные характеристики. Это объясняется тем, что протаивание содержащегося в нем льда происходит гораздо медленнее, чем протаивание обычного торфа с большой пористостью. В момент помещения такого образца в поток вода заполняет поры и вымывает вещество, а поры надводной части заполняются воздухом окружающей среды, что тоже способствует быстрому размораживанию образца.



Рис. 2. Постепенное обрушение нагрузки в процессе оттаивания основы

На втором месте по устойчивости оказался увлажненный торф в равных долях с песком, что тоже объясняется цементирующим воздействием замерзшей влаги. Этот образец протаивал медленнее, чем аналогичный образец естественной влажности, что также объясняется заполнением порового пространства водой или воздухом. Увлажненный песок держался только на сцеплении льда, а при оттаивании сразу рассыпался, что вполне очевидно объясняется его сыпучими свойствами.

Таким образом, прочностные свойства различных грунтов описываются многими факторами, в числе которых пористость и льдистость. В нашем случае не было возможности получить реликтовый лед, который встречается в криолитозоне, тем не менее мы использовали аналог сезонноталого слоя грунта. Эта работа является продолжением ранее начатых исследований деформаций береговых склонов северных рек, где было установлена зависимость обрушений от скоростей потока, наличия снежного покрова, дождя и от направления берегового уклона [7] а также исследования нагрузок на мерзлый грунт при оттаивании [4].

По [9] степень термпросадочности ММП при оттаивании определяется по формуле:

$$\delta = (\rho_d - \rho_{d,m}) / \rho_d ,$$

где  $\rho_d$  – плотность сухого (скелета) талого грунта, оттаявшего под расчётной нагрузкой, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{d,m}$  – плотность сухого (скелета) грунта в мёрзлом состоянии, г/см<sup>3</sup>.

Расчет нагрузок при гидротехническом строительстве в криолитозоне является сложной задачей и требует особого подхода в каждом конкретном случае, поскольку невозможно сделать единую модель в связи с разнообразием грунтов и историями их заморозки. Типизация почв не дает четкой картины при отрицательных температурах, так как переход вода-лед-вода в грунте меняет поведение пород, а непредсказуемость климатических изменений, влияющих на этот процесс, существенно усложняет задачу. Тем не менее, данная задача требует дальнейших исследований.

## **Выводы**

При проектировании мостов должны учитываться наблюденные данные о наводнениях, то есть необходимо не допускать превращения мостов в плотины. Учитывать изменение типа русловых процессов и общий размыв, происходящий в периоды паводочного стока. Применять для расчетов методику, учитывающую как массообмен между руслом и поймой, так и эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Следует учитывать, что аккумуляция наносов перед мостом приводит к увеличению размыва русла за пределами моста. Это приводит к береговым деформациям и разрушению береговых креплений.

*Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0001 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090056-0) Государственного задания ИВП РАН и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-08-00807).*

## **Библиографический список**

1. Climate change and possible impact on Arctic infrastructure. in Eighth International Conference on Permafrost, M Phillips, SM Springman and LU Arenson, A.A. Balkema, Zurich, Switzerland (2003). 461-466.
2. Forbes DL: Climate-change impacts in the coastal zone: Implications for engineering practice. in Géo Québec 2004: 57th Canadian Geotechnical Conference, D Demers, D Leahy et al., Québec City, QC, Canada (2004) 7A, 10 – 17.
3. Gruber S, Hoelzle M and Haeblerli W: Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. Geophysical Research Letters 31 (2004) Art. No. L13504 12004.
4. Maslikova O.Ya., Debolsky V.K., Ionov D.N., Gritsuk I.I., Sinichenko E.K. Laboratory research of the strength of frozen soils during thawing // Международная конференция «Инженерные системы – 2020», 20-22 мая 2020 года].
5. Nelson FE, Anisimov OA and Shiklomanov NI: Climate change and hazard zonation in the circumarctic permafrost region // Natural Hazards 26 (2002) 203-225
6. Scott, K.M. Effect of Permafrost on Stream Channel Behavior in Arctic Alaska, Geological Survey Professional Paper 1068, 1978, Library of Congress Catalog – card No 78-600058
7. Дебольский В.К., Грицук И.И., Ионов Д.Н., Масликова О.Я. Размывание мерзлых берегов северных рек в зависимости от направления берегового уклона // Вестник МГСУ, 2018. Т.13. Вып. 9. С.1112-1124. (DOI: 10.22227/1997-0935)
8. Дебольский В.К., Масликова О.Я., Ионов Д.Н., Грицук И.И., Джумагулова Н.Т. Лабораторное исследование влияния потока на протаивание подводного склона и темпы береговой эрозии в условиях криолитозоны. М.: Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2017. №2. С.182-192.
9. СНИП СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 (с Изменениями N 1-4).

Ю.П. Переведенцев<sup>1</sup>, К.М. Шанталинский<sup>1</sup>, Б.Г. Шерстюков<sup>2</sup>,  
Н.А.Мирсаева<sup>1</sup>, Т.Р. Аухадеев<sup>1</sup>, Е.М. Парубова<sup>1</sup>, М.А.Мягков<sup>1</sup>,  
[Yuri.Perevedentsev@ksu.ru](mailto:Yuri.Perevedentsev@ksu.ru)

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Мировой центр данных, г. Обнинск, Россия

## ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ВОЛЖСКОГО БАСЕЙНА В ПЕРИОД 1976 – 2019 ГГ.

Рассматриваются особенности распределения температуры воздуха и атмосферных осадков на территории Волжского бассейна в 1976–2019 гг. и 2001–2019 гг. Выявлен положительный тренд температуры воздуха на станциях региона в период 1976–2019 гг. как в центральные месяцы сезонов, так и в целом за год. Вместе с тем отмечено понижение январской температуры воздуха в период 2001–2019 гг. Наблюдается в целом прирост атмосферных осадков за весь рассматриваемый период.

*Ключевые слова:* температура воздуха, атмосферные осадки, тренды, Волжский бассейн.

Yu.P. Perevedentsev<sup>1</sup>, K.M. Shantalinsky<sup>1</sup>, B.G. Sherstyukov<sup>2</sup>, N.A. Mirsaeva<sup>1</sup>, T.R. Aukhadееv<sup>1</sup>, E.M. Parubova<sup>1</sup>, M.A. Myagkov<sup>1</sup>, Yuri.Perevedentsev@ksu.ru

<sup>1</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Centre, Obninsk, Russia

## TEMPERATURE AND HUMIDITY REGIME OF THE VOLGA BASIN IN THE PERIOD 1976 - 2019

The features of the distribution of air temperature and atmospheric precipitation on the territory of the Volga basin in the periods 1976 - 2019 are considered. and 2001 - 2019 A positive trend in air temperature at the stations of the region was revealed in the period 1976 - 2019. both in the central months of the seasons, and throughout the year as a whole. A decrease in January air temperature was noted in the period 2001 - 2019. In general, an increase in atmospheric precipitation is observed in the period under consideration.

*Keywords:* air temperature, precipitation, trends, Volga basin.

### **Введение**

Важную роль в формировании речного стока играют климатические факторы – атмосферные осадки и колебания температурного режима, обусловленные как современным антропогенным потеплением климата, так и динамикой атмосферной циркуляции. В работе [4] рассмотрены многолетние колебания гидрометеорологического режима Волжского бассейна в период 1891–1993 гг. В результате комплексного анализа многолетних колебаний



годовых осадков, стока и температуры воздуха (ТВ) Волжского бассейна выявлена квазицикличность в колебаниях годовых сумм осадков (3–4 и 13 лет), стока Волги – около 17 лет, температуры воздуха 2 и 10 лет. Обнаружена значимая корреляционная связь количества выпадающих осадков и стока р.Волги с западной и восточной формами циркуляции Вангенгейма-Гирса. В более поздней работе [5] по данным сети метеостанций и реанализа в период 1966–2018 гг. на территории Приволжского федерального округа выявлена общая тенденция повышения температуры воздуха, ослабление температурной изменчивости ТВ и незначительное увеличение годовых сумм атмосферных осадков на территории округа.

В статье главное внимание уделено особенностям температурно-влажностного режима в бассейне Волги в периоды 1976–2019 гг. и 2001–2019 гг., которые оказывают воздействие на изменения гидрологических характеристик рек бассейна Волги и в первую очередь на сезонный характер речного стока.

### ***Материалы и методы исследования***

С целью анализа пространственно-временной изменчивости температуры воздуха (ТВ) и атмосферных осадков на территории Волжского бассейна использовались данные 183 станций из фонда ВНИИГМИ–МЦД, расположенных на территории бассейна и вблизи его границ, послужившие основой для построения карт и таблиц. Находились средние значения и линейные тренды указанных климатических параметров в периоды 1976–2019 гг. и 2001–2019 гг. Основная территория бассейна р.Волги географически расположена в пределах 52°с.ш. – 60° с.ш., 35°в.д. – 60° в.д., что примерно соответствует картам-схемам этой территории приведенной в [3].

### ***Анализ результатов***

Рассмотрим особенности пространственно-временного изменения температуры воздуха на территории Волжского бассейна в периоды 1976–2019 гг. и 2001–2019 гг. в центральные месяцы сезонов и в целом за год. Как видно из таблицы 1, значения средней многолетней годовой ТВ как и температуры центральных месяцев сезонов в период 2001–2019 гг. заметно превышают соответствующие климатические показатели, рассчитанные для всего периода 1976–2019 гг., что свидетельствует о заметном потеплении на территории бассейна в 21 веке. Наблюдется заметное повышение ТВ с севера на юг и с запад на восток.

В таблице 2 представлены коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ) для рассматриваемых станций. Выделяются следующие особенности: в январе в период 2001 – 2019 гг. на всех станциях происходит понижение температуры с довольно значительной скоростью (например, на станции Саратов, Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС) КНЛТ =  $-2,08^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ ), что соответствует общей тенденции похолодания зим в Северном полушарии в начале 21 века в связи с так называемой паузой в период с 1998 по 2013 гг. в потеплении климата [2]. Похолодания в этот период отличаются на ряде станций и в другие центральные

месяцы сезонов, но в целом за год для 2-х рассматриваемых периодов на всей территории Волжского бассейна происходит рост температуры с заметной скоростью.

Таблица 1

**Средние температуры воздуха (°С) центральных месяцев сезонов и за год по интервалам 1976 – 2019 гг. и 2001 – 2019 гг. по станциям Волжского бассейна**

№	Станция	Январь		Апрель		Июль		Октябрь		Год	
		1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019
1	Санкт-Петербург	-5,9	-5,4	5	5,4	18,6	19,6	6	6,2	5,8	6,5
2	Вологда, Прилуки	-10,9	-10,2	3,4	3,7	17,4	18,1	3,1	3,5	3,1	3,8
3	Сыктывкар	-14,3	-13,5	1,7	2,2	17,3	17,9	1,3	1,8	1,3	1,9
4	Киров, АМСГ	-12,2	-11,7	3,8	4,1	18,6	19,3	2,5	3	3	3,6
5	Кострома	-9,8	-9,2	4,8	5,1	18,4	19	3,9	4,3	4,2	4,8
6	Ижевск	-12,8	-12,2	3,7	4	18,8	19,1	2,9	3,4	3	3,5
7	Екатеринбург	-13	-13	4,4	4,7	18,8	19	2,8	3,2	3	3,4
8	Москва, ВДНХ	-7,1	-6,8	6,6	7	19,1	20,2	5,3	5,8	5,8	6,5
9	Нижний Новгород, АМСГ	-9,2	-8,8	5,9	6	19,2	19,9	4,5	5	4,8	5,4
10	Смоленск	-6,8	-6,4	6,3	6,8	17,7	18,6	5,1	5,6	5,4	6,1
11	Казань, цгмс	-10,8	-10,2	5,3	5,9	20,1	20,9	4,5	5,3	4,6	5,4
12	Уфа, Дема	-12,9	-12,5	5,3	5,7	19,6	20	4,1	4,7	3,7	4,3
13	Самара, ОГМС	-10,4	-9,9	7	7,5	21,4	22,1	5,6	6,4	5,6	6,4
14	Курск, АЭ	-6,8	-6,3	7,8	8,4	19,5	20,8	6,2	6,9	6,5	7,5
15	Саратов, цгмс	-8,4	-8,2	8,2	8,6	22,5	23	6,6	7,1	6,9	7,5
16	Оренбург, ЗГМО	-12,3	-12,2	7,1	7,7	22,3	22,7	5,5	6,2	5,3	6
17	Элиста, АМСГ	-4,4	-4,1	10,3	10,1	24,9	25,5	9,6	10,2	9,9	10,5
18	Астрахань, ГМО	-4,1	-3,9	11,4	11,3	25,7	26,3	10,1	10,9	10,6	11,2

Примечание: В таблице 1, как и в последующих 2 и 3 приведены данные для отдельных станций.

Таблица 2

**Тренды температуры воздуха (°С/10лет) центральных месяцев сезонов и за год по интервалам 1976 – 2019 гг. и 2001 – 2019 гг. по станциям Волжского бассейна**

№	Станция	Январь		Апрель		Июль		Октябрь		Год	
		1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019
1	Санкт-Петербург	0,62	-0,57	0,47	0,1	0,6	-1,35	0,33	0,15	0,59	0,65
2	Вологда, Прилуки	0,63	-0,5	0,31	-0,33	0,41	-1,24	0,44	0,29	0,5	0,6
3	Сыктывкар	0,57	-0,83	0,44	0,15	0,32	-0,51	0,61	0,19	0,47	0,5
4	Киров, АМСГ	0,32	-1,62	0,23	-0,56	0,43	-0,68	0,57	-0,39	0,42	0,1
5	Кострома	0,58	-0,86	0,38	-0,07	0,35	-1,53	0,54	0,16	0,51	0,43
6	Ижевск	0,3	-1,79	0,28	-0,04	0,27	-0,21	0,61	-0,72	0,4	0,15
7	Екатеринбург	-0,12	-1,61	0,26	0,44	0,23	-0,11	0,63	-0,29	0,31	0,06
8	Москва, ВДНХ	0,46	-1,13	0,42	0,05	0,71	-1,13	0,56	0,6	0,58	0,66
9	Нижний Новгород, АМСГ	0,38	-1,61	0,24	-0,11	0,54	-0,46	0,58	-0,15	0,5	0,3
10	Смоленск	0,58	-1,07	0,53	0,11	0,55	-1,45	0,44	0,3	0,56	0,57
11	Казань, цгмс	0,43	-1,87	0,51	-0,27	0,56	-0,37	0,76	0,02	0,61	0,29
12	Уфа, Дема	0,29	-1,57	0,34	0,43	0,31	-0,26	0,72	-0,09	0,46	0,11
13	Самара, ОГМС	0,36	-1,92	0,43	-0,09	0,55	-0,04	0,86	0,13	0,57	0,2
14	Курск, АЭ	0,53	-1,21	0,65	0,93	0,9	-0,57	0,66	0,4	0,75	0,76
15	Саратов, цгмс	0,15	-2,08	0,4	0,37	0,41	0,09	0,63	0,16	0,46	0,21
16	Оренбург, ЗГМО	0,09	-2,06	0,49	0,78	0,34	0,71	0,77	0,21	0,48	0,18
17	Элиста, АМСГ	0,39	-0,68	-0,02	0,41	0,56	0,19	0,47	-0,44	0,47	0,19
18	Астрахань, ГМО	0,26	-0,58	0,03	0,97	0,51	0,84	0,76	-0,29	0,47	0,41

В таблице 3 представлены средние многолетние значения месячных (январь, апрель, июль, октябрь) и годовых сумм атмосферных осадков (мм) для 2-х периодов 1976 – 2019 гг. и 2001 – 2019 гг. Как видно из таблицы 3, наблюдается значительное снижение сумм осадков с севера на юг. При этом на большинстве станций количество осадков в январе в 2001 – 2019 гг. превышает сумму осадков всего периода 1976 – 2019 гг.

Таблица 3

**Средние значения сумм осадков (мм) центральных месяцев сезонов и за год по интервалам 1976 – 2019 гг. и 2001 – 2019 гг. по станциям Волжского бассейна**

№	Станция	Январь		Апрель		Июль		Октябрь		Год	
		1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019	1976-2019	2001-2019
1	Санкт-Петербург	45	47	34	37	84	87	63	63	663	692
2	Вологда, Прилуки	34	35	30	25	77	69	52	57	572	559
3	Сыктывкар	41	47	34	39	74	74	60	59	626	674
4	Киров, АМСГ	47	53	35	37	83	74	66	69	672	688
5	Кострома	42	41	34	36	77	75	62	66	631	627
6	Ижевск	31	33	28	29	65	71	51	54	520	547
7	Екатеринбург	25	24	32	34	90	81	41	43	525	531
8	Москва, ВДНХ	52	53	38	39	87	82	66	70	713	710
9	Нижний Новгород, АМСГ	38	37	34	35	78	74	58	58	597	579
10	Смоленск	50	51	40	38	91	79	63	71	732	731
11	Казань, цгмс	43	49	32	32	67	68	53	53	570	582
12	Уфа, Дема	45	43	33	33	53	41	60	58	581	566
13	Самара, ОГМС	54	57	41	40	52	47	51	55	566	546
14	Курск, АЭ	48	53	42	38	79	74	55	54	645	629
15	Саратов, цгмс	44	49	34	37	50	45	36	43	492	498
16	Оренбург, ЗГМО	28	26	26	27	41	42	34	37	359	359
17	Элиста, АМСГ	24	25	28	27	38	44	31	35	374	395
18	Астрахань, ГМО	15	13	23	27	21	15	19	21	232	233

В целом картина неоднозначная, что подтверждают и данные рассчитанных трендов сумм осадков (мм/10лет) для центральных месяцев сезонов и года для 2-х периодов. Картина достаточно мозаичная. Если в ряде северных станций (Сыктывкар, Кострома) наблюдается значительный прирост годовых сумм осадков в 21 веке, то на юге (станции Оренбург, Зональная гидрометеорологическая обсерватория (ЗГМО); Элиста, Авиационная метеорологическая станция гражданская (АМСГ) происходит усиление аридности климата (тренды осадков отрицательные). Естественно, что в летний

период выпадает значительно больше осадков, чем в зимний. В работе [1] отмечено, что наблюдающиеся современные изменения в годовом стоке на реках бассейна Волги климатообусловлены.

### **Выводы**

Выполненный анализ изменений температуры воздуха и атмосферных осадков в периоды 1976–2019 гг. и 2001–2019 гг. показывает, что на территории Волжского бассейна наблюдается потепление климата и возрастание сумм атмосферных осадков, что приводит к изменению гидрологических характеристик речной системы региона.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 20-55-00014).*

### **Библиографический список**

1. *Вопросы географии. Сборник 145. Гидрологические изменения* /Под ред. В.М. Котлякова, Н.И. Коронкевича, Е.А. Барабановой. М.: Изд. «Кодекс». 2018. 432 с.
2. *Логинов В.Ф., Микуцкий В.С. Изменения климата: тренды, циклы, паузы.* Минск. Белорусская наука. 2017. 160 с.
3. *Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем* / Под ред. С.М. Семенова. Росгидромет. 2012. 508 с.
4. *Переведенцев Ю.П., Верецагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М.* Многолетние колебания основных показателей гидрометеорологического режима Волжского бассейна. Метеорология и гидрология. 2001. №10. С. 16 – 23.
5. *Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р.* Климатические изменения в Среднем Поволжье в XIX – XXI веках. Метеорология и гидрология. 2020. №6. С. 36 – 46.

УДК 556.555

С.А. Поддубный, А.В. Кутузов, А.И. Цветков, [spod@ibiw.ru](mailto:spod@ibiw.ru)  
*Институт биологии внутренних вод РАН, п. Борок, Россия*

## **СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ И ВОДООБМЕН ЗАРАСТАЮЩЕГО МЕЛКОВОДЬЯ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛЖСКОГО ПЛЕСА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

Охарактеризованы морфометрические характеристики и рельеф дна типового заостровного мелководья. Рассмотрена многолетняя и сезонная динамика уровня воды в Рыбинском водохранилище с 1947 по 2020 гг. Выявлены периоды колебаний основных гидрометеорологических параметров применительно к исследуемому участку водохранилища. На основе архивных и современных данных наблюдений за структурой

течений исследованы особенности переноса воды и водообмен мелководья с учетом его сезонного зарастания макрофитами.

*Ключевые слова:* водохранилище, защищенное мелководье, уровень воды, зарастание макрофитами, течение, водообмен

S.A. Poddubnyi, A. V. Kutuzov, A.I. Tsvetkov, [spod@ibiw.ru](mailto:spod@ibiw.ru)

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia*

## **THE STRUCTURE OF CURRENTS AND WATER EXCHANGE OF OVERGROWING SHALLOW WATER (BY AN EXAMPLE OF THE VOLGA REACH OF THE RYBINSK RESERVOIR)**

The morphometric characteristics and bottom topography of typical shallow water behind the island are characterized. The long-term and seasonal dynamics of the water level in the Rybinsk reservoir during the period from 1947 to 2020 is considered. The periods of fluctuations of the main hydrometeorological parameters in relation to the investigated section of the reservoir are shown. Based on archival and modern observation data on the structure of currents, the patterns of water transport and water exchange in shallow water are investigated, considering its seasonal overgrowth with macrophytes.

*Keywords:* reservoir, protected shallow waters, water level, overgrowth with macrophytes, current, water exchange.

### ***Введение***

В равнинных водохранилищах наличие защищенных от прямого гидродинамического воздействия участков мелководий обуславливает формирование на их акваториях специфических местообитаний гидробионтов, связанных с высшими водными растениями (ВВР). Среди основных гидрологических факторов, влияющих на пространственное распределение макрофитов и многолетнюю динамику зарастания мелководной зоны, выделяются режим уровня, ветровые волны и течения [9;10]. Вместе с тем, рассматривая вопросы воздействия динамических процессов на распределение ВВР, следует отметить их двустороннее взаимодействие. С одной стороны, интенсивные ветровые волны и течения приводят к ограничению распространения ВВР в литорали [6]. С другой стороны, ассоциации макрофитов создают условия для изменения поля ветра над зарастающими участками замедления потока воды и, соответственно уменьшения водообмена и проточности защищенных мелководий [3;8;11].

Таким образом, цель работы заключается в изучении особенностей структуры течений и водообмена в пределах зарастающего заостровного мелководья Рыбинского водохранилища.

### ***Материалы и методы исследования***

Объектом исследования послужило заостровное мелководье, расположенное в Волжском плесе Рыбинского водохранилища [5]. В современных условиях при нормальном подпорном уровне (НПУ) площадь мелководья составляет 5,21 км<sup>2</sup>, при протяженности 3,8 км и средней ширине 1,8

км. Глубины от 0 до 2 м занимают 79, а более 3 м – всего 3,6% площади зеркала воды (рис. 1).

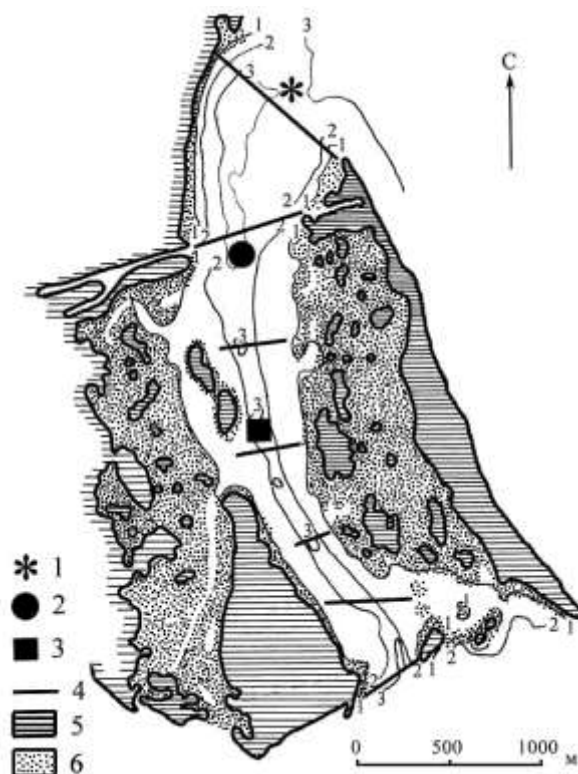


Рис.1. Схема расположения АБС и разрезов наблюдений над течениями. 1 – в 1976 г.; 2 – в 1977 г.; 3 – в 1992 г.; 4 – в 2016 и 2020 гг.; 5 – суша выше НПУ 101.81 м; 6 – площадь распространения макрофитов в начале июня по спутниковым данным

В работе использованы многолетние среднемесячные данные по уровню воды Рыбинского водохранилища, объему притока в водоем и осадкам на его зеркало, полученные в результате регулярных наблюдений Рыбинской гидрометеообсерваторией, а также заимствованные из базы данных ВНИИГМИ-МЦД [1;2].

Границы мелководья выделялись на основе спутниковых материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за период 2015–2020 гг. Контуры береговой линии мелководья для разных уровней сработки воды в водохранилище получены автоматизированной обработкой сцен спутниковых съемок (спутники Landsat-8 и Sentinel-2) среднего пространственного разрешения (до 10 м/пиксель) в ближнем инфракрасном оптическом диапазоне.

Скорость и направление течений измерялась самописцами БПВ-2р в 1976–1977 и АЦИТТ в 1992 гг. (архивные материалы ИБВВ РАН). На зарастающих участках мелководий в 2016–2020 гг. регистрация параметров течения осуществлялась с помощью акустического доплеровского профилографа Sontek Mini ADP.

Наблюдения проводились в наиболее глубокой части мелководья (протоке) с площадью при НПУ 2.2 км<sup>2</sup>, поскольку восточный и западный его участки полностью зарастал ВВР (рис. 1). В сезонном аспекте по мере развития

макрофитов площадь открытой воды протоки уменьшалась к концу лета на 60% – до 0,91 км<sup>2</sup>.

### **Результаты и их обсуждение**

**Режим уровня.** Основными факторами, определяющими размах колебаний уровня воды и их периодичность в Рыбинском водохранилище, служат: утвержденные значения уровня воды, ограничивающие полезный и противопаводковый объемы водохранилища, диспетчерские правила регулирования стока гидроузлом; гидрометеорологические и ландшафтные условия формирования стока на водосборе; морфологические особенности ложа водоема [7].

За 74 года эксплуатации Рыбинского водохранилища средняя многолетняя величина НПУ составила 101,47 м (при проектной отметке 101,81 м). Минимальный уровень предполоводной сработки (УПС) наблюдался в марте, а в отдельных случаях в феврале и в среднем достигал отметки 98,80 м. За весь период наблюдений УПС постепенно повышался и после 2004 г. практически не опускался ниже отметки 99,00 м (рис.2).

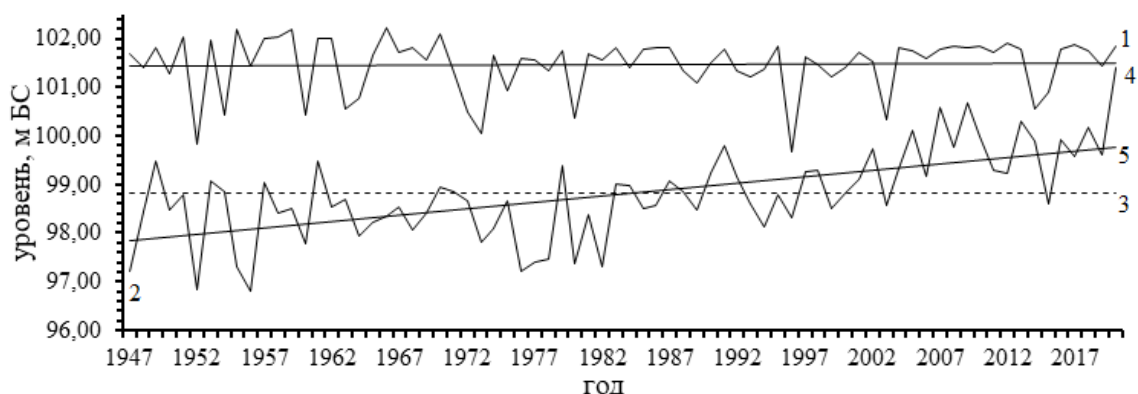


Рис.2. Многолетняя динамика уровня воды в Рыбинском водохранилище (1947–2020 гг.). 1 –  $Z_{\text{макс}}$ ; 2 – УПС; 3 – принятая отметка дна исследуемого мелководья; 4 – тренд  $Z_{\text{макс}}$ ; 5 – тренд УПС

Применительно к исследуемому мелководью максимальная его глубина при НПУ составляла более 3 м, т.е. находилась ниже отметки 98,81 м. В периоды проведения съемок течений глубина мелководья варьировала от 3 м во второй половине мая до 1,6 м в первой половине сентября.

**Течения и водообмен.** Для определения основных факторов, формирующих течения в защищенном мелководье, проведена статистическая обработка временных рядов скорости течения, полученных на АБС в разных частях мелководья (рис.1), скорости ветра и объема стока через Угличскую ГЭС. На основе спектрального анализа в рядах скорости ветра выявлены колебания синоптического масштаба (2,0–3,0 и 5,0–7,0 сут) и местного характера (0,5–1,0 сут). Сток через гидроузел характеризовался недельными (5–7 сут) и полунедельными (2,5–3,5 сут) колебаниями. Кроме того, в высокочастотной области спектра отчетливо выделялись колебания с периодами 3–4, 6, 8 и 12 час. В спектрах течений преобладали колебания синоптического характера (2,0–3,5 и



5,0–6,0 сут.), суточные и полусуточные колебания, а также высокочастотные с периодами 4,5, 6 и 8 час. Регрессионный анализ исследуемых рядов выявил преобладающую роль ветра в формировании течений в пределах мелководья ( $r=0,5-0,8$ ).

Изучение пространственного распределения течений проводилось на разрезах в пределах свободной от ВВР акватории мелководья (рис. 1). В зависимости от степени развития макрофитов протяженность разрезов изменялась от 335 до 730 м в конце мая и от 95 до 216 м в середине июля. Согласно результатам измерений перенос воды происходил в направлении действия ветра. В силу незначительного ветрового воздействия (1,0–2,2 м/с) средняя скорость переноса воды вдоль продольной оси мелководья составила 2,0–3,0 см/с. Средний расход воды на разрезах изменялся от 5 до 20 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент водообмена при указанных гидрометеорологических условиях составил 0,47–0,67, т.е. вода на рассматриваемом участке зарастающего мелководья полностью сменялась за 1,5–2,0 суток (таблица).

### Гидрометеорологические характеристики зарастающего мелководья

Характеристика	Год, месяц		
	2016		2020
	май	июль	июль
Направление ветра, град.	316	120	346
Скорость ветра, м/с	1,0	2,2	1,7
Направление течения, град.	140	360	160
Скорость течения, см/с	2,2	2,0	3,0
Средняя площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	945	248	578
Средний расход воды, м <sup>3</sup> /с	20	5	17
Длина мелководья, м	3800	3800	3800
Объем воды исследуемого участка, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	3,6	0,9	2,2
Объем притока за сутки, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	1,7	0,43	1,47
Коэффициент водообмена	0,47	0,48	0,67
Время водообмена, сутки	2	2	1,5
Коэффициент проточности км/сутки	1.8	1.8	2.5

### Выводы

Результаты исследования показали, что в пределах защищенного мелководья преобладает ветровое течение. В отдельных случаях при слабом ветровом воздействии, значительных расходах воды через Угличский гидроузел, совпадении периодичности попусков со скоростью ветра и проявлениями свободных и вынужденных колебаний уровня воды вклад стока в формирование течения мелководья может превышать или быть сравнимым с вкладом ветра. Согласно более ранним исследованиям [4], периоды изменений скорости течения в волжском плесе Рыбинского водохранилища составляют 11,8, 8, 6, 2,5–3 час. Несмотря на сезонное зарастание участка макрофитами, его водообмен остается достаточно высоким.

Работа выполнена в рамках государственного задания № АААА-А18-118012690104-3.

### Библиографический список

1. Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Александрова Т. М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадкой на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 / ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск, 2019. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperatureprecipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 17.10.2019)
2. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России. Гидрографы постов. Электронный ресурс. <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/>. (accessed: 13.02.2019).
3. Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Бреховских В.Ф. Зарастающие водотоки и водоемы. М.:Наука, 2004. 310 с.
4. Литвинов А.С. О структуре течений в верховьях верхневолжских водохранилищах// Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР. Рыбинск. 1977. Вып. 36(39). С.18–30.
5. Поддубный С.А. Защищенные мелководья верхневолжских водохранилищ и их экологическое значение // Вода: химия и экология. 2013. № 11. С. 25–40.
6. Роль волнения в формировании биоценозов бентоса больших озер/ Под ред. И.М.Распопова. Л.: Наука, 1990. 114 с.
7. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
8. Kiss M. Physical interaction mechanisms at the littoral-pelagic interface of shallow lakes: Ph. D. thesis: Date of the public discussion of the thesis: 2015. III. 02: Date of diploma: 2015. III. 26 / Kiss Melinda; Budapest University of Technology and Economics. - Budapest, 2014. 120 p.
9. Krolova M., Cizkova H., Hejzlar J. Depth limit of littoral vegetation in a storage reservoir: A case study of Lipno Reservoir (Czech Republic)// Limnologica. 2012 Vol.42. Pp.165– 174.
10. Poddubnyi S.A., Chemeris E.V., Bobrov A.A. Influence of Water-Level Regime on the Overgrowing of Shallow Waters of the Rybinsk Reservoir. Inland water biology. 2018. Vol. 11. No. 4. Pp. 425–434.
11. Wang Chao, Zhu Ping, Wang Pei-fang, Zhang Wen-ming. Effects of aquatic vegetation on flow in the Nansi Lake and its flow velocity modeling// J. Hydrodynamic. Ser.B. 2006. Vol.18(6). Pp. 640–648.

Ш.Р. Поздняков, [tgbmaster@mail.ru](mailto:tgbmaster@mail.ru)

*Институт озераедения Российской академии наук СПб ФИЦ РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОСОВ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ**

Рассмотрены новые направления и современные проблемы исследования взвешенных наносов и донных отложений в водохранилищах. Показана важность расширения диапазона анализируемых частиц в субмикронные размеры. Проанализирована необходимость оценки концентрации и состава микропластика, как нового вида искусственных наносов в естественных водных объектах и водохранилищах.

*Ключевые слова:* взвешенные наносы, донные отложения, гранулометрический состав, субмикронные частицы, микропластик.

Sh.R.Pozdniakov, [tgbmaster@mail.ru](mailto:tgbmaster@mail.ru)

*Institute of limnology of the Russian academy of sciences of St. Petersburg FITS  
RAN, Sankt- Petersburg, Russia*

## **CONTEMPORARY PROBLEMS OF A STUDY OF DEPOSITS IN THE RESERVOIRS**

Basic directions and contemporary problems of a study of the suspended sediments and bottom deposits in the reservoirs are examined. The importance of the expansion of the range of the analyzed particles into the sub-micron sizes is shown. The need for the estimation is analyzed concentration and the composition of micro-plastic as the new form of artificial deposits in the natural aqueous objects and reservoirs.

*Keywords:* the suspended sediments, bottom deposits, granulometric composition, sub-micron particles, micro-plastic.

В любом водохранилище состав, характеристики и поведение взвешенных наносов и донных отложений оказывают важное и иногда определяющее воздействие на экологическое состояние водного объекта. При этом, накопление экспериментального материала и данных натурных исследований привело к пересмотру причинно-следственных связей в происходящих процессах и явлениях.

В этой связи необходимо отметить следующее. До последнего времени в классической гидрологии при стандартных исследованиях и на сети Росгидромета при проведении мониторинговых работ, использовалась классификация частиц наносов по их размерам с ограничением анализируемых размеров до 1 мкм. Это определялось классическими инструментальными возможностями при использовании методов анализа на основе учета гидравлической крупности частиц. При этом считалось, что частицы размером менее 1 мкм в пробах составляют обычно несколько первых процентов и для их

оценки можно придерживаться остаточного принципа без дальнейшей дифференциации по размерам.

Однако, важность вклада мельчайших частиц в экологическое состояние водных объектов делается понятной, исходя из того, что при дроблении любого твердого тела, увеличивается его суммарная поверхность при неизменности суммарного объема или массы. Т.е. по мере роста дисперсности увеличивается удельная поверхность, приходящаяся на единицу массы или объема, достигая, например в субмикронной области сотен  $\text{м}^2/\text{г}$ . Так, если рассмотреть суммарную площадь поверхности частиц различных фракций в единице кубического объема со стороной ребра равной 100 мм, то площадь поверхности шара диаметром 100 мм составит  $314 \text{ см}^2$ , в то же время площадь поверхности частиц диаметром 1 нм в таком же объеме составит  $3,14 \text{ км}^2$ , т.е. 100 млн раз больше [2]. Кроме того, при уменьшении размеров частиц, все более значительная доля от общего количества молекул, составляющих вещество, находится на поверхности раздела фаз. Эти молекулы отличаются от других не только по положению в несимметричном силовом поле, но и по энергетическому состоянию, обладая избыточной свободной энергией, которая накапливается на межфазной границе. В этой связи мельчайшие частицы ведут себя значительно активнее в процессах сорбции, чем более крупные [5]. Так, в частности, в ходе экспедиционных исследований на основе анализа 2500 проб воды и 300 проб взвешенных наносов р.Катуни получено, что в зависимости от гидрологического режима на частицах размером 0,45–1 мкм в реке транспортируется от 3 до 34 % всей сорбированной ртути, тогда как весовая доля этой фракции не превышает 0,5 - 10 % суммарного веса всех фракций [2].

В этой связи также интересными представляются результаты работ, выполненных ИНОЗ РАН на р.Неве в 2019 г. В процессе данных исследований выполнялся анализ гранулометрического состава взвешенных наносов данного водотока, который подтвердил результаты предшествующих гидрологических и гидрофизических работ, которые отмечали, что взвешенные наносы р.Невы представлены преимущественно песчано-илистыми частицами. При этом, средний размер взвешенных наносов ориентировочно составляет порядка 0.05 мм и в этом диапазоне располагается 99 % всех частиц, а всего 1 % приходится на частицы, со средним размером 100 нм. В таком случае, в единице объема взвешенных наносов р.Нева площадь поверхности субмикронных частиц более чем в 2 раза превысит площадь всех песчано-илистых частиц вместе взятых. При ограничении анализа размеров взвешенных наносов нижним пределом в 1 мкм этот факт практически игнорировался.

В Институте озераведения РАН в последнее время предприняты серьезные усилия по разработке практической методики выявления и гранулометрического анализа частиц субмикронных фракций. Как отмечалось выше, стандартные гидравлические приемы здесь неприменимы. Адаптация же существующих методов измерения размеров субмикронных частиц, применяемая в медицине, различных отраслях производств и т.д., когда колебания размеров частиц

составляют, как правило, десятки процентов, для условий естественных водных объектов осложняется слишком широким размерным диапазоном частиц [6].

В результате многочисленных экспериментов в ИНОЗ РАН разработана принципиальная схема гранулометрического состава субмикронных частиц. Данная методика основана на последовательной фильтрации пробы с частицами наносов после выделения их пипеточной установкой через серию мембранных фильтров. При этом возможно расширение диапазона дифференциации частиц по крупности до размера 100 нм. Метод является весьма дешевым и позволяет выделять физически промежуточные подфракции для дальнейшего анализа. В настоящее время ведется доработка представленной схемы гранулометрического анализа до состояния, пригодного для использования в стандартных мониторинговых работах.

Другое направление исследований наносов в водохранилищах связано с изменившимися видами антропогенного воздействия на них. Развитие человеческой цивилизации отмечено интенсивным развитием производств по изготовлению материалов из пластических масс. Для таких материалов характерны 2 особенности, которые должны беспокоить экологов – это недолгий срок службы (большинство таких изделий являются одноразовыми) и длительный период разложения после попадания в естественную природную среду после использования (по оценкам составляющий сотни лет). В этой связи, складывается ситуация при которой происходит накопление использованных пластических материалов в природных средах практически с момента появления первого изделия в 1830 году. Переработка использованных изделий из пластических масс до сих пор составляет небольшие проценты от общего объема, в то же время интенсивность производства новых изделий растет в геометрической прогрессии, значительная часть этого объема пластика очень быстро возвращается в природную среду в качестве мусора. В результате Мировой океан оказался основным приемником этих отходов и в настоящее время насчитывается около 6-ти крупных мусорных пятен, сформировавшихся в результате глобальных гидродинамических воздействий, как в субтропических, так и в арктических зонах.

Вместе с тем проблема загрязнения пластиковым мусором континентальных водных объектов и, прежде всего водохранилищ, является не менее, если не более актуальной и важной. При этом, приходится констатировать, что помимо крупного пластикового мусора, связанного с результатами антропогенной деятельности, гидросфера, литосфера и атмосфера Земли в настоящее время пронизана частицами, так называемого микропластика, под которым понимают частицы размером менее 5-ти миллиметров. В соответствии со своим происхождением микропластик делится на 2 группы – первичный и вторичный. Первичный микропластик образуется в результате износа автомобильных шин и различных видов дорожного покрытия и краски. Далее, стирки изделий из синтетических тканей, от которых отслаиваются микроволокна, поступающие в канализацию, а оттуда в водные системы. Кроме того, туда же попадают мельчайшие пластиковые гранулы, являющиеся

составной частью большинства современных косметических, моющих и чистящих средств. Вторичный микропластик является продуктом распада крупного пластикового мусора – пакетов, одноразовой посуды, различных приспособлений и упаковок, пластиковых бутылок. Распадаясь, кусочки пластика сохраняют свою молекулярную структуру. Основная опасность микропластика заключается, как для любых мельчайших частиц, в его огромной удельной поверхности. В результате частицы микропластика достаточно активно могут притягивать органические и неорганические загрязнители, присутствующие в воде. Например, полихлорированные бифенилы (ПХБ), способные вызвать развитие злокачественных новообразований. В то же время, как показывают данные наблюдений, частицы микропластика активно транспортируются по пищевой цепи. На нижних звеньях частицы попадают в организмы в результате процессов фильтрации ими воды или в результате восприятия микропластика как элемента питания. Далее по цепочке пластик попадает в рыбу и, в результате, в человека. Другим каналом попадания микропластика в человеческие организмы является питьевая вода. Современные очистные сооружения способны задерживать только относительно крупные частицы, пропуская субмикронные, которые представляют наибольшую опасность, поскольку имеют высокую проникающую способность в различные ткани человека, включая мозг.

В этой связи, в ИНОЗ РАН организованы работы по развитию методов обнаружения и оценки характеристик микропластиковых частиц в естественных водных объектах. С этой целью для условий континентальных водоемов и водотоков адаптирована система отбора и обработки проб воды, применяемая для условий Мирового океана с учетом специфических характеристик пресных гуминовых вод [4] с использованием идентификации микропластиковых частиц с использованием специальных красителей [1]. С использованием этой системы на акватории Ладожского озера и его притоках было проведено исследование концентрации и гранулометрического состава частиц микропластика в водной толще и донных отложениях. В результате, частицы микропластика были обнаружены во всех исследуемых образцах [3].

При анализе размерных фракций частиц микропластика обнаружено, что количество мелких частиц (менее 1,5мм) превышает количество более крупных частиц (от 1,5мм до 5мм) во всех исследуемых образцах. Нам представляется, что данная тенденция будет резко возрастать при переходе к более мелким размерным диапазонам.

Следует отметить, что данные о концентрации и составе микропластика в естественных водных объектах дают представление об особенностях трансформации частиц пластика и их транспортировки в водной толще. Значительные величины концентраций, полученные при анализе ситуации на дне Ладожского озера, свидетельствуют о важной роли донных отложений, в частности, в водохранилищах, как активной зоны накопления частиц микропластика.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН на 2019-2023 гг. по теме № 0154-2019-0003 «Разработка*

комплексных методов исследования и оценки характеристик твердых частиц в наномасштабном диапазоне размеров в водных объектах с различной степенью антропогенной нагрузки», № госрегистрации АААА-А19-119031890107.

### Библиографический список

1. Иванова Е.В., Гузева А.В., Лапенков А.Е., Поздняков Ш.Р., Капустина Л.Л., Митрукова Г. Г., Тихонова Д.А. Особенности применения красителя нильский красный для идентификации частиц пластика в природных объектах. // Российский журнал прикладной экологии. Казань. 2020. № 4. С. 36-42.
2. Поздняков Ш.Р. Проблемы расчета и измерения характеристик наносов в водных объектах. СПб.: Лема, 2012. 226 с.
3. Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В. Оценка концентраций частиц микропластика в воде и донных отложениях Ладожского озера. // Региональная экология. СПб. 2018. № 4 . С. 48–52.
4. Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Крюков Л.Н. К вопросу о проблеме микропластика в континентальных водоемах.// Российский журнал прикладной экологии. Казань. 2019. № 2. С. 60-64.
5. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. СПб.: Химия, Санкт-Петербургское отделение, 1995. 400 с.
6. Kryukov L.N., Pozdnyakov S.R., Rumyantsev V.A. The signinicance of identification of nano-size particles in freshwater bodies: case study of Lake Ladoga // Water resources. M. 2017. T. 44. N 4. С. 645-653.

УДК 556

М.В.Сидорова, [sidorova@igras.ru](mailto:sidorova@igras.ru)  
Институт географии РАН, г. Москва, Россия

### ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РЕЖИМ ПОЛОВОДЬЯ В XXI В.

Оценены возможные изменения среднемноголетних максимальных снегозапасов и стока половодья на Европейской территории России (ЕТР) на основании данных глобального климатического моделирования. Использованы данные об осадках и температурах по 5 МОЦАО (моделям общей циркуляции атмосферы и океана) проекта CMIP5, отобранным по критерию наилучшего воспроизведения современного климата. Показано, на территории ЕТР ожидаются разнонаправленные изменения максимальных снегозапасов и стока половодья, однако для южных территорий прослеживается тенденция к снижению этих характеристик, усиливающаяся к концу XXI в. и при использовании данных «жесткого» сценария выбросов парниковых газов.

*Ключевые слова:* весеннее половодье, сток половодья, максимальные снегозапасы, изменения климата, речной сток, модели глобальной циркуляции.



## **GLOBAL CLIMATE CHANGE IMPACT ON SPRING FLOOD REGIME IN THE 21ST CENTURY**

Possible changes in mean annual maximum snow reserves and flood runoff in the European Russia (ER) are estimated based on the global climate modeling data. Precipitation and temperature data of 5 AOGCMs (atmospheric and ocean general circulation models) of the CMIP5 project, selected according to the criterion of the best reproduction of the modern climate were used. It is shown that multidirectional changes in the maximum snow reserves and flood runoff are expected in the ETR, but for the southern territories there is a tendency towards a decrease in these characteristics, which intensifies by the end of the 21st century and when using data from the "hard" scenario of greenhouse gas emissions.

*Keywords:* spring flood, flood runoff, maximum snow reserves, climate change, river runoff, global circulation models.

Весеннее половодье существенно определяет условия использования водных и гидроэнергетических ресурсов. Климатические изменения значительно меняют современный речной сток и его внутригодовое распределение [2]. В данный момент наблюдается значительное снижение стока половодья в южной части ЕТР, которое объясняется тем, что во время частых зимних оттепелей снег тает и запасы воды пополняют грунтовые воды, а половодье фактически исчезает как фаза водного режима [3].

В этих условиях долгосрочный прогноз характеристик стока половодья с учетом климатических изменений представляется весьма актуальным. Наиболее разработанным инструментом анализа возможных климатических изменений в будущем являются МОЦАО (модели общей циркуляции атмосферы и океана) учитывающие различные сценарии выбросов парниковых газов. Авторами сделан ряд методических разработок [5], где показано, что использование ограниченного ряда характеристик, выдаваемых МОЦАО, а именно, осадков  $P$  и температуры  $T$ , дает возможность более качественно оценить будущие изменения стока и его характеристик, чем непосредственные выдачи МОЦАО характеристик речного стока. В работе представлена оценка возможных изменений стока половодья в XXI в. (периоды «середина» века 2040-2060 гг. и «конец» века 2080-2100 гг.) по данным МОЦАО из проекта CMIP5 по двум сценариям выбросов парниковых газов: среднему (RCP 4.5) и более жесткому (RCP 8.5) [6]. Из ансамбля 35 МОЦАО проекта были отобраны 5 по критерию наилучшего воспроизведения осадков за холодный период. Это модели CNRM-CM5, miroc5, IPSL-CM5B-LR, CanEsm2 и GFDL-ES2G.

Сток за период половодья в первую очередь связан с процессами снеготаяния, а его величина в значительной степени определяется запасами воды в снеге. Запасы воды в снежном покрове являются центральной характеристикой, существенно определяющей все количественные соотношения гидрометеорологических процессов в снежном покрове и в почве. Для пересчета данных МОЦАО в величины водного эквивалента снежного покрова при участии



автора был разработан алгоритм SNEG2. Подробно алгоритм описан в работе [5]. Алгоритм преобразует среднесуточные температуры воздуха  $t^{\circ}\text{C}$  и суточные суммы осадков  $p$  (мм) в ежедневные величины снегозапаса  $S$  (мм).

Адекватность работы алгоритма, проверенная по 65 метеостанциям Восточно-Европейской равнины характеризуется уравнением регрессии:

$$S28(ob) = 0.94 S28(sneg2)$$

с коэффициентом корреляции  $r=0,82$ . Зависимость демонстрирует некоторое завышение значений алгоритмом, что возможно объясняется недоучетом потерь. Можно предположить, что и другие выходные характеристики алгоритма SNEG2 (например,  $S_{max}$ ), будут соотноситься с реальными таким же образом.

Для расчета стока половодья была использована расчетная схема на основании современных данных, разработанная и представленная в работе [5]. В качестве исходных данных для обоснования зависимости для ЕТР были использованы данные о стоке половодья по карте Атласа [1], интерполированные в регулярную сетку. Данные о максимальном снегозапасе и других компонентах приходной части уравнения водного баланса представлены результатами прогона данных «объективного анализа» через алгоритм SNEG 2.

Связь стока весеннего половодья непосредственно со значениями максимального снегозапаса характеризуется уравнением:

$$y_{ПВ} = 0.0040(S_{max})^{2.0563} \quad (1)$$

с коэффициентом корреляции  $r=0,96$  и СКО= $\pm 32$ , где  $S_{max}$  максимальный снегозапас.

Алгоритм расчета стока половодья для данных современного периода выглядит следующим образом:

1) Ежедневные значения осадки и температура прогоняются через алгоритм *sneg2*:

$$P, T \Rightarrow \text{алгоритм SNEG2} \Rightarrow S_{max}(sneg2);$$

2) По уравнению (1) рассчитывается сток весеннего половодья для трех периодов – базисного и двух прогнозных.

3) Рассчитывается относительное изменение стока весеннего половодья  $K_{у_{ПВ} 2050} = y_{ПВ} 2050 / y_{ПВ} 1980$  и  $K_{у_{ПВ} 2100} = y_{ПВ} 2100 / y_{ПВ} 1980$ . При таком расчете устраняется систематическое смещение алгоритма SNEG2, а также погрешность климатических моделей, наследуемая в прогнозных периодах.

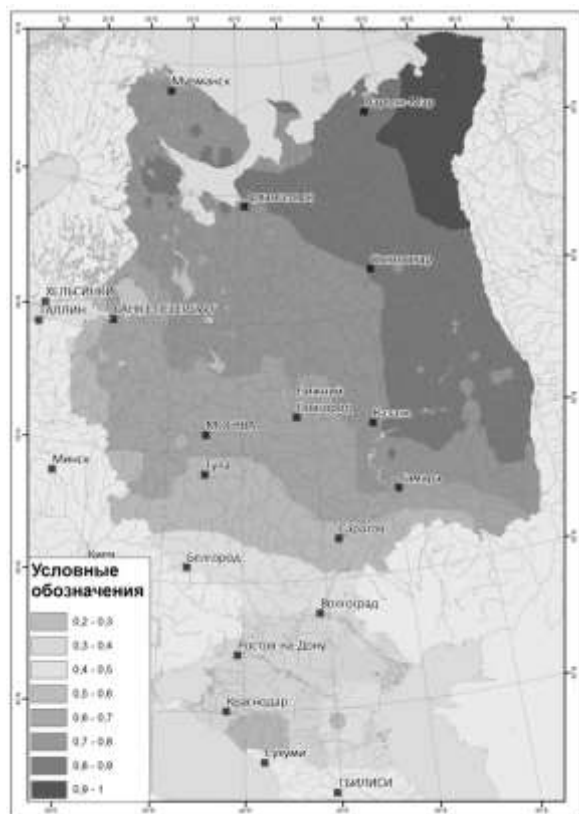
По описанному выше алгоритму были оценены возможные изменения максимального снежного покрова в XXI в. по ансамблю 5 МОЦАО, отобранных по критерию наилучшего воспроизведения осадков холодного периода. Расчет по сценарию RCP 4.5 иллюстрирует повсеместное уменьшение характеристики, за исключением северо-восточной окраины территории, где максимальный снегозапас не уменьшится. Уменьшение усиливается от северо-восточных областей к юго-западным. Для середины XXI в. характерны значения  $K_{S_{max}}$  от 0,4 до 1,0. Для конца века тенденция несколько усиливается – изолинии смещаются к югу, значения  $K_{S_{max}}$  колеблются от 0,4 в районе Краснодарского края и до 1 в северо-восточной окраине ВЕР.

Для более жесткого сценария RCP 8.5 изменения более заметные и имеют более сложное пространственное распределение. К середине века также ожидается снижение максимальных снегозапасов, особенно на юго-западных окраинах ЕТР до значений 0,3-0,5 от современных величин, тогда как для территорий между 57°с.ш. и 65°с.ш. изменения не ожидаются. К концу века снижение максимальных снегозапасов охватывает всю исследуемую территорию, кроме крайней северо-восточной окраины. Максимальное снижение возможно до значений 0,2 от величин базисного периода. Севернее 55°с.ш. снижение характеризуется значениями 0,6-0,9 от величин базисного периода.

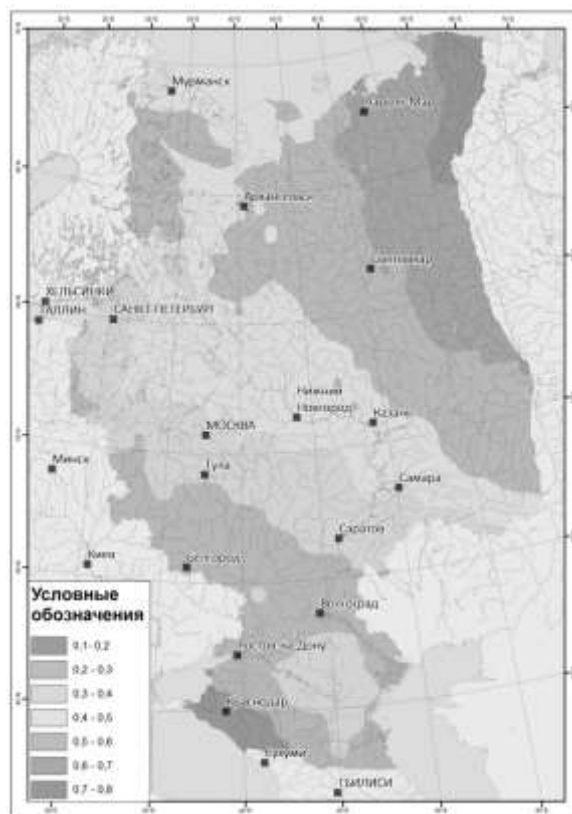
Логичным образом изменяется и сток половодья на исследуемой территории. По обоим сценариям, наблюдается снижение стока половодья. Наиболее ярко тенденция к уменьшению проявлена на юго-западных территориях ЕТР, где уже в настоящее время наблюдается значительное снижение стока половодья, а в некоторых районах исчезновение половодья как фазы водного режима. Так, для сценария RCP 4.5 характерен диапазон значений 0,2-1 для середины века (рисунок *а*) и 0,1-0,8 для конца века (рисунок *б*) в долях от значений базисного периода. Для сценария RCP 8.5 в середине века остается территория, не затронутая снижением половодья соответствующая «климатическому гребню стока» от г.Санкт-Петербурга по 60°с.ш., а остальные территории испытывают снижение стока половодья (рисунок *в*). Конец века характеризуется наиболее ярким возможным снижением стока половодья от полного исчезновения половодья на юге до значений 0,8 от значений базисного период на северо-востоке (рисунок *г*).

Сопоставление результатов оценки изменений стока весеннего половодья, полученных ранее [4], свидетельствует об их непротиворечивости. Оба варианта показывают повсеместное снижение слоя стока половодья – умеренное на северном склоне ВЕР и сильное на южных окраинах вплоть до полного исчезновения.

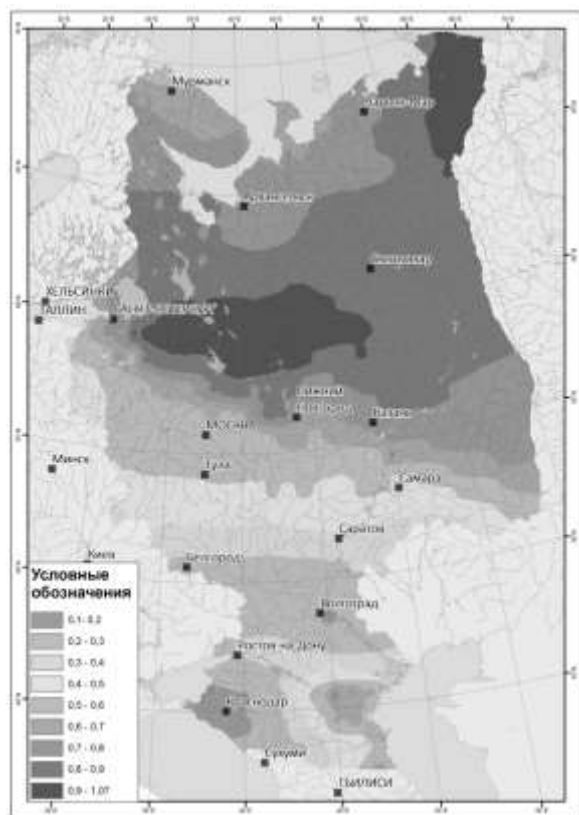
а



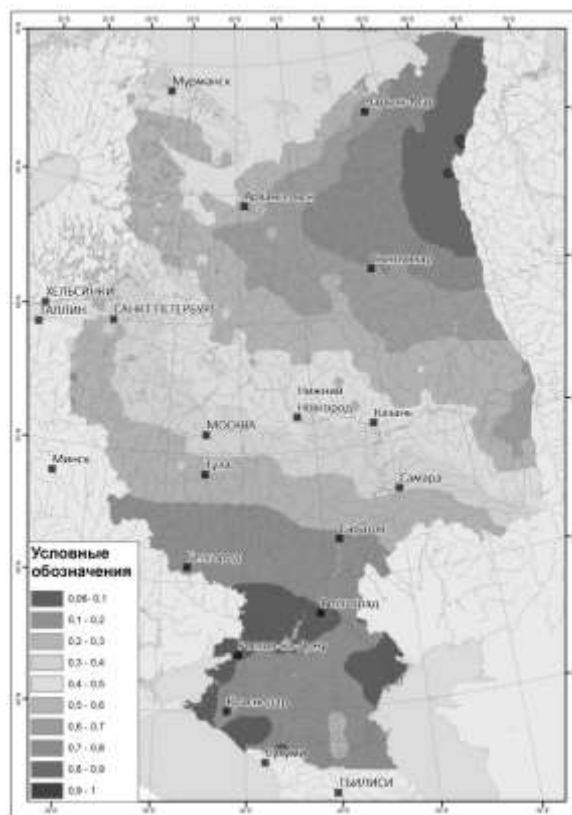
б



в



г



Слой стока половодья ( $K_u$ ) в XXI веке в долях от величин базисного периода, рассчитанный по ансамблю 5 МОЦАО. (а – середина века (2046-65гг.), б – конец века (2081-99) по сценарию RCP 4.5, в – середина века (2046-65гг.), г – конец века (2081-99) по сценарию RCP 8.5)

### Библиографический список

1. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. Л.: Гидрометеиздат, 1986 – 28 листов.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
3. Джамалов Р.Г. и др. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России: Формирование, распределение, использование //М.: ГЕОС. 2015. С. 315.
4. Кислов А. В. и др. Последствия возможного потепления климата в XXI веке на севере Евразии8 //Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. №. 3.
5. Сидорова М. В. Оценка возможных изменений речного стока в XXI веке на территории Восточно-Европейской равнины //Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2010. Т. 2010.
6. Van Vuuren D. P. et al. The representative concentration pathways: an overview //Climatic change. 2011. Т. 109. №. 1-2. С. 5.

УДК 551.435.36 (470.57)

А.И. Смирнов, [smalil@mail.ru](mailto:smalil@mail.ru)

*Институт геологии УФНИЦ РАН, г. Уфа, Россия*

### ТИПЫ И ПЕРЕРАБОТКА (ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ) БЕРЕГОВ НУГУШСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

По направленности развития берегов на водохранилище выделены: абразионные, абразионно-аккумулятивные, аккумулятивные, абразионно-эрозионные и техногенные типы берегов, а по ведущему экзогенному геологическому процессу, вызванному абразией, они подразделены на денудационные, осыпные и обвальнo-осыпные. Приведена оценка скорости разрушения берегов за 50 лет – со времени создания водохранилища до настоящего времени. На современном этапе переработка берегов развивается крайне слабо. В настоящее время состояние берегов близко к динамическому равновесию.

*Ключевые слова:* типы берегов водохранилища, скорость разрушения берегов.

A.I. Smirnov, [smalil@mail.ru](mailto:smalil@mail.ru)

*Institute of Geology, UFNITS RAS, Ufa, Russia*

### TYPES AND PROCESSING (REFORMING) OF SHORE NUGUSH RESERVOIR IN THE SOUTH URALS (REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

According to the direction of the shores development on the reservoir: abrasion, abrasion-accumulative, accumulative, abrasion-erosion and man-made types of shores are distinguished, and according to the leading exogenous geological process caused by abrasion, they are subdivided into denudation, talus and landslide-talus. The assessment of the rate of destruction of the shores for 50 years is given - from the time of the reservoir creation to the present. At the present stage, coastal processing is developing extremely poorly. At present, the state of the banks is close to dynamic equilibrium.

*Keywords:* types of reservoir shores, rate of destruction of the shores.

### ***Введение***

Нугушское водохранилище построено в 1967 г. и находится в Мелеузовском муниципальном районе Республики Башкортостан (РБ) на р. Нугуш в 35 км к северо-востоку от г. Мелеуза. По морфологическим особенностям оно является горным и имеет следующие характеристики: нормальный подпорный уровень (НПУ) – 217,0 м абс.; площадь зеркала при НПУ – 25,2 км<sup>2</sup>; средняя глубина при НПУ – 15,3 м; полный объем при НПУ – 400,0 млн м<sup>3</sup>. Плотина водохранилища длиной 2040 м создает напор 27,7 м, в результате чего подпор воды вверх по реке прослеживается на 25 км.

В геоморфологическом отношении водохранилище создано в пределах низкогорных хребтов западного склона Юного Урала и четко подразделяется на две гидрологические зоны – хвостовую и озерную. Первая – шириной 0,3-1,2 км имеет трапециевидное поперечное сечение с крутыми (в верхних частях обрывистыми) склонами высотой 130-170 м, сложенные девонскими и каменноугольными карбонатами. Вторая – шириной до 5 км имеет более пологие (до 25°) и низкие (120-135 м) склоны, сложенные нижнепермские терригенно-карбонатными породами и рыхлыми четвертичными образованиями.

Вода в водохранилище гидрокарбонатная кальциевая и магниево-кальциевая с минерализацией 0,15-0,25 г/дм<sup>3</sup>.

В районе водохранилища преобладают южные и юго-западные ветры. Их среднегодовая скорость – 3,2 м/с. Около 90 дней в году скорость ветра колеблется в интервале от 8 до 15 м/с, около месяца – от 15 до 20 м/с и лишь раз в году она достигает 28 м/с [1].

### ***Материалы и методы исследования***

В 1990-1994-х гг. ПГО (ныне ОАО) «Башкиргеология» в восточной части РБ проводило работы по изучению экзогенных геологических процессов (ЭГП), в ходе которых были обследованы берега Нугушского водохранилища. По результатам работ составлена карта переработки берегов масштаба 1:50000 Нугушского водохранилища и определена скорость их разрушения [3]. Современная оценка скорости переформирования берегов оценена методом сравнительного анализа ранее полученных данных с данными последних лет по методике оценки переработки берегов Павловского водохранилища на р. Уфа (РБ) [3].

### *Анализ результатов*

Длина водохранилища при НПГ на образование ветровой волны (озерная часть) составляет 7,5 км. Максимально возможная расчетная высота вскапывания волны на плотину составляет 1,74 м. В ходе обследования берегов водохранилища в 1991 г. установлено, что высота волны в озерной части водохранилища обычно колеблется от 0,2 м до 0,6 м, достигая при сильных ветрах иногда 1,0 м [3].

По направленности развития берегов выделены: абразионные, абразионно-аккумулятивные, аккумулятивные, абразионно-эрозионные и техногенные берега, а по ведущему ЭГП, вызванному абразией, они подразделены на денудационные, осыпные и обвально-осыпные по [2].

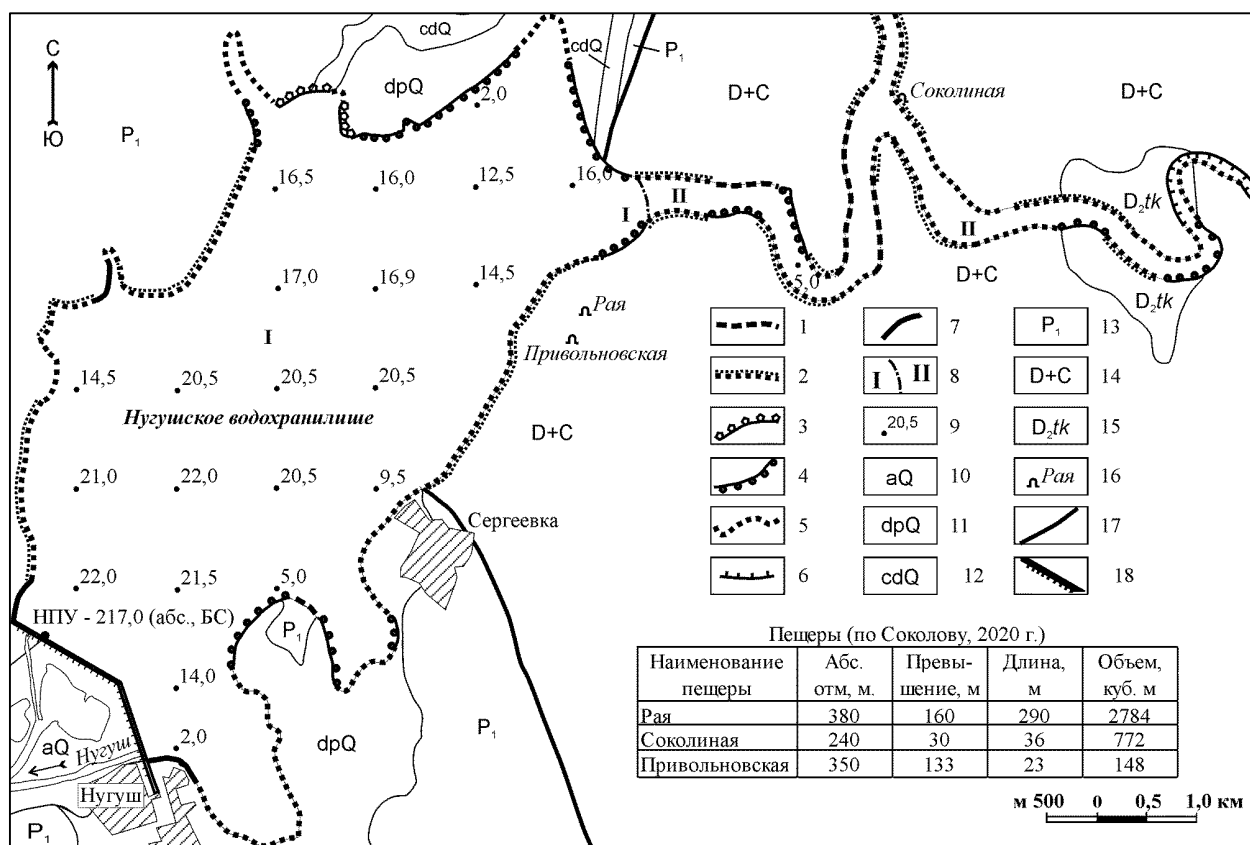
Как в первой, так и во второй гидрологических зонах наибольшее распространение получили абразионные берега, занимающие соответственно 54,9% и 54,1% (здесь и далее от общей протяженности всех типов берегов). Среди них преобладают абразионные осыпные берега: 30,3% и 36,1% в первой и второй зонах соответственно (рисунок).

Аккумулятивный тип берега, характеризуются отсутствием разрушения берегов волновым процессом и развит преимущественно в заливах озерной части (20,1%) и в хвостах речной (24,6%). Распространен он в основном по левобережью реки и имеет относительно широкую мелководную отмель.

Абразионно-аккумулятивный тип берега является переходным. Ему свойственны признаки, присущие как абразионному, так и аккумулятивному типам. Наряду с наличием четко выраженного клифа, обычно отсутствующим у последнего, у него имеется пляж и береговая отмель. Этот тип берега наибольшее развитие получил в первой гидрологической зоне (21,4%) и в меньшей степени во второй (9,8%).

Абразионно-эрозионный тип берега также является переходным, обусловленным деятельностью текущей воды и волнового процесса. Встречается он исключительно в хвостовых частях второй гидрологической зоны (11,5%).

Наименьшим распространением пользуется техногенный тип берега (3,6%). К нему отнесены берега, защищенные от абразии бетонными плитами в районе плотины (у левого и правого плеча) и в Кашлаварском заливе. Укрепление берега на первом участке было осуществлено одновременно с сооружением плотины, на втором – позже, с целью защиты от абразии территории турбазы "Нугуш" в районе, которой скорость разрушения клифа высотой 1,5-2,0 м на отдельных участках составляла 0,8-1,6 м в год.



Типы берегов Нугушского водохранилища

Условные обозначения:

Типы берегов: 1 – абразионный денудационный, 2 – абразионный осыпной, 3 – абразионный обвально-осыпной, 4 – абразионно-аккумулятивный, 5 – аккумулятивный, 6 – абразионно-эрозионный, 7 – техногенный. 8 – граница гидрологических зон: I – зона наибольшего ветрового волнения (озерная часть), II – зона ограниченного ветрового волнения (речная часть). 9 – глубина водохранилища, м. Стратиграфо-генетические комплексы пород: 10 – аллювиальные, аллювиально-делювиальные четвертичные отложения (глина, суглинок, песок, гравий, галька), 11 – коллювиально-делювиальные четвертичные отложения (обломки, щебень и дресва коренных пород), 12 – делювиально-пролювиальные четвертичные отложения (суглинки, глины, дресва коренных пород), 13 – нижнепермские прибрежные терригенно-карбонатные отложения (песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, доломиты), 14 – девонские и каменноугольные морские карбонатные отложения (известняки, доломиты), 15 – прибрежно-континентальные терригенные отложения такатинской свиты среднего отдела девонской системы (песчаники, гравилиты). 16 – пещера и ее наименование. 17 – тектонические нарушения. 18 – плотина.

Активность переработки берегов минимальна в речных (хвостовых) частях водохранилища. Максимальна – в озерной его части, которая характеризуется наибольшим развитием волнового процесса. Скорости и динамика разрушения берегов по их типам приведена в таблице.

Из таблицы видно, что наибольшие скорости разрушения клифа в первой гидрологической зоне наблюдаются на участках, где он сложен суглинками и глинами. При этом скорость разрушения высоких клифов больше, чем низких, а из всех типов берегов Нугушского водохранилища наибольшее переработке

подвержены абразионные обвальнo-осыпные берега. К этому следует лишь добавить, что абразионный процесс существенного воздействия на населенные пункты и другие социально-экономические объекты в настоящее время не оказывает.

Таблица

**Скорость разрушения берегов в озерной части Нугушского водохранилища**

<i>Тип берега</i>	<i>Литологический состав клифа</i>	<i>Диапазон скоростей разрушения клифа, м/год</i>	
		<i>1967-1990 гг.</i>	<i>1991-2020 гг.</i>
Абразионный денудационный	Известняки, доломиты в коренном залегании	—	—
	Сланцы глинистые и кремнистые в коренном залегании	0,1-0,2	0,05-0,1
Абразионный осыпной	Сланцы глинистые в коренном залегании	0,3-0,5	0,05-0,1
	Суглинки со щебнем коренных пород	0,4-0,6	0,1-0,2
	Щебень и обломки коренных пород	0,1-0,3	0,05-0,1
Абразионный обвальнo-осыпной	Суглинки, глины	1,0-1,5	0,1-0,5
	Песчаники в коренном залегании	0,2-0,3	0,05-0,1
Абразионно-аккумулятивный	Глины	0,5-1,0	0,1-0,2
	Суглинки	1,0-1,2	0,1-0,3
	Щебень и обломки коренных пород	0,1-0,3	0,05-0,1

**Выводы**

Полученные сведения по типам берегов и скорости их переработки свидетельствуют, что максимальные скорости их разрушения абразией характерны для берегов озерной части на участках, где они сложены рыхлыми нелитифицированными четвертичными отложениями. Минимальные — на берегах, в строении которых принимают коренные скальные и полускальные породы. Спустя 50 лет после создания Нугушского водохранилища современное состояние его берегов близко к динамическому равновесию, разрушение их в настоящее время очень слабое.

*Исследование выполнено в рамках государственной бюджетной темы № 0246-2019-0118.*

**Библиографический список**

1. *Гареев А.М., Галимова Р.Г.* Справочник по климату Республики Башкортостан Ч. 1: методические указания. Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. 92 с.
2. *Печеркин И.А., Печеркин А.И., Гайнанов Ш.Х.* Переработка берегов водохранилищ, сложенных песчано-глинистыми и карбонатными породами. Учебное пособие по спецкурсу. Пермь: ПГУ, 1981. 96 с.



3. Смирнов А.И., Дурнаева В.Н. Оценка переработки берегов Павловского водохранилища на реке Уфа с использованием гистехнологий // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VII Всерос. научно-практической конференции с международным участием: в 3 томах. 2019. Т.2. С. 197-202.

УДК 556.535.2.6

Д.И. Соколов, С.Р. Чалов, М.А. Терёшина, О.Н. Ерина, Г.Л. Шинкарёва  
[Dmitriy.Sokolov@yandex.ru](mailto:Dmitriy.Sokolov@yandex.ru)

*Московский государственный университет им.М.В. Ломоносова, г.Москва,  
Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА УРБАНИЗИРОВАННОЙ РЕКИ СЕТУНИ**

По результатам исследований 2019-2020 гг. рассмотрены особенности водного, термического, ледового режима и мутности воды малой урбанизированной реки Сетуни – одного из крупнейших правых притоков р. Москвы, протекающего в западной части Московского мегаполиса. Модуль стока с водосбора Сетуни в 1,5-2,0 раза, а мутность – в 3 раза выше, чем в естественных условиях в верховьях бассейна р. Москвы. Из-за теплового загрязнения сточными водами ледяной покров формируется только в верховьях реки при устойчивых морозах, а температура воды в черте города выше на 1,5-2,5°C (зимой до 6°C).

*Ключевые слова:* городские реки, малые реки, гидрологический режим, термический режим, ледовый режим, мутность воды, Московский мегаполис.

D. Sokolov, S. Chalov, M. Tereshina, O. Erina, G. Shinkareva  
[Dmitriy.Sokolov@yandex.ru](mailto:Dmitriy.Sokolov@yandex.ru)

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

## **PECULIARITIES OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE URBAN SETUN RIVER**

According to the results of 2019-2020 studies, we considered the features of hydrological, thermal, ice regime and water turbidity of the small urban Setun River, one of the largest right tributaries of the Moscow River, flowing in the western part of the city of Moscow. The specific discharge from the Setun watershed is 1.5-2.0 times and the turbidity is 3 times higher than in natural conditions in the upper Moscow River basin. Due to thermal pollution by wastewater, ice cover forms only in the upper reaches of the river during sustained frosts, and water temperature within the city is 1.5-2.5 degrees higher (up to 6 degrees in winter).

*Keywords:* urban rivers, small rivers, hydrological regime, thermal regime, ice regime, water turbidity, Moscow megacity.

### ***Введение***

С каждым годом урбанизация оказывает все большее влияние на окружающую среду, в том числе на гидрологический режим городских

водотоков. Годовой сток с урбанизированных территорий в среднем на 10-15% больше, чем в естественных условиях [1,3,4]. Характер весеннего половодья в больших городах может быть не связан со снегозапасами и характером предшествующей зимы (при массовом вывозе снега из города годовой сток может даже снижаться). Урбанизация способствует увеличению повторяемости паводков и их высоты. Меженный сток в городах может как снижаться, так и повышаться в зависимости от структуры водопользования [3,4].

Водный баланс городских водотоков определяется не только (а порой не столько) спецификой городского ландшафта, но и масштабами водопотребления и водоотведения. Сток многих городских ручьев и малых рек практически полностью (до 80% в отдельные сезоны) формируется за счет поступающих в них промышленных и бытовых сточных вод или загрязненного поверхностного стока, что приводит к его внутригодовому выравниванию [3].

Тепловое загрязнение сточных вод может существенно искажать термический и ледовый режим городских водных объектов. Сток наносов с урбанизированных территорий обычно превышает естественный за счёт городских стоков и может резко увеличиваться в периоды строительных и дорожных работ [3,4].

### ***Материалы и методы исследования***

Целью настоящего исследования было изучить гидрологический режим урбанизированной р. Сетуни и выявить его ключевые отличия от режима естественных водотоков. Сетунь – крупнейший правый приток Москвы-реки в черте столицы и во всём верхнем и среднем течении. Длина реки составляет 38 км, её водосбор площадью 190 км<sup>2</sup> расположен в западной части города Москвы (рис. 1). Река протекает через городские районы Солнцево, Ново-Переделкино, частично в Одинцовском районе Московской области, пересекает МКАД в районе Сколковского шоссе, затем Аминьевское шоссе, Минскую улицу и впадает в р. Москву ниже Бережковского моста. Основные притоки Сетуни – реки Сетулька (в верховьях), Навершка и Раменка (в нижнем течении).

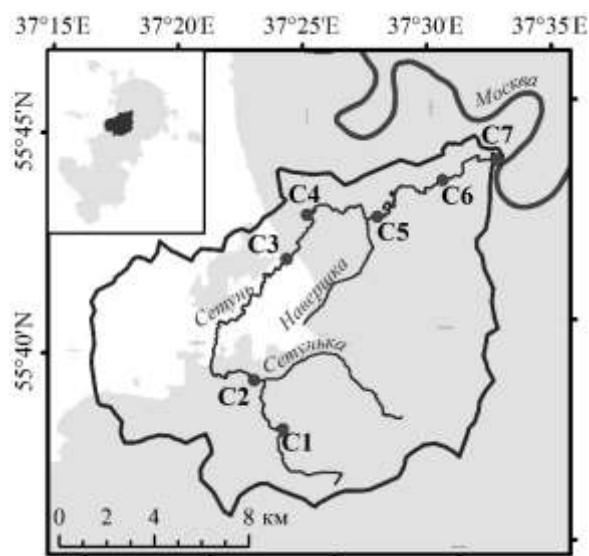


Рис. 1. Схема водосбора р. Сетуни и расположения станций мониторинга

Часть водосбора с обоих берегов реки в черте Москвы (от МКАД до устья) площадью около 7 км<sup>2</sup> включена в крупнейший в Москве природный заказник «Долина реки Сетунь». Несмотря на это, в Сетунь поступает муниципальный сток нескольких районов г. Москвы. Для некоторых её притоков доля сточных вод превышает долю естественного стока. Так, р. Навершка круглый год характеризуется неестественно высоким стоком с водосбора площадью всего 8 км<sup>2</sup>, практически полностью расположенного на территории промзон Очаково, Южное Очаково, Северное Очаково со множеством заводов, фабрик и ТЭЦ.

С августа 2019 г. в среднем ежемесячно осуществлялся мониторинг качества воды р. Сетуни в 7 пунктах, равномерно расположенных по длине реки, а также на двух её ключевых притоках – Сетуньке и Навершке. Он включал в себя измерение температуры и оптической мутности воды портативными зондами YSI ProSolo и ProDSS (США) и визуальные наблюдения за ледовым режимом. На р. Сетуни выше впадения р. Навершки проводились измерения оптической мутности самописцем Aqua TROLL 600 с дискретностью 1 секунда.

С ноября 2019 г. на 5 створах (в пунктах С1, С3 и в районе пунктов С4, С6, и С7) была организована система воднобалансовых измерений при помощи автономных гидростатических самописцев (логгеров) уровня воды HOBO U20L и Solinst Levelogger 5 Junior с дискретностью записи 30 минут. Барометрическая компенсация производилась по данным ближайших метеостанций (Внуково, Московского государственного университета и Балчуг). На всех постах измеряли расходы воды методом «скорость-площадь» при помощи измерителя скорости потока ИСП-1М (от 3 до 6 измерений в каждом створе в различные фазы водного режима). По полученным данным построены кривые зависимости расходов воды  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) от уровней воды  $H$  (см):  $Q=f(H)$ . Это позволило оценить среднесуточные расходы воды за весь период автоматической регистрации уровней.

### ***Анализ результатов***

По данным гидрологического поста Росгидромета «завод Сложные Эфиры» (располагался в 0,8 км ниже пункта С7, в 0,6 км от устья, действовал с перерывами в период 1974-1988 гг.), р. Сетунь имеет восточноевропейский тип режима с выраженным весенним половодьем. В справочнике [2] для этого поста даны характеристики годового стока, приведённые к многолетнему периоду (1896-2010): среднегодовой расход 2,41 м<sup>3</sup>/с, модуль стока 12,9 л/с·км<sup>2</sup>,  $C_v$  0,38. В 2020 г. среднегодовой расход воды в замыкающем створе (С7) составил 3,39 м<sup>3</sup>/с, что соответствует примерно 15% обеспеченности, превышает среднегодовые расходы за весь период наблюдений Росгидромета и сопоставимо только с многоводным 1983 г. Среднегодовой модуль стока повышался от 8 л/с·км<sup>2</sup> выше МКАД до 18 л/с·км<sup>2</sup> в нижнем течении, внутригодовая изменчивость стока сглаживалась от  $C_v=0,8-0,9$  до 0,46.

В 2020 г. из-за частых зимних оттепелей к концу зимы на водосборах Московской области снежный покров существенно стаял, поэтому половодье на реках региона практически отсутствовало (рис. 2 а). Повышение стока в конце февраля, вызванное таянием оставшегося снега, практически не заметно на гидрографе. Более выраженный паводок в начале марта был обусловлен

дождями. При этом май-июль были аномально дождливыми (в среднем вдвое выше нормы), в мае месячная норма осадков была превышена в 3,7 раза (только за 29-31 мая выпало более 100 мм – 2 месячные нормы). Это обусловило экстремальный паводок, на пике которого расход воды в замыкающем створе достигал 3-4% обеспеченности: 10 м<sup>3</sup>/с – измеренный расход 1 июня, 18 м<sup>3</sup>/с – оценка по меткам высоких вод, 22 м<sup>3</sup>/с – по данным логгеров и кривой  $Q=f(H)$ .

Существенный вклад в гидрологический режим Сетуни вносят притоки Навершка и Раменка, в то время как объём и модуль стока Сетуни в верхнем (С3) и среднем (С4) течении различаются незначительно (рис. 2, а, б). Модуль стока в верховьях Сетуни сравним с естественными условиями формирования стока, сохранившимися в верховьях бассейна р. Москвы (на водосборе Можайского водохранилища). Однако ниже впадения Навершки и Раменки резко увеличивается не только водность Сетуни, но и модуль стока (в 1,5-2,0 раза), вероятно, потому, что сток этих рек (особенно Навершки) увеличен за счёт коммунальных и промышленных сточных вод.

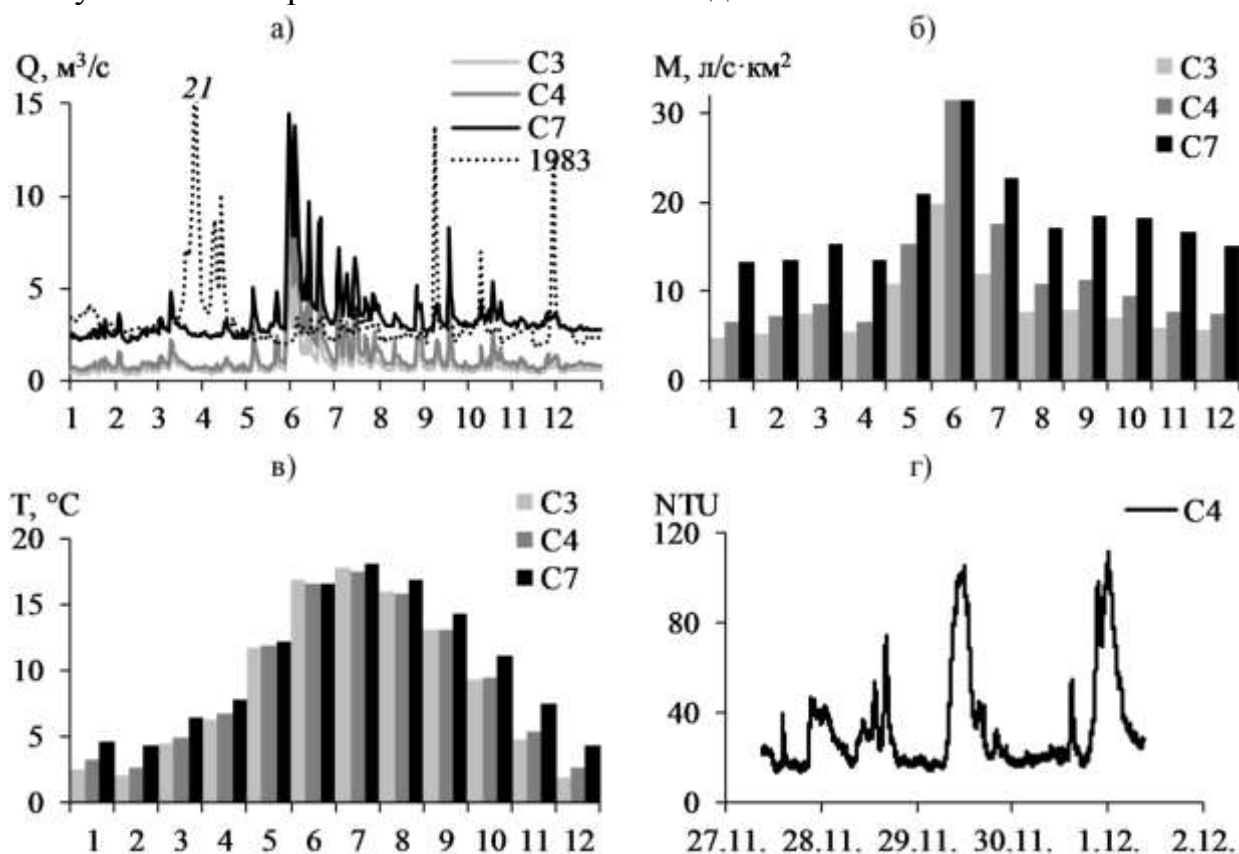


Рис. 2. Среднесуточные расходы воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/с (а), среднемесячные модули стока  $M$ , л/с·км<sup>2</sup> (б) и температура воды  $T$ , °С (в) р. Сетуни выше МКАД (С3), выше устья Навершки (С4) и в замыкающем створе (С7) в 2020 г.; внутрисуточные колебания оптической мутности воды NTU в створе С4 27.11-01.12.2019 (г). Пунктирная линия на рис. 2а обозначает расходы воды в створе поста «завод Сложные эфиры» в 1983 г.

Велико влияние притоков (прежде всего Навершки) и на термический и ледовый режим Сетуни. Если в верховьях Сетуни (выше МКАД) температура воды зимой составляет 0-3°С, что характерно для рек с естественным режимом,

то в Навершке она редко опускается ниже 10°C, вследствие чего с осени до весны температура воды в нижнем течении Сетуни почти на 3°C (до 4-6°C) выше, чем в верховьях (рис. 2 в). Летом температура воды Навершки достигает 28°C, но её влияние на р. Сетунь более локально и прослеживается только в пункте С5.

Из-за теплового загрязнения сточными водами на р. Сетуни ниже впадения Навершки, по-видимому, никогда не формируется ледостав, даже неполный. Устойчивый ледяной покров наблюдался лишь на небольшом участке выше МКАД, где антропогенное преобразование ландшафта и условий формирования стока минимально. В самых верховьях (в районе пункта С1) и на участке от МКАД до впадения Навершки изредка, при сильных продолжительных заморозках, возможен неполный ледостав (с промоинами). В районе пункта С2 формированию ледяного покрова препятствуют гидравлические условия (малая глубина и высокие скорости течения) и близость снеготопильного пункта.

Мутность воды р. Сетуни большую часть года изменялась в диапазоне 10-50 NTU без явных закономерностей в продольном распределении, повышаясь в паводки до 100-500 NTU и более. При этом наиболее нестационарным режимом состава воды характеризуется Навершка за счёт залповых сбросов сточных вод. Лишь отдельные сбросы случайно удаётся зафиксировать наблюдениями (во время одного из них мутность воды кратковременно превысила 1000 NTU, а электропроводность возросла в 30 раз до 20000 мкСм/см), однако автоматизированные измерения свидетельствуют об их регулярном характере не только на Навершке, но и на Сетуни (рис. 2 г).

### **Выводы**

Проведённые исследования свидетельствуют о существенном влиянии урбанизированных участков бассейна на гидрологический режим Сетуни в целом. Модуль стока в верховьях Сетуни сравним с естественным фоном, но ниже МКАД возрастает в 1,5-2,0 раза. В 2020 г. с аномально низким половодьем и экстремальными летними паводками внутригодовое распределение стока было нетипичным во всём бассейне р. Москвы, а для водосбора Сетуни доля меженного стока в черте города в 1,5-2 раза превышала таковую в естественных условиях.

Коммунальные и промышленные стоки оказывают влияние не только на водный, но и на термический и ледовый режим р. Сетуни, повышая температуру воды на 2°C в среднем за год и на 4-6°C в холодное время года, что препятствует формированию ледяного покрова даже при устойчивых сильных заморозках.

Мутность воды р. Сетуни в среднем в 3 раза выше, чем в фоновых условиях верховий бассейна р. Москвы. На режим переноса взвеси в условиях урбанизированного бассейна влияют эпизодические залповые сбросы из дренажно-коллекторной сети. Для локализации источников таких сбросов и подробного изучения их влияния на гидроэкологический режим городских рек необходим намного более подробный мониторинг.

*Гидроэкологический мониторинг выполнен при поддержке РНФ (проект 19-77-30004), воднобалансовые исследования и расчёты – при поддержке РФФИ (проект 21-55-53039 ГФЕН\_а).*

## Библиографический список

1. *Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Влияние урбанизированных ландшафтов на речной сток в Европе // Известия РАН. Серия географическая. 2019. №3. С. 78–87.
2. *Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги.* Научно-прикладной справочник [Электронный ресурс] / под ред. В.Ю. Георгиевского. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015. 467 с.
3. *Янин Е.П.* Общие условия и основные факторы формирования водного стока в городских ландшафтах // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2006. №9. С. 73–111.
4. *McGrane S.J.* Impacts of urbanization on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review // Hydrological Sciences Journal. 2016. 61:13. Pp. 2295–2311.

УДК 556.5:627.8

Т.В. Турутина<sup>1</sup>, А.В. Рахуба<sup>2</sup>, М.В. Шмакова<sup>3</sup>, [turutina.tatyana@yandex.ru](mailto:turutina.tatyana@yandex.ru)

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Самарский федеральный исследовательский центр РАН,

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия

<sup>3</sup>Институт озероведения Российской академии наук – СПб ФИЦ РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИПЛОТИННОГО ПЛЕСА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Состав донных отложений и закономерности их пространственного распределения определяются внешними (тип подстилающей поверхности водосбора, антропогенная освоенность, интенсивность почвенной эрозии) и внутренними (водный режим, интенсивность водообмена, морфометрия котловины) факторами. Проведенный анализ гранулометрического состава донных отложений приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища показал относительную однородность грунта плеса по крупности. При этом, в зависимости от расположения точек отбора прослеживаются определенные закономерности распределения крупности донных отложений в пространстве.

*Ключевые слова:* водохранилище, грунт, донные отложения, гранулометрия, водосбор, водообмен

T.V. Turutina<sup>1</sup>, A.V. Rakhuba<sup>2</sup>, M.V. Shmakova<sup>3</sup>, [turutina.tatyana@yandex.ru](mailto:turutina.tatyana@yandex.ru)

<sup>1</sup>State Hydrology Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Samara Federal Research Scientific Center RAS,

Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Russia

<sup>3</sup>Institute of limnology of the Russian academy of sciences of St. Petersburg FITS  
RAN, Sankt- Petersburg, Russia

## SPATIAL DISTRIBUTION OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE NEAR-DAM PLES OF KUIBYSHEV RESERVOIR

The composition of bottom sediments and the patterns of their spatial distribution are determined by external (type of underlying surface of the catchment area, anthropogenic development, intensity of soil erosion) and internal (water regime, intensity of water exchange, morphometry of the basin) factors. The analysis of the granulometric composition of the bottom sediments of the near-dam ples of the Kuibyshev reservoir showed the relative uniformity of the ples soil in terms of size. At the same time, depending on the location of the sampling points, certain patterns of distribution of the size of bottom sediments in space are traced.

*Keywords:* reservoir, soil, sediment, grain size distribution, water collection, water exchange

### ***Введение***

Разнообразие типов подстилающей поверхности водосбора, различная интенсивность водообмена и неоднородная морфометрия котловины определяет особенности пространственного распределения донных отложений водохранилища по гранулометрическому составу и соотношению минеральной и органической части. Двухфазный массообмен Куйбышевского водохранилища характеризуется большой пространственно-временной изменчивостью, которая определяется режимом сработки водохранилища, конфигурацией берегов, чередованием плесовых расширений и русловых сужений и большими градиентами глубин. Неоднородный по составу почво-грунтов частный водосбор Куйбышевского водохранилища (91085 км<sup>2</sup>) в свою очередь обуславливает особенности гранулометрии продуктов почвенной эрозии в составе донных отложений. В свою очередь наличие большого количества застойных зон в пределах водохранилища привносит свой вклад в содержание органических отложений в составе донного грунта.

Большая работа по оценке донных отложений водохранилищ Волжского каскада достаточно продолжительное время проводится ИБВВ им. Папанина РАН [1;2]. В результате этих исследований была получена оценка качественной и количественной динамики донных отложений за продолжительный период существования Куйбышевского водохранилища на основе геоинформационного анализа структуры и динамики грунтового комплекса [2], а также проанализированы особенности формирования, распределения и накопления илистых отложений [1]. Влияние гидродинамики и морфометрии на формирование состава донных отложений приплотинного плеса – самой глубоководной части Куйбышевского водохранилища – представляет определенный научный интерес и является целью настоящего исследования.

### ***Материалы и методы исследования***

В основу анализа типов подстилающей поверхности были приняты почвенные карты частного водосбора приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища [3]. Согласно [3], почвы левобережной и правобережной (в верхнем и среднем течении) частей частного водосбора относятся к черноземам (около 74 %), механический состав которых представлен легкоразмываемыми суглинками. Правобережная часть частного водосбора в нижнем течении

приплотинного плеса, представленная в своей основной части Жигулевским заповедником, характеризуется как типичными для лесостепной зоны почвами (серые и оподзоленные черноземы), так и глинисто-аллювиальными почвами, известняками и доломитами [3].

Согласно приведенной в [5] схеме частного водосбора Куйбышевского водохранилища с обозначенными различными типами подстилающей поверхности, основная часть частного водосбора приплотинного плеса приходится на лесохозяйственные и сельскохозяйственные угодья. Последнее, совместно с достаточно градиентной орографией и легкоразмываемыми почвами, определяет и достаточную интенсивность почвенной эрозии водосборной площади. Таким образом, суглинистые фракции (крупность которых составляет менее 0.005 мм) должны наблюдаться в прибрежных областях акватории, характеризующихся замедленным водообменом.

В результате экспедиционных исследований ИЭВБ РАН в 2020 году были отобраны пробы донных отложений в 21 точке приплотинного плеса в 10-сантиметровом слое. На батиметрической схеме данного объекта, представленной на рисунке 1, отмечены пункты отбора проб. Расположение точек отбора проб учитывает морфометрическую неоднородность плеса и особенности водообмена и является репрезентативным для последующего анализа.

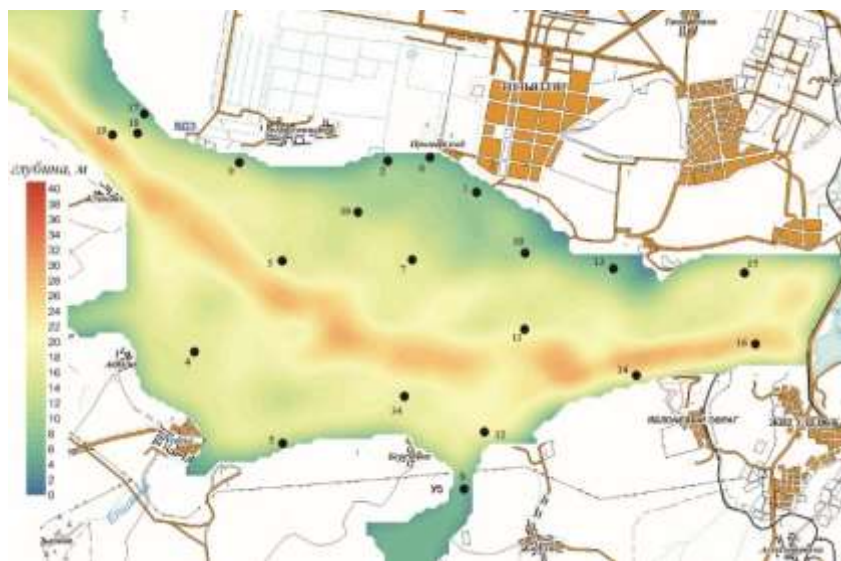


Рис. 1. Батиметрическая схема приплотинного плеса с отмеченными пунктами отбора проб

Отобранные пробы были обработаны комбинированным методом пипетка фракциометр в лаборатории наносов и эрозии отдела мониторинга и экспедиционных исследований ФГБУ ГГИ, согласно [4]. По итогам гранулометрического анализа проб донных отложений были проанализированы качественная характеристика грунта по его медианному значению, квантили 25 %, 50 % и 75 % обеспеченности и межквартильный размах.

Для дальнейшего гидродинамического анализа пространственного распределения донных отложений за основу были приняты следующие карты



приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища. На рисунках 2а и 2б приведен план течений акватории с выделенными зонами циркуляции водных масс. Карты получены в результате моделирования по 2D-гидродинамической модели «Волна» [6] для меженного периода среднего по водности 2015 г. для стационарного режима расчета и при ветровом воздействии на акваторию (при южном ветре доминирующего направления со скоростью 5 м/с).

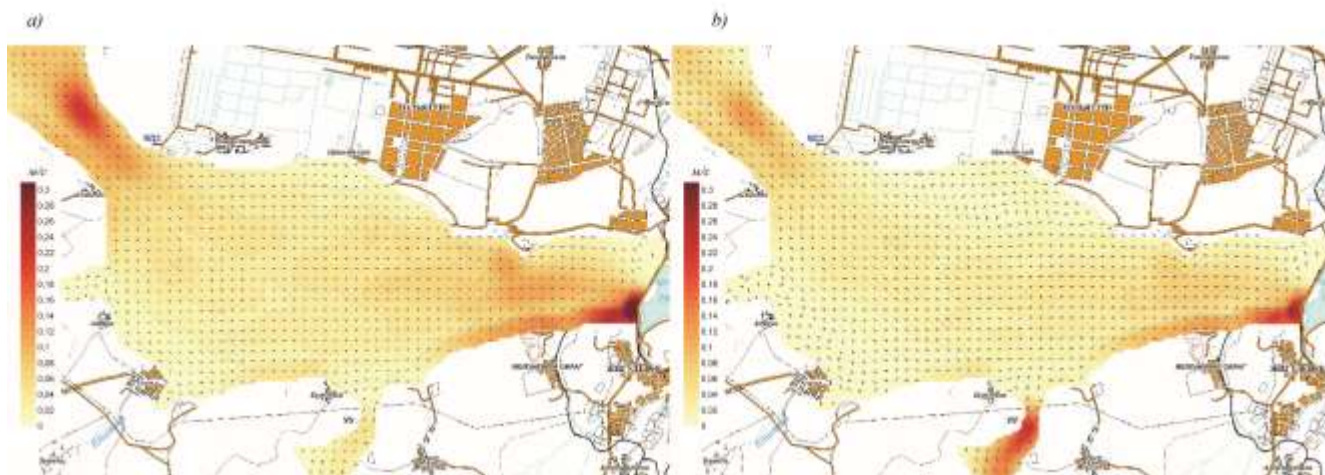


Рис. 2. План течений акватории: а) для стационарного режима расчета; б) при ветровом воздействии на акваторию

### ***Анализ результатов***

Результаты проведенного гранулометрического анализа хорошо согласуются с данными исследования [2] в части качественной характеристики донных отложений. Всего на тонкодисперсные отложения в приплотинном плесе приходится более 85 %, что также соответствует результатам исследования [2].

Следует заметить, что распределение крупности донных отложений в пределах приплотинного плеса достаточно однородное и различия в крупности частиц донного грунта находятся в пределах ошибки определения гранулометрического состава и напрямую зависят от места и глубины отбора пробы.

Анализ распределения различных характеристик донных отложений приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища проведенный в соответствии с батиметрией водоема и с характером циркуляции водных масс показал следующее. Точки отбора проб, расположенные ближе к правому берегу, характеризуются меньшей крупностью грунта донных отложений, чем точки у левого берега. Это объясняется тонкозернистыми продуктами эрозии водосборной части со стороны Жигулевских гор, представленных известняками и доломитами (точки 4, 5, 14 и 34). Левобережная часть водосбора характеризуется сельскохозяйственными угодьями, определяющей интенсивную почвенную эрозию (точки 9, 17, 18). Это определяет и относительное укрупнение частиц донного грунта у левого берега. При этом выраженная область циркуляции у левого берега, охватывающая точки 2, 6, 7,

39, вызванная действием ветров доминирующих в летний период южных направлений, определяет процессы переотложения в этой области наиболее подвижных илистых частиц.

Донные отложения устьевой области р. Уса и участка распространения ее вод (точки 8 и 12) представлены песчаными и пылеватыми фракциями.

Продольный профиль приплотинного плеса, представленный точками 19, 3, 11, 14 и 16, характеризуется относительно однородным гранулометрическим составом донных отложений – также преимущественно пылевато-песчаными фракциями.

Разнообразие грунта по гранулометрическому составу в пробе выражается величиной межквартильного размаха. Более однородный по крупности грунт наблюдается вдоль правого берега – тонкодисперсные продукты эрозии песчаников и доломитов правобережья. Бóльший межквартильный размах характеризует пробы, отобранные вдоль продольного профиля плеса. Последнее объясняется содержанием в донных отложениях этой области как песков в составе речных наносов, так и илистых частиц, результата процессов органического осадконакопления в акватории. Значительный межквартильный размах также наблюдается в точках 1, 10, 13, 15 и 17 отбора проб у левого берега в мелководной зоне. В этой области акватории, генетически сложенной песками и минеральными илами, за счет благоприятного температурного режима и особенностей циркуляции водных масс происходят процессы интенсивного органического осадконакопления.

### **Выводы**

В 2020 г. в результате экспедиционных работ ИЭВБ РАН был проведен отбор проб донных отложений приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища в 21 точке. Проведенный анализ гранулометрического состава показал относительную однородность донного грунта приплотинного плеса по крупности. При этом, в зависимости от расположения точек отбора прослеживаются определенные закономерности распределения крупности донных отложений в пространстве.

Тонкодисперсные фракции с наименьшим разбросом гранулометрической кривой приходятся на пробы, взятые у правого берега. Водосборная площадь правого берега обеспечивает прилегающую акваторию продуктами размыва известняков и доломитов, слагающих Жигулевские горы. Почвенная эрозия водосборной площади левого берега, представленной сельскохозяйственным угодьями, определяет в составе донных отложений мелко- и среднедисперсные фракции. Наибольший разброс крупности приходится на продольный профиль плеса. Это объясняется тем, что в состав донного грунта включены осаждающиеся перед плотиной песчаные наносы, а также илы, продукты органического осадконакопления.

*Работа выполнена при финансовом обеспечении 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” и темы “Разработка*

системы управления антропогенным эвтрофированием водохранилищ Средней и Нижней Волги”.

### **Библиографический список**

1. Законнов В.В. Илонакопление в системе водохранилищ Волжского каскада // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2016. № 75 (78). С. 30–40.
2. Законнов В.В., Иванов Д.В., Хасанов Р.Р., Законнова А.В., Маланин В.В., Марасов А.А. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 6. Донные отложения Куйбышевского водохранилища и их картирование с использованием геоинформационных технологий // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 2. С. 72–89.
3. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]. – URL: <http://atlas.mcх.ru/materials/egrpr/content/1DB.html> (05.03.2018).
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках (3-е издание, переработанное и дополненное). Л.: Гидрометеиздат, 1989. 92 с.
5. Поздняков Ш.Р., Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Игнатьева Н.В., Шмакова М.В., Минакова Е.А., Расулова А.М., Обломкова Н.С., Васильев Э.В., Терехов А.В. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования) // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 588–602.
6. Рахуба А.В., Шмакова М.В. Численное моделирование заиления приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища речными наносами // Метеорология и гидрология. 2018. № 1. С. 68–75.

УДК 528.472

П.В. Хомяков, Б.М. Усманов, [p.hamster21@gmail.com](mailto:p.hamster21@gmail.com)  
Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДНА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В МЕСТАХ ДОБЫЧИ ПГС**

Приведены обобщенные результаты съемки рельефа дна современными методами на примере участка р. Кама (Куйбышевское водохранилище) и возможности их использования для решения прикладных задач.

*Ключевые слова:* водохранилище, гидрология, гидролокатор бокового обзора, батиметрическая съемка, рельеф дна.

## ASSESSMENT OF THE KUIBYSHEVSKY RESERVOIR BED STATE IN THE PLACES OF SAND AND GRAVEL EXTRACTION

The generalized results of Kuibyshev reservoir bed relief survey using modern methods are presented on the example of a section of the Kama river, the possibility of obtained data application is discussed.

*Keywords:* reservoir, hydrology, side-scan sonar, bathymetric survey, bottom relief.

### **Введение**

В наше время возможности современных гидрографических технологий, необходимых для проектирования, выполнения, постобработки и представления результатов батиметрической съемки, широко используются исследователями при работе на больших водных объектах (океанах, морях, крупнейших озерах) [1]. На реках же, небольших озерах данный вид оборудования практически не используется, вследствие его специфичности (крупногабаритные размеры, условия крепления оборудования только на крупные суда, небольшие глубины исследуемых водных объектов и т.д.). Для съемки и последующего построения батиметрических карт таких водных объектов чаще всего используются однолучевые эхолоты и даже «испытанный дедовский способ» – ручные промеры с помощью лота (измерительной ленты с грузом на конце). Данные виды работ, конечно, имеют ряд преимуществ, среди которых в первую очередь мобильность группы исследователей, малый вес и габариты оборудования. Вместе с тем для них свойственны и недостатки: большие сроки проведения полевых работ (повышенная трудоемкость), невозможность достоверного (фактического) отображения микроэлементов дна.

Решение задачи построения рельефа дна на больших площадях с высокой эффективностью и точностью можно выполнить с помощью гидроакустического интерферометра (Интерферометрического гидролокатора бокового обзора, далее – ИГБОЭ).

Гидролокация бокового обзора является инструментом, обеспечивающим получение изображения дна с высокой разрешающей способностью с обеих сторон от линии движения судна. ИГБОЭ позволяет получать детальную акустическую картину дна в цифровом виде.

Установленные на носителе антенны буксируются в водной толще с постоянными: курсом, скоростью и высотой над дном. Во время буксировки антенны постоянно излучают акустические импульсы с постоянным интервалом.

Для построения рельефа дна в ИГБО при выкладке на планшет используются данные о курсе и скорости судна-носителя, данные об углах качки, а для привязки рельефа дна к географическим координатам – данные от приёмника навигации. При окончательном построении рельефа дна производится учёт гидрологии за счёт ввода профиля скорости звука.

В рамках данной статьи приведены результаты гидрометрических изысканий в местах проведения гидромеханизированных работ по добыче ПГС районе Камского плеса Куйбышевского водохранилища на примере участка близ н.п. Саконы. Исследуемый участок располагается у низкого левобережья, что обусловлено наличием месторождений ПГС с относительно неглубоким залеганием.

В настоящее время р.Кама находится в подпоре плотины Куйбышевской ГЭС, являясь частью Куйбышевского водохранилища. Водоем был образован в 1955-1957 гг. вследствие перекрытия р. Волги гидротехническими сооружениями Куйбышевского гидроузла [2; 3].

### ***Материалы и методы исследования***

На предполевом этапе определялась исследуемая площадь акватории, размеры участка, на электронную карту наносились галсы, имеющие привязку на местности к стационарным географическим объектам. При необходимости (или в случае невозможности привязки) даются координатные местоположения отправной и конечной точек галса с азимутальным направлением [5].

Перед батиметрическим обследованием производилась съемка уреза воды (береговой линии) на всем протяжении исследуемого участка и определялся абсолютный уровень воды на день съемки GPS-приемником GeoExplorer 6000 GeoXH (3.5 G, FL) с точностью 10 см.

Батиметрическое обследование (съемка) с помощью ИГБОЭ производилось с маломерного судна одной группой, состоящей из двух человек - рулевого и батиметриста. В обязанности первого исследователя входит: удержание постоянной скорости на судне; выбор начала и окончания галса, сверка положения суда относительно ранее намеченных галсов, выдерживание азимутального направления движения судна. Батиметристу (исследователю, непосредственно производящему наблюдение дна) в обязанности вверяется: установка необходимых показателей для полноценного обследования дна в онлайн режиме; запись галсов на цифровой носитель, своевременное предупреждение рулевого о быстрых изменениях рельефа дна, препятствующих дальнейшему обследованию; смена характеристик ИГБОЭ при существенном изменении рельефа дна с мелководного на глубоководный.

Наблюдение за изменением рельефа дна проводилось с помощью программы HyScan, предназначенной для автоматизации процессов работы с комплексом в части приема, визуализации, обработки, анализа и архивирования получаемой гидролокационной и параметрической информации с целью ее дальнейшей обработки и документирования [4]. Во время сбора данных выполняются галсы (запланированные или определяемые по ходу выполнения съемки), проводится оценка качества получаемой информации. При необходимости, выполняются повторные или новые (дополнительные) галсы.

Данные батиметрии выверялись, отсеивались данные малых глубин – до 1 м, а также позиции с «несуществующими» глубинами, которые превышают среднюю глубину по выборке данных в 3 и более раза. Такие некорректные данные могут возникать при сбоях в работе оборудования. Данные глубин с

координатными привязками объединяются с данными уреза воды, полученные с GPS-приемника. Перед этим, точкам берегового уреза, имеющим лишь координатную привязку, присваивается абсолютная отметка уровня воды на день съемки. Батиметрические карты строились в программе Golden Software Surfer при интерполяции данных использовался метод Кригинга (Kriging) с шагом сетки 1 м.

### ***Анализ результатов***

С южной стороны территория исследования ограничена берегом р. Кама, с северной и северо-восточной сторон вытянутыми островами, являющимися остатками грядовых возвышений затопленной первой надпойменной террасы. Площадь исследования составила 0,327 км<sup>2</sup>, на которой заложено 63 галса общей протяженностью около 19 км. Длина участка составила 1,2 км, средняя ширина - 0,27 км при максимуме - 360 м. Общее количество собранных и обработанных батиметрических данных составило 1044 тыс. отметок дна. Статистика по глубинам участка «Саконы» представлена в таблице.

Таблица

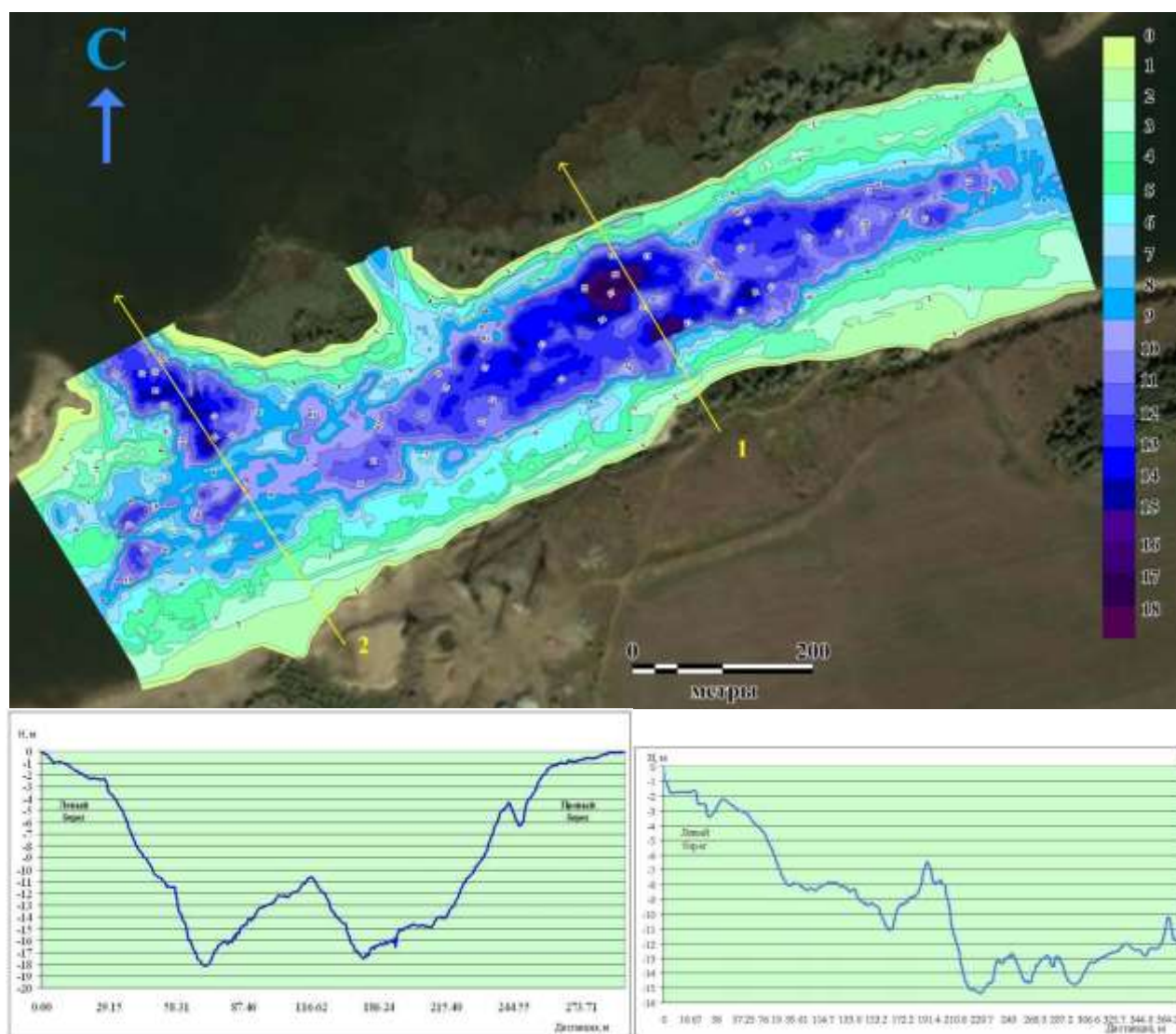
**Статистические данные по глубинам участка «Саконы»**

<i>Обеспеченность</i>	<i>Глубина, м</i>	<i>Обеспеченность</i>	<i>Глубина, м</i>
1%	-15,4	75%	-5,14
5%	-13,79	90%	-3,44
10%	-12,88	95%	-2,78
25%	-10,79	99%	-2,12
50%	-7,85	<b>Среднее</b>	-8,01
		<b>Максимум</b>	-18,5

Батиметрическая съемка проводилась с целью выявления ям-копанин, оставшихся после проведения гидромеханизированных работ по добыче ПГС. На основании полученных данных на участке исследований выявлены 3 значительных понижения рельефа дна (рисунок).

Первое понижение с отметками дна до 18 м имеет вытянутую форму с юго-запада на северо-восток составляя в длину около 70 м при максимальной ширине в 50 м. Во втором понижении, меньшим по размерам, зафиксированы максимальные глубины, превышающие 18 м (отмеченный максимум – 18,46 м). Понижение также имеет вытянутую форму с длиной около 40 м и шириной 20-21 м. В целом весь участок «Саконы» характеризуется сильной неоднородностью по глубинам: на всем протяжении съемки фиксировались чередующиеся резкие локальные повышения и понижения дна с диапазоном изменения в 2-3 м. На участке в местах отмеченных понижений заложены 2 поперечных профиля, по которым можно выявить предполагаемый изначальный рельеф дна (рисунок).





Батиметрический план и поперечные профили участка «Саконы»

### **Выводы**

На участке «Саконы» заложено 63 галса общей протяженностью около 19 км. Площадь исследования составила 0,327 км<sup>2</sup>. Длина участка составила 1,2 км, средняя ширина – 0,27 км при максимуме – 360 м. Общее количество собранных и обработанных батиметрических данных составило 1044 тыс. отметок дна. На участке исследований выявлены 3 значительных понижения рельефа дна. В первых двух понижениях фиксируются глубины до 17-18 м, в третьем – локальные понижения до 15-16 м. Весь участок характеризуется сильной неоднородностью по глубинам: на всем протяжении съемки фиксируются чередующиеся резкие локальные повышения и понижения дна с диапазоном изменения в 2-3 м. По результатам исследований можно сделать предположение, что изначальные отметки дна на участке добычи ПГС отмечались в диапазоне 11-12 м – в верхней и средней части исследуемой территории, 8-10 м – в ее нижней части. Таким образом, можно сделать вывод, что диапазон глубин отмеченных понижений при добыче ПГС составил для первых двух понижений (ям) – 6-7 м, для третьего понижения – 3-4 м.

В результате проведённых исследований отработана методика съёмки дна для актуализации морфометрии дна в зоне добычи ПГС. Данные виды работ могут быть использованы для решения других прикладных задач: оценки геоэкологического состояния дна в местах нерестилищ ценных видов рыб, изучение динамики рельефа дна под влиянием естественных и антропогенных факторов, проведения инженерно-гидрологических изысканий при организации и мониторинге состояния путепроводов, а также обнаружения находящихся под водой объектов, в том числе несущих историко-культурную ценность.

### **Библиографический список**

1. Гринь Г.А., Мурзинцев П.П. О применении современных технических средств для высокоточной съёмки рельефа дна и подводных объектов // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2011. Т. 1. С. 102-107.
2. Динамика ландшафтов в зоне влияния Куйбышевского водохранилища. СПб.: Наука, 1991. 224 с.
3. Куйбышевское водохранилище: экологические аспекты водохозяйственной деятельности / Под. ред. В.З. Латыповой, О.П. Ермолаева, Н.П. Торсуева, В.А. Кузнецова, А.А. Савельева, Ф.Ф. Мухаметшина. Казань: Фолиант, 2007. 320 с.
4. Программа HyScan (v4.4.x) Руководство оператора. / Программное обеспечение. ИВЮТ.00221-01 34 01. Редакция 1.0. ООО «Экран», 2012. 199 с.
5. Фирсов Ю.Г. Основные требования к обеспечению качества современной батиметрической (топографической) съёмки // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. №3 (25). С. 171-179.

УДК 556.5:627.8

М.В. Шмакова<sup>1</sup>, А.В. Рахуба<sup>2</sup>, m-shmakova@yandex.ru

<sup>1</sup> Институт озераведения Российской академии наук – СПб ФИЦ РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия

### **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ДНА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

На основе гидродинамической модели «Волна» (Рахуба А.В.) и аналитической формулы расхода наносов (Шмакова М.В.) была проведена оценка интенсивности переформирования дна Куйбышевского водохранилища при неустановившемся режиме для разных фаз водности. В результате моделирования получены карты полей переформирования



дна, которые иллюстрируют направленность процессов размыва и аккумуляции для всей акватории водохранилища. За весь расчетный период наблюдается неравномерное перераспределение наносов в водохранилище: в верхней части происходит размыв, а в средней и нижней – аккумуляция.

*Ключевые слова:* водохранилище, моделирование, переформирование дна, наносы

M.V. Shmakova<sup>1</sup>, A.V. Rakhuba<sup>2</sup>, m-shmakova@yandex.ru

<sup>1</sup> *Institute of limnology of the Russian academy of sciences of St. Petersburg FITS  
RAN, St. Petersburg, Russia*

<sup>2</sup> *Samara Federal Research Scientific Center RAS,  
Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Russia*

## **SPACE-TIME PATTERNS OF REFORMATION BOTTOM OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR**

On the basis of the hydrodynamic model "Wave" (Rakhuba A.V.) and the analytical formula for the sediment flow rate (Shmakova M. V.), the intensity of the re-formation of the bottom of the Kuibyshev reservoir under an unsteady regime for different phases of water content was estimated. As a result of modeling, maps of the bottom reshaping fields were obtained, which illustrate the direction of the erosion and accumulation processes for the entire water area of the reservoir. During the entire calculation period, an uneven redistribution of sediments in the reservoir is observed: in the upper part, erosion occurs, and in the middle and lower parts, accumulation occurs.

*Keywords:* reservoir, modeling, reformation of bottom, sediments

### ***Введение***

Наблюдения за гидродинамикой, а также переформированием дна крупных водоемов нередко затруднены в условиях экстремальных гидрометеорологических явлений (штормовых ветрах, высоких паводках и половодьях). В этих случаях математическое моделирование дает возможность оценить пространственно-временные особенности и закономерности течений и распределения мутности в акватории в режиме численного эксперимента при воспроизведении различных неблагоприятных гидрометеорологических ситуаций. Результаты такого моделирования могут быть востребованы при планировании водохозяйственной деятельности на водохранилище (оценка и прогноз качества воды в различных частях водоема, в том числе – в пунктах водозабора, размыва берегов, занесения фарватеров и др.).

Целью работы является оценка изменения отметок дна Куйбышевского водохранилища при неустановившемся неравномерном движении водных масс в разные фазы водности.

### ***Материалы и методы исследования***

Объектом исследования является Куйбышевское водохранилище, образованное в 1955 г. при зарегулировании реки у г. Жигулевска. Общая длина по затопленному руслу р. Волги составляет 510 км, наибольшая ширина – 27 км. Основное питание Куйбышевского водохранилища осуществляется с вышележащих Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ. Куйбышевское водохранилище имеет вытянутую с севера на юг форму и достаточно сложную

морфологию – места русловых сужений чередуются с плесовыми расширениями и имеют неоднородную морфометрию – мелководные обширные участки контрастируют с глубоководной русловой частью и наиболее глубоким участком водохранилища – приплотинным плесом Жигулевской ГЭС. Рельеф затопленной местности, выраженная русловая часть, большая амплитуда уровня при сработке, подпорный режим определяют особенности конфигурации берегов, форму котловины, разнообразие русловых форм, интенсивность и направленность водообмена в разных частях водохранилища.

Для Волжской и Камской веток Куйбышевского водохранилища процессы переформирования дна определяются режимом сработки вышерасположенных Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ. Эти водохранилища помимо прочего выполняют и функции отстойников речных наносов. Так, речные наносы, переносимые Волгой и Камой на рассматриваемых участках преимущественно сформированы в результате русловых деформаций и эрозионной деятельности на частных водосборах этих водотоков. При этом, на участке Волжской ветки водохранилища (ниже г. Казань до слияния с Камой) в основном наблюдается устойчивая эрозия русла, тогда как для Камской ветки (ниже впадения р. Вятки до слияния Камы с Волгой) характерны аккумуляция и размыв в разные фазы водности [3].

В последние годы существования Куйбышевского водохранилища вклад абразии берегов в процессы осадконакопления в водоеме существенно снизился. Однако подмыв берегов в периоды большой воды, ветровое волнение, оползневые процессы на склонах, ледоход и перенос рыхлых грунтов вблизи уреза в период схода снега определяет значительный вклад берегового грунта в переформирование прибрежных частей акватории.

Расчеты выполнены с использованием разработанной в ИЭВБ РАН гидродинамической модели «Волна» [5], которая представляет собой систему уравнений «мелкой воды». Модель дополнена алгоритмами расчета твердого стока (аналитическая формула расхода наносов [5]), изменения транспортирующего потенциала потока и, как следствие последнего, изменения отметок дна [5]. При этом динамика отметок дна учитывается в последующих расчетах и является одним из аргументов модели. Термическая и механическая абразия берегов и ветровые волнения в расчетах не учитываются, и переформирование дна рассчитывается только как функция размыва дна расчетного участка и поступающих из верхних створов речных наносов (аккумуляция). Также в модели не учитывается и органическое осадконакопление.

### ***Результаты моделирования***

Результаты моделирования показали, что наибольшая интенсивность переформирования дна приходится на периоды подъема (размыв) и спада (намыв) половодья. На подъеме половодья наибольшие значения размыва достигаются в Волжской ветке до слияния с Камой и в Камской ветке – до влияния подпора, а также в местах русловых сужений водохранилища достигая 20 мм/мес и более. В основной части водохранилища в среднем за

рассматриваемый период общий размыв дна согласно результатам моделирования составляет 1 – 2 мм/мес.

Период спада половодья характеризуется продолжением незначительного размыва дна Волжской ветки, максимальные значения которого не превышают 0,5 мм/мес. Такой же интенсивностью и направленностью процесса характеризуется Черемшанский залив, размыв в котором вызван гидродинамическим влиянием нестационарного режима Жигулевской ГЭС, вызывающего длинные волны и обширные зоны циркуляции водных масс в пределах залива. Подобная циркуляция определяет эрозию дна мелководного залива, представленного несвязанными грунтами. В основной части акватории водохранилища, на спаде половодья транспортирующий потенциал потока снижается, что приводит к отложению переносимых наносов с интенсивностью от 0,5 до 4 мм/мес. Наиболее интенсивно процессы аккумуляции наблюдаются в Камской ветке, особенно в зоне подпора, где максимальные значения превышают 20 мм/мес.

За весь расчетный период (150 суток) наблюдается неравномерное перераспределение наносов в водохранилище: в верхней части водохранилища происходит размыв, а в средней и нижней – аккумуляция наносов. Такая направленность русловых процессов, обусловленная уменьшением транспортирующей способности водотока от верхних участков к нижним, характерна для равнинных рек [1]. В целом, с начала половодья за 150-дневный период подъема максимальный размыв дна в Камской ветке, составляет более 1,5 мм за период, в Волжской ветке размыв достигает 1 мм за период. В основной части водохранилища имеет место намыв в пределах до 0,5-2,5 мм за период. Области наибольшей аккумуляции приходятся на приплотинный плес (Климовское сужение и участок перед Жигулевской ГЭС) и достигают 2 мм и более за период.

Согласно полученным результатам, за весь расчетный период наибольшая интенсивность переформирования продольного профиля пришлась на Волжский и Камский районы переменного подпора, на весь Тетюшинский плес и участки русловых сужений между плесами. Полученные результаты хорошо согласуются с данными, приведенными в [3], где замечено, что для указанных участков характерны интенсивные отложения в весенний период.

Результаты вычислений хорошо согласуются с данными, приведенными в работе [2], где указана скорость минерального осадконакопления 1.8 мм/год. Также данные натурных исследований по осадконакоплению Куйбышевского водохранилища, представленные в работе [4], подтверждают наличие смыва продуктов заиления в период весенней пульсации скорости стокового течения.

### **Выводы**

В целом для Куйбышевского водохранилища вклад в заиление только русловыми наносами незначителен. Небольшие скорости течения не достаточны для инициации активных русловых преобразований. При этом в расчетах не рассматривались процессы абразии берегов в результате действия различных природных агентов, органическое осадконакопление, а также не принималось во

внимание и переформирование дна, вызванное ветровым воздействием на акваторию Куйбышевского водохранилища. Более полноводные годы также приведут к более интенсивному перераспределению поступающего из верхних створов твердого стока и донных отложений.

*Работа выполнена при финансовом обеспечении 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” и темы “Разработка системы управления антропогенным эвтрофированием водохранилищ Средней и Нижней Волги”.*

### **Библиографический список**

1. Алексеевский Н.И., Беркович К.М., Чалов Р.С., Чалов С.Р. Пространственно-временная изменчивость русловых деформаций на реках России // География и природные ресурсы. 2012, № 3. С. 13–21.
2. Законнов В.В., Законнова А.В., Цветков А.И., Шерышева Н.Г. Гидродинамические процессы и их роль в формировании донных осадков водохранилищ Волжско-Камского каскада // Труды ИБВВ РАН, 2018, вып. 81 (84), 35-46. DOI 10.24411/0320-3557-2018-1-0004
3. Куйбышевское водохранилище. 1983. Л.: Наука, 214 с.
4. Ступишин А.В., Трофимов А.М., Широков В.М. Географические особенности формирования берегов и ложа Куйбышевского водохранилища. Казань, Изд-во Казан. ун-та. 1981. 184 с.
5. Рахуба А.В., Шмакова М.В. Численное моделирование заиления приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища речными наносами // Метеорология и гидрология. 2018. № 1. С. 68-75.

УДК 556.048

М.В. Болгов, [bolgovmv@mail.ru](mailto:bolgovmv@mail.ru)

*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## УРОВНИ БАЙКАЛА: МОЖНО ЛИ ОПРЕДЕЛИТЬ ПРИЕМЛЕМЫЙ ДИАПАЗОН КОЛЕБАНИЙ?

Рассмотрены подходы к определению расчетных максимальных уровней воды на побережье озера Байкал и в нижнем бьефе Иркутской ГЭС, основывающиеся на вероятностных представлениях об изменчивости притока, параметрах регулирования паводочного стока водохранилищами.

*Ключевые слова:* озеро Байкал, Иркутская ГЭС, экстремальные уровни, регулирование стока, нижний бьеф, затопление, ущербы.

M.V. Bolgov, [bolgovmv@mail.ru](mailto:bolgovmv@mail.ru)

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

## BAIKAL LEVELS: CAN AN ACCEPTABLE RANGE OF FLUCTUATIONS BE DETERMINED?

Approaches to determining the estimated maximum water levels on the coast of Lake Baikal and in the lower basin of the Irkutsk hydroelectric station are considered, based on probabilistic ideas about the variability of inflow, parameters for regulating flood runoff by reservoirs.

*Keywords:* Lake Baikal, Irkutsk hydroelectric power station, extreme levels, flow control, lower water supply, flooding, damage.

### ***Введение***

Научное обоснование режимов колебания уровня крупных регуляторов стока основывается на решении вероятностной задачи описания речного стока как природного ресурса, правил управления этим ресурсом, осуществляемого в различных целях: выработка электроэнергии, обеспечение водоснабжения, защита от затопления, обеспечение судоходства и прочее. С достижением этих целей связано и возникновение разнообразных негативных последствий, таких как ущербы экосистеме озер и водохранилищ, развитие негативных гидрологических и геологических процессов и явлений, эвтрофикация водоемов, и многие другие.

Необходим поиск компромиссного решения, обеспечивающего удовлетворение требований водопотребителей с минимизацией негативных последствий. Очевидно, что, например, требования водопользователей и условия сохранения экосистем противоречивы, и найти единственное оптимальное решение невозможно в силу целого ряда причин [4].

### ***Метод исследования***

Из многочисленных водохозяйственных проблем, рассмотрим задачу определения зон затопления прибрежных территорий в случае регулирования стока. Затопление является одним из наиболее опасных природно-техногенных процессов, и рассматривается в ряде нормативных документов [7-10]. Существующая ситуация усугубляется тем, что в ряде населенных пунктов, в нарушение норм Градостроительного кодекса [12], осуществляется несанкционированная застройка затапливаемых территорий [3].

В РФ существует система нормативных документов (строительных норм и правил), регламентирующая процесс проектирования, строительства и эксплуатации разнообразных видов сооружений. Надо отметить, что регулирование хозяйственной деятельности на территориях, подверженных негативному воздействию вод, не является чисто технической (инженерно-гидрологической) задачей, и дополняется требованиями, устанавливаемыми в других законодательных актах и нормативных документах, в частности в специально выпускаемых Постановлениях Правительства РФ. Можно, например, отметить Постановления Правительства, регламентирующие уровни озера Байкал [7,8], а также постановление Правительства № 360, определяющее размеры зон затопления и подтопления [9].

Существуют требования Методических указаний [5], согласно которым «характеристики максимальных расходов и уровней воды в нижнем бьефе гидроузла водохранилища при пропуске половодий и паводков указываются на основании гидрологических расчетов, характеристики максимальных расходов и уровней воды в верхнем бьефе гидроузла водохранилища – на основании водохозяйственных расчетов». Для нижнего бьефа этих требований явно недостаточно, так как режим стока здесь определяется его регулированием, и без водохозяйственных расчетов также не может быть рассчитан.

В Методических указаниях [5] устанавливается связь между нормами проектирования ГТС, которые в основном рассчитываются с учетом нагрузок, возникающих при достижении ФПУ, то есть при весьма редком событии, и размерами соответствующей зоны затопления, в которой необходимо задать режим землепользования (ввести дополнительные ограничения). При этом возникает проблема согласования расчетных обеспеченностей, принимаемых во внимание при проектировании гидроузла, с одной стороны, и при проектировании сооружений, размещаемых в потенциально затапливаемой территории верхнего бьефа, с другой.

Добавим еще, что при проектировании речных ГТС, соответствии с [10], расчетные максимальные расходы воды назначаются исходя из ежегодной вероятности превышения (обеспеченности), устанавливаемой в зависимости от класса сооружений, а при проектировании этих сооружений, в районах активной циклонической деятельности, рекомендуется в качестве расхода поверочного расчетного случая принимать так называемый вероятный максимальный паводок (ВМП), т.е. расход, определенный по методике оценки предельно возможного паводка. Расчеты ВМП показывают, что в таких случаях максимальный расход

воды может быть превышен в расчетном поверочном случае более, чем в два раза [1], и, соответственно, зона затопления при достижении нового ФПУ значительно расширится.

В большинстве случаев инженерная гидрология располагает арсеналом средств для расчета нагрузок с заданной вероятностью, но существуют и пробелы, например в области согласования расчетных обеспеченностей для различных классов и типов сооружений, размещаемых в зонах влияния сооружений более высокого класса. Система нормирования показателей надежности в этом случае должна быть дополнена разъясняющими положениями. Следует согласиться с требованием СП [10] о том, что взаимно согласованные условия неэнергетических водопользователей, влияющие на режимы сработки и наполнения водохранилища, должны быть определены и включены в правила использования водных ресурсов водохранилищ.

### ***Результаты и дискуссия***

При обосновании режимов работы водохранилищ выполняется комплекс гидрологических и водохозяйственных расчетов, обеспечивающих получение расчетных характеристик наполнений водоемов и расходов воды, сбрасываемых в нижние бьефы. В зависимости от решаемой задачи используются различные методы и подходы.

Подход к определению расчетных уровней воды рек, озер и водохранилищ, основывается на статистической обработке временных рядов максимальных годовых уровней и расходов воды. Соответствующую вероятностную задачу можно решить путем определения расчетных уровней методом имитационного моделирования. Метод имитационного моделирования заключается в многократном воспроизведении гидрологической ситуации и выполнении водохозяйственных расчетов (расчетов регулирования стока) на основе принятых правил управления.

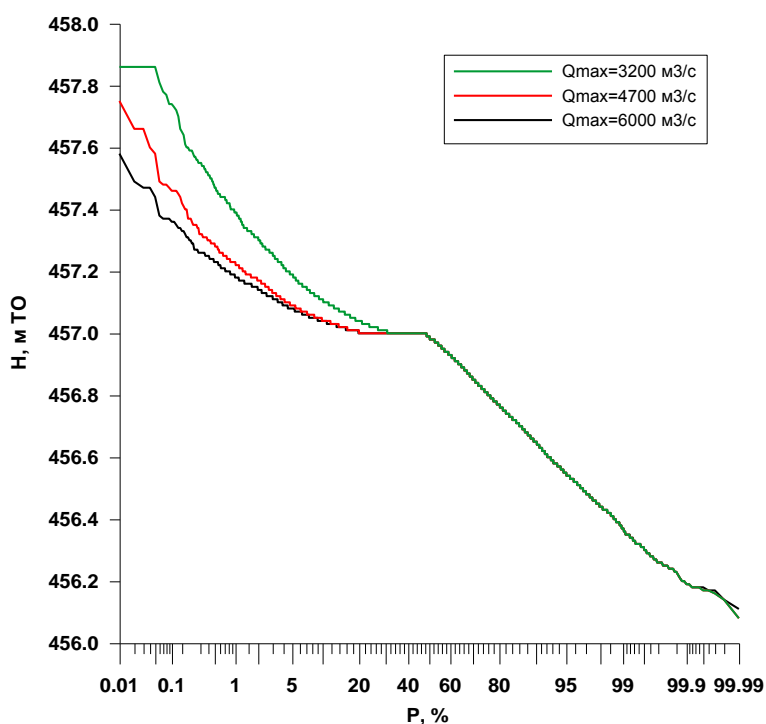
В качестве модели гидрологической ситуации для озера Байкал используется искусственно смоделированный продолжительный временной ряд полезного притока с параметрами, соответствующими параметрам наблюдаемого ряда [2]. Выполнив с использованием продолжительного ряда величин притока необходимые водохозяйственные расчеты, получим последовательность наполнений водохранилища и сбросов в нижний бьеф с принятой временной дискретностью. Обработав полученные ряды статистическими методами, получим необходимые расчетные характеристики уровней и расходов воды.

Сложность рассматриваемой заключается в том, что за последние десятилетия произошли существенные изменения в застройке нижнего бьефа Иркутской ГЭС: при проектном максимальном сбросном расходе воды в 6000 м<sup>3</sup>/сек, затопление территорий начинается уже при сбросах 2700 м<sup>3</sup>/сек. Очевидно, что такие ограничения, будучи учтенными в водохозяйственных расчетах, приведут к существенному росту расчетных уровней озера Байкал, так как для снижения сбросного расхода через гидроузел придется использовать

дополнительную аккумулирующую емкость, т.е. поднимать уровень воды в многоводные годы.

Водохозяйственные расчеты выполнены для нескольких вариантов управления водными ресурсами, в качестве которых рассмотрены действующие в настоящее время Правила использования водных ресурсов (ПИВР) 1988 года. [6] с тремя вариантами ограничений на максимальный сбросной расход Иркутской ГЭС: 6000 м<sup>3</sup>/с, 4700 м<sup>3</sup>/с, и 3200 м<sup>3</sup>/с.

Результаты расчетов наполнений и сбросов для рассмотренных вариантов представлены на рисунке в виде кривых обеспеченности максимальных в году уровней озера Байкал. Анализ кривых обеспеченности показывает, что в диапазоне средних и маловодных лет ограничения на пропускную способность гидроузла мало влияют на уровни Байкала. Заметные различия характерны для многоводных лет. Получен важный результат, заключающийся в том, что введение ограничений на сбросы Иркутской ГЭС приводит к существенно более высоким уровням воды в озере Байкал в многоводные годы.



Расчетные кривые обеспеченности максимальных в году уровней озера Байкал при различных схемах регулирования стока (максимальных сбросных расходах  $Q_{\max}$ , м<sup>3</sup>/сек.)

### **Выводы**

1. Характеристиками, определяющими управление гидрологическим режимом нижнего бьефа, являются максимальный допустимый сброс через гидроузел, и положение диспетчерских линий, обеспечивающих экологически приемлемое управление уровнем воды в озере Байкал.

2. Результаты водохозяйственных расчетов, выполненных в имитационном режиме, показывают, что снижение рисков затопления



территорий в нижнем бьефе путем ограничения сбросных расходов, приведет к увеличению уровней затопления территорий на побережье озера Байкал.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания Института водных проблем РАН. (0147–2019–0003, АААА–А18–118022090105–5).*

*Автор выражает признательность А.Л.Буберу (ВНИИГИМ) за неоценимую помощь, оказанную при выполнении водохозяйственных расчетов.*

### **Библиографический список**

1. Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Харламов М.А. Оценка максимального возможного расхода воды реки Зеи в створе Зейской ГЭС. География и природные ресурсы, 2020 г. № 4. С. 162–169.

2. Болгов М.В., Бубер А.Л., Коробкина Е.А., Любушин А.А., Филиппова И.А. Озеро Байкал: экстремальные уровни как редкое гидрологическое событие. Водные ресурсы, 2017. Вып. №3.Т.44. С. 392-406.

3. Лапин Г. Г., Жиркевич А. Н. Пропуск паводков 2006 и 2007 гг. через сооружения Зейского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2008. № 10. С. 1-11.

4. Лотов А.В. О целостном рассмотрении эколого-экономических проблем. М.: Изд-во ВЦ РАН, 1994. 35 с.

5. Методические рекомендации по разработке правил использования водохранилищ. Утверждены Приказом МПРиЭ РФ от 26 января 2011 года N 17. 41 с.

6. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского). М.: Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР, 1988. 65 с.

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

8. 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. Российской Федерации. 18 июля 2016. № 29. ст. 4811.

9. О зонах затопления, подтопления. Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2014 года N 360(с изменениями на 7 сентября 2019 года)

10. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 (с Изменением N 1).

11. СП 33-101-2003 "Определение основных расчетных гидрологических характеристик". Госстрой РФ, 2004 г.

12. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. N 190-ФЗ "Градостроительный кодекс Российской Федерации"

## РАСЧЕТ УДЕЛЬНОЙ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ В ПРЕДЕЛАХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Выполнен расчет водохозяйственного баланса, на основании которого определена удельная водообеспеченность по административным районам Пермского края за период 2012-2016 гг. Выявлено, что максимально водообеспеченными являются северные районы Пермского края, где удельная водообеспеченность составляет более 80 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека. Наиболее низкой водообеспеченностью (0,3-4,9 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека), характеризуются центральные и южные районы края, которые экономически развиты, в связи с чем имеют большую численность населения и характеризуются крупными межотраслевыми комплексами.

*Ключевые слова:* административный район, поверхностные воды, водохозяйственный баланс, водообеспеченность, водные ресурсы

S.A. Dvinskih<sup>1</sup>, D.L.Pavlova<sup>2</sup>, O.V. Larhchenko<sup>1</sup>

[dvins@mail.ru](mailto:dvins@mail.ru), [larhchenko@yandex.ru](mailto:larhchenko@yandex.ru)

<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Kama Basin Water Management, Perm, Russia

## CALCULATION OF SPECIFIC WATER AVAILABILITY WITHIN THE ADMINISTRATIVE REGIONS OF THE PERM KRAI

The calculation of the water balance was carried out, on the basis of which the specific water supply was determined for the administrative districts of the Perm Territory for the period 2012-2016. It was revealed that the most water-supplied are the northern regions of the Perm Territory, where the specific water supply is more than 80 thousand m<sup>3</sup>/year per person. The lowest water supply (0.3-4.9 thousand m<sup>3</sup>/year per person) is characteristic of the central and southern regions of the region, which are economically developed, and therefore have a large population and are characterized by large intersectoral complexes.

*Keywords:* administrative region, surface water, water balance, water availability, water resources

### **Введение**

В России доступные возобновляемые запасы воды составляют 4 260 км<sup>3</sup>. Здесь сосредоточено около четверти мировых запасов пресных поверхностных и подземных вод. Россия занимает второе место в мире по валовым ресурсам пресной воды, а по водообеспеченности в расчете на душу населения – третье место среди крупных стран (на душу населения приходится более 28 тыс. м<sup>3</sup>) [2].

Несмотря на это, многие регионы России могут иметь и уже имеют очень серьезные региональные проблемы с водообеспечением экономики и населения. Причина – крайне неравномерное распределение водных ресурсов по территории страны, которые не согласуются с потребностями в них, очень большой их временной изменчивостью (особенно в южных районах), высокой степенью загрязнения. Очень хорошо обеспечены водными ресурсами Дальневосточный и Сибирский ФО, несколько менее – Уральский и Северо-Западный; ограниченные водные ресурсы имеют наиболее густо населенные округа – Приволжский, Центральный и Южный. При этом федеральные округа, имеющие малые водные ресурсы, обладают и наибольшей их многолетней изменчивостью, что означает, что в отдельные годы или в течение нескольких лет они могут быть значительно меньше указанных среднемноголетних значений.

Обеспеченность населения Пермского края ресурсами речного стока составила 27,369 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека, что ниже среднероссийского показателя (31,717 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека), но выше показателя Приволжского федерального округа (8,533 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека). И это количество из года в год изменяется, что связано с социальными и экономическими условиями. В связи с этим цель исследований – рассчитать удельную водообеспеченность для административных районов края при минимальной величине речного стока (95% обеспеченности). Для этого решались следующие вопросы:

- 1) оценивалась количественная сторона поверхностных водных объектов;
- 2) выявлялись требования различных водопользователей по объемам забора воды и устанавливались безвозвратные потери воды;
- 3) определялись объемы воды, которые могут быть предоставлены водопользователям в естественных условиях, а также при проведении дополнительных мероприятий по регулированию стока.

### **Методы исследования**

Для расчета удельной водообеспеченности – величины поверхностных водных ресурсов, выраженная в тыс. м<sup>3</sup>/год на 1 жителя – административных районов Пермского края использованы объемы поверхностного стока (норма и модуль стока), объемы водопотребления за период 2012-2016 гг., данные о численности населения в каждом административном районе. В настоящей работе использовалась методика расчета отчетного водохозяйственного баланса (ВХБ), который раскрывают зависимость между поступлением и расходом воды за отчетный период (2012-2016 гг.) в границах административных районах Пермского края. В состав приходной части ВХБ входили поверхностные воды и возвратные воды, а в расходной части – затраты на водоснабжение и коммунально-бытовые потребности; промышленность, сельское хозяйство, гидроэнергетику и так далее.

Водохозяйственные балансы составлялись для каждого административного района по следующей формуле:

$$W = W_1 + W_2 - W_3 \pm \Delta W$$

где  $W$  – общий объем воды в поверхностных водных объектах каждом административном районе;  $W_1$  – затраты воды на хозяйственно-питьевые нужды населения;  $W_2$  – затраты воды на производственные нужды, которые включают в себя сельское хозяйство, гидроэнергетику, легкую и тяжелую промышленность;  $W_3$  – объем возвратных вод;  $\Delta W$  – невязка.

Для расчета использовались данные по форме федерального статистического наблюдения 2-ТП (Водхоз) «Сведения об использовании воды» за период 2012-2016 гг., предоставленные Камским Бассейновым Водным Управлением Федерального Агентства Водных Ресурсов.

### **Результаты**

Пермский край находится в восточной части Восточно-Европейской равнины и на западных склонах Среднего и Северного Урала. Речная сеть на территории края достаточно густая и развита довольно равномерно. Большая часть рек принадлежит к бассейну Камы; из крупных рек края можно отметить Чусовую, Сылву, Колву, Вишеру, Яйву и Косью. На территории региона расположены три водохранилища [3]. Водный фонд Пермского края составляют: более 29 тысяч рек общей длиной свыше 90 тысяч км; около 800 озер общей площадью свыше 120 км<sup>2</sup>; почти 1000 болот, которые вместе с заболоченными лесами занимают более 25 тыс. км<sup>2</sup> площади; разнообразные виды подземных вод; снежники – 2 многолетних снежника находятся на северо-востоке региона в Тулымском кряже; пещерный лед более чем в 10 карстовых пещерах; 3 водохранилища площадью свыше 3 тыс. км<sup>2</sup>; почти 500 прудов; свыше 1,3 тыс. км подземных водопроводов и различных мелиоративных систем [3].

Согласно закону «Об административно-территориальном устройстве Пермского края», регион состоит из следующих количеств административно-территориальных единиц: города краевого значения – 14, административные районы – 33, города районного значения – 11, районы в городах – 7, городские населенные пункты – 51 (в том числе города – 25, рабочие поселки – 26), ЗАТО – 1, сельские населенные пункты – 3572, округ – 1. В рамках муниципально-территориального устройства, в границах административно-территориальных единиц края к 1 января 2016 года были образованы 337 муниципальных образований: 8 городских округов, 40 муниципальных районов, 29 городских поселений, 260 сельских поселений [3]. Численность населения Пермского края под данным Росстата в 2016 г. составляет 2 634 409 человек.

По обеспеченности водными ресурсами Пермский край занимает 1-е место на Урале, по объемам забираемой воды – 10-е место в РФ. На рисунке представлена динамика обеспеченности населения Пермского края ресурсами речного стока в 2010–2015 годах. Из него видно, что амплитуда изменения водообеспечения во времени изменяется незначительно, однако в пределах административных районов картина иная.



Обеспеченность населения Пермского края ресурсами речного стока (тыс.м<sup>3</sup>/человека) [2]

На территории края создан мощный водохозяйственный комплекс, обеспечивающий потребности в воде населения, разных отраслей промышленности и сельского хозяйства. При этом около 87% от общего забора воды используется на промышленные нужды. Водные ресурсы по территории края распределены неравномерно, уменьшаясь главным образом с востока на запад. Важной количественной характеристикой водных ресурсов является водообеспеченность. Под водообеспеченностью понимается степень удовлетворения фактической потребности в воде хозяйства предприятия, орошаемой площади, отрасли народного хозяйства [1].

Расчет водохозяйственного баланса показал, что в некоторых районах (Большесосновский, Ильинский, Ординский, Уинский, Чердынский, Гайнский, Косинский и Юрлинский муниципальный район) поверхностные воды не используются, забор воды происходит только из подземных источников. В остальных административных районах Пермского края забор воды ведется как из поверхностных, так и из подземных водоисточников, поэтому в некоторых районах наблюдается увеличение объема воды, рассчитанного по уравнению ВХБ, относительно исходного объема воды в административном районе, так как происходит сброс возвратных вод в поверхностные водные объекты, которые ранее были забраны из подземных водоисточников. Наибольшие объемы водопотребления приходятся на 2013 и 2014 гг., что скорее всего связано с экономическим развитием Пермского края, который характеризовался промышленным ростом и сопровождался инвестиционным подъемом. В этот же период наблюдалось увеличение объемов производства в секторе добывающей промышленности, и обрабатывающих производств.

Уменьшение водопотребления наблюдается в 2012, 2015 и 2016 гг., что связано с ухудшением экономики России в целом (экономический кризис, ввод различных санкций и падение объем производства), а также увеличением водопотребления из подземных водоисточников (2015-2016 гг.).

На основании водохозяйственного баланса выполнен расчет удельной водообеспеченности по административным районам Пермского края. Результаты показали, что максимально водообеспеченными являются северные районы Пермского края: Гайнский, Красновишерский и Чердынский. Удельная водообеспеченность в этих районах составляет 108,0,94,4, и 81,4 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека соответственно. Высокие значения водообеспеченности связаны с тем, что северные районы расположены в зоне избыточного увлажнения, характеризуются большим количеством болот и озер, экономически не развиты – отсутствует промышленный комплекс (развита только лесодобывающая промышленность) и характеризуются малой численностью населения.

Наиболее низкой водообеспеченностью, которая колеблется в диапазоне от 0,3 до 4,9 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека, характеризуются центральные районы края – г. Пермь и Пермский район (0,3 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека), городской округ «Город Губаха» (2,3 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека), г. Кудымкар и Кудымкарский район (3,0 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека), Кизеловский (4,8 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека), а также южные муниципальные районы – Чайковский и Чернушинский (1,7 и 2,5 тыс. м<sup>3</sup>/год на человека соответственно). Это можно объяснить следующими причинами:

1. Центральные районы имеют большую численность населения и густо заселены – в г. Перми и Пермском муниципальном районе проживает более 1 млн человек.

2. На территории Пермского края функционируют Березниковско-Соликамский, Кизеловско-Губахинский и Лысьвенско-Чусовской промышленные узлы, которые характеризуются производством черной и цветной металлургии, машиностроения, химической, целлюлозно-бумажной, текстильной и нефтегазохимической промышленностью и в своих производственных циклах используют большое количество воды.

3. В гг. Пермь, Чайковский, Губаха, Александровском, Добрянском, Кизеловском расположены основные электрогенерирующие предприятия – Камская, Воткинская и Широковская ГЭС, Яйвинская, Пермская и Кизеловская ГРЭС, соответственно, которые регулируют использование и распределение стока внутри года.

### **Выводы**

В целом вся территория Пермского края не имеет дефицита водных ресурсов. Основные проблемы, связанные с водообеспеченностью, наблюдаются в ряде центральных экономически развитых районах, которые имеют большую численность населения и крупные межотраслевые комплексы, потребляющие большое количество воды.

### **Библиографический список**

1. Минкина А.В., Павлова Д.Л. Оценка водообеспеченности административных районов Пермского края // Вопросы гидрологии, геоэкологии и охраны водных объектов = Hydrology, Geoecology and Protection of Water Bodies [Электронный ресурс]: материалы межрегиональной научно-практической

конференции студентов, магистров и аспирантов (11 ноября 2020 г.); Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные. Пермь, 2020. С. 34-37.

2. Научно-популярная энциклопедия «Вода России» // [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://water-ru.ru/a2186>. Дата обращения: 20.04.2021

3. Пермь Великая // [Электронный ресурс] /Режим доступа: <http://visitperm.ru/about/nature/vodnye-resursy.php>. Дата обращения: 20.04.2021

УДК 556

И.Ю. Милютина, А.А. Сапожникова, О.В. Горелиц, И.В. Землянов,  
[lynx-inga@rambler.ru](mailto:lynx-inga@rambler.ru)

*Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова,  
Росгидромет, г. Москва, Россия*

## **НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ВЕРХНЕ-СВИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Проанализированы многолетние и сезонные изменения элементов водного режима и составляющих водного баланса Верхне-Свирского водохранилища, включая приток, сток и колебания уровня воды Онежского озера за весь период наблюдений. Показано, что в настоящее время наблюдается увеличение частоты и продолжительности стояния высоких уровней Онежского озера. Проведена оценка влияния климатических изменений и регулирования ГЭС на повышение уровней озера. Разработаны научно-обоснованные рекомендации по оптимизации режима регулирования Верхне-Свирского водохранилища, направленные на снижение уровня Онежского озера.

*Ключевые слова:* Верхне-Свирское водохранилище, Онежское озеро, режим регулирования, климатические изменения, водный режим.

I.Yu. Milyutina, A.A. Sapozhnikova, O.V. Gorelits, I.V. Zemlyanov,  
[lynx-inga@rambler.ru](mailto:lynx-inga@rambler.ru)

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

## **SCIENTIFIC BASIS OF PROPOSALS FOR OPTIMIZING THE OPERATING MODE OF THE UPPER-SVIR RESERVOIR**

The study analyzes long-term and seasonal changes in the water regime elements and water balance components of the Upper-Svir reservoir, including inflow, runoff and fluctuations in water level of Lake Onego over the whole observation period. It is shown that currently there is an increase in the frequency and duration of high levels standing in Lake Onego. The impact of climate changes and HPP regulation on lake level rise has been assessed. Science-based recommendations to optimize the operating mode of the Upper-Svir reservoir, aimed to reduce the level of Lake Onego, have been developed.

*Keywords:* Upper-Svir reservoir, Lake Onego, operating mode, climate change, water regime.

## ***Введение***

Верхне-Свирское водохранилище образовано в результате подпора верховий р. Свирь и Онежского озера после сооружения в 1951-1952 гг. Верхне-Свирской ГЭС в целях обеспечения судоходства по Волго-Балтийскому водному пути. Створ плотины Верхне-Свирского гидроузла находится вблизи г. Подпорожье в 97 км от истока р. Свирь. Площадь водосбора Верхне-Свирского водохранилища составляет 67 100 км<sup>2</sup>.

Верхне-Свирское водохранилище включает речную часть и Онежское озеро. Водохранилище позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока за счет ресурсов Онежского озера, недельное и суточное – за счет ресурсов речной части. Нормальный подпорный уровень (НПУ) Верхне-Свирского водохранилища равен 33,3 м БС [4]. В последние десятилетия уровни Онежского озера регулярно превышают указанную отметку, что приводит к активизации негативного воздействия вод на прибрежную территорию. Для разработки научно-обоснованных предложений по оптимизации режима Верхне-Свирского водохранилища в целях снижения этого воздействия проведен анализ притока, стока и режима уровней Онежского озера во взаимосвязи с климатическими факторами за весь период наблюдений.

## ***Материалы и методы исследования***

Многолетние изменения уровня Онежского озера проанализированы за период 1881-2019 гг. по данным г/п Вознесенье, имеющем наиболее продолжительный ряд наблюдений, на основе материалов ежегодных изданий Гидрометслужбы [1;2;6] и автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИСГМВО).

Общий и полезный приток к Онежскому озеру (1932-1951 гг.) и к Верхне-Свирскому водохранилищу (1952-2014 гг.) принят по данным Государственного водного кадастра (ГВК) [2; 3]. Полезный приток учитывает разность осадков и испарения с водной поверхности и может служить комплексным показателем климатической изменчивости на водосборе.

Сток из Онежского озера за естественный период (1881-1951 гг.) оценивался по расходам на г/п р. Свирь – с. Мятусово, располагавшемся в 16 км выше створа плотины Верхне-Свирской ГЭС [5]. Сток по р. Свирь за зарегулированный период (1953-2019 гг.) характеризуется расходами сброса Верхне-Свирской ГЭС по данным, опубликованным в ежегодных изданиях ГВК [1; 2] и предоставленным дирекцией Каскада Ладожских ГЭС.

Анализ многолетней и сезонной изменчивости основных климатических характеристик – температуры воздуха и атмосферных осадков – проведен на основе открытых массивов интерполированных сеточных данных CRU TS (Climatic Research Unit, University of East Anglia, <https://sites.uea.ac.uk/cru/data>) для всего водосбора Верхне-Свирского водохранилища за период инструментальных наблюдений 1901-2018 гг.

## ***Анализ результатов***

Для оценки влияния климатических характеристик на водный режим Верхне-Свирского водохранилища построены совмещенные разностно-



интегральные кривые (РИК) среднегодовой суммы атмосферных осадков, общего поверхностного притока к нему и среднегодовых уровней Онежского озера по данным г/п Вознесенье (рис.1). На всех трех кривых выделяются периоды пониженной, средней и повышенной водности. Несмотря на некоторое запаздывание в сроках перехода характеристик между периодами, многолетние изменения уровня Онежского озера согласованы с изменением климатических факторов.

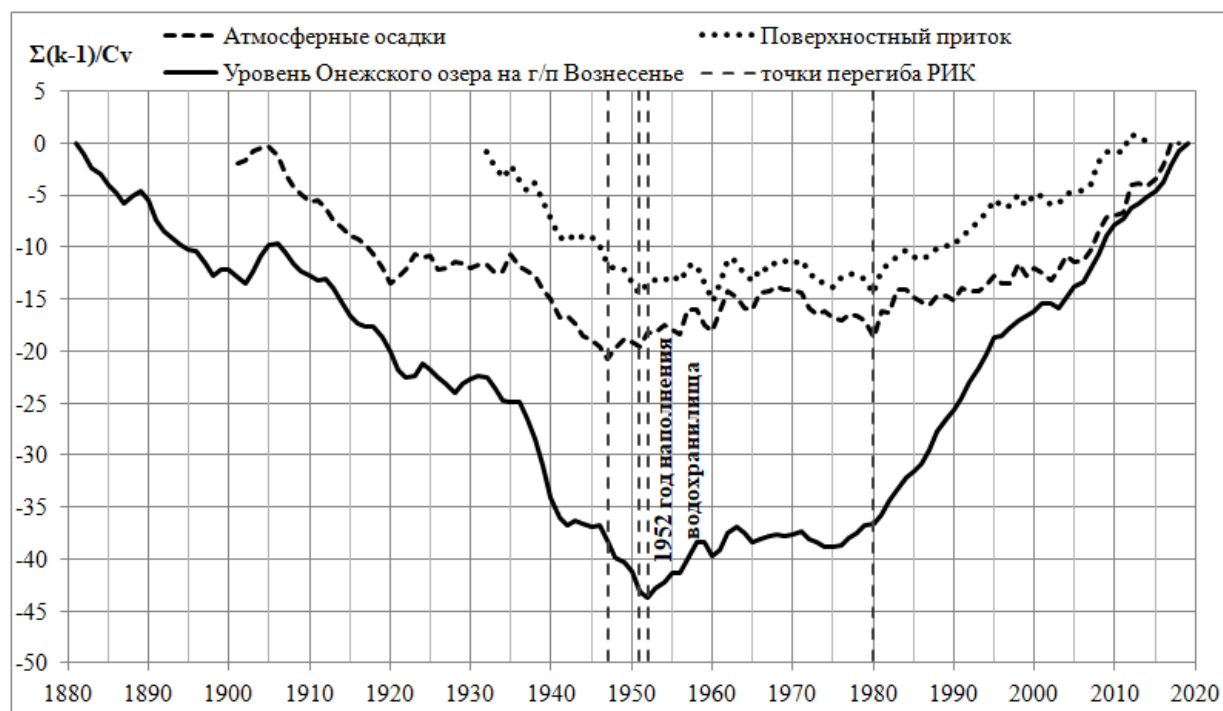


Рис.1. Совмещенные разностно-интегральные кривые

Строительство плотины Верхне-Свирской ГЭС совпало с переходом от продолжительного периода пониженной водности (1881-1951 гг.) к периоду средней водности (1952-1980 гг.). Современная эксплуатация водохранилища приходится на период повышенной водности (1981-2019 гг.).

Анализ данных показывает, что значения климатических характеристик в период начала эксплуатации водохранилища в 1952-1980 гг. относительно стабильны и близки к климатической норме. В последние 40 лет наблюдается устойчивый рост среднегодовой температуры воздуха (на 1°C) и годовых сумм атмосферных осадков (на 30 мм). Это обусловило естественное повышение увлажненности водосбора, увеличение притока к Верхне-Свирскому водохранилищу и привело к росту уровней Онежского озера. С 1980-х гг. наблюдается увеличение повторяемости и продолжительности стояния уровней Онежского озера, превышающих отметки НПУ (рис. 2, 3).

Климатические изменения повлияли и на внутригодовую изменчивость притока к водохранилищу. Рост температуры воздуха и сезонных сумм атмосферных осадков привел к увеличению повторяемости зимних оттепелей и

росту зимнего меженного притока, к смещению сроков наступления весеннего сезона на более ранние и значительному увеличению притока в период половодья, особенно в апреле, и период летне-осенних паводков.

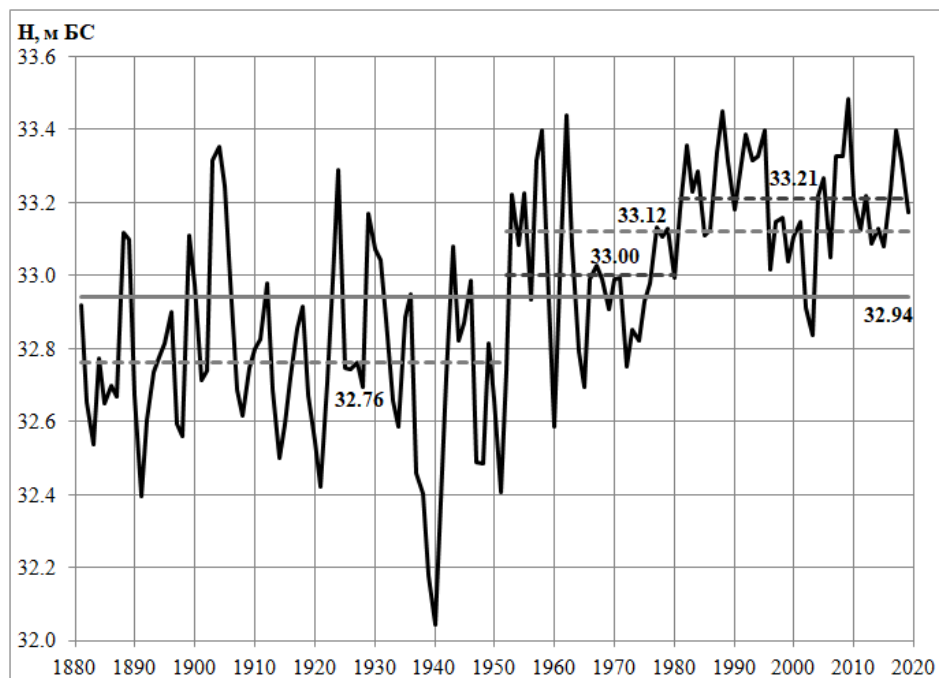


Рис. 2. Среднегодовые уровни воды Онежского озера по данным г/п Вознесенье с 1881 по 2019 г. и осреднение их по периодам водности

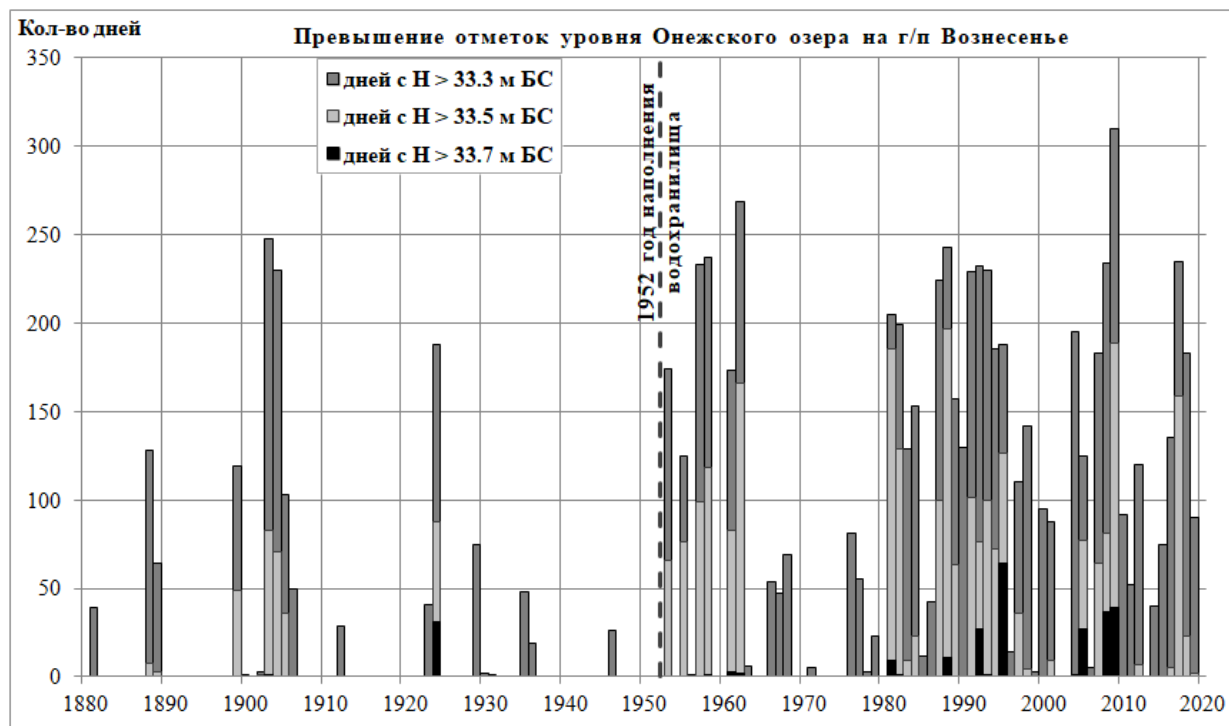


Рис.3. Превышение характерных отметок ежедневными уровнями Онежского озера по данным г/п Вознесенье за период 1881-2019 гг.

Среднегодовые сбросы ГЭС, осредненные за периоды средней и повышенной водности (582 и 598 м<sup>3</sup>/с), оказываются меньше естественного стока по р. Свирь на г/п Мятусово в среднем за маловодный период (607 м<sup>3</sup>/с). Превышение среднегодового полезного притока над сбросами в среднем за период средней водности составляло порядка 20 м<sup>3</sup>/с, а в период повышенной водности достигло 50 м<sup>3</sup>/с. Расходы сброса компенсируют увеличившийся общий приток, но недостаточны для сработки полезного притока, что приводит к накоплению дополнительных объемов воды в Онежском озере. Расходы сброса ГЭС в зимние месяцы превышают естественный сток по р. Свирь, что обеспечивает сработку Онежского озера, несмотря на рост зимнего меженного притока. В то же время уменьшение сбросов ГЭС относительно естественного стока в апреле-мае накладывается на рост притока половодья и приводит к дополнительному росту уровней Онежского озера. Увеличения сбросов ГЭС относительно естественного стока во время летне-осенних паводков недостаточно для компенсации повышенного притока.

### **Выводы**

Работа Верхне-Свирской ГЭС в настоящее время происходит в условиях продолжительного многоводного периода, обусловленного современными изменениями климата. Повышенный приток в половодье, частые и продолжительные летне-осенние паводки вкуче с недостаточными сбросами ГЭС приводят к накоплению дополнительных объемов воды в Онежском озере и увеличению частоты и продолжительности стояния уровней на высоких отметках. Способность Онежского озера к накоплению воды в многоводный период связана с его аккумулярующей емкостью и определяется существенным превышением расходов притока половодья и паводков над пропускной способностью русла р. Свирь, по которому происходит сток воды из озера.

Для снижения уровней Онежского озера целесообразно повышать средние значения расходов сброса ГЭС (600-900 м<sup>3</sup>/с) при пропуске половодья и в период летне-осенних паводков. При этом в период межени и в случаях отдельных маловодных лет рекомендуется поддерживать сбросы в пределах 400-600 м<sup>3</sup>/с в целях сработки накопленных в многоводный период объемов.

Оптимизация режима регулирования Верхне-Свирской ГЭС позволит снизить нагрузку на сооружения гидроузла, поспособствует более безопасному режиму эксплуатации ГЭС и положительно скажется на снижении негативного воздействия вод на прибрежную территорию.

*Представленные результаты получены в рамках НИР «Исследование аккумулярующей способности Ивинского разлива, ее влияние на режим эксплуатации Верхне-Свирского водохранилища и разработка научно-обоснованных рекомендаций по оптимизации режима регулирования водохранилища с целью снижения негативного воздействия вод на прибрежную территорию» по заказу Невско-Ладожского БВУ.*

### **Библиографический список**

1. Гидрологический ежегодник. 1936–1977 гг. Том 1. Бассейн Балтийского моря. Ленинград: Гидрометеиздат, 1948-1978; Обнинск, 1978.

2. *Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1978-2014 гг. Том 1. Бассейн Балтийского моря. Ленинград, Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1980-2015.*

3. *Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 3. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. РСФСР. Выпуск 5. Бассейны рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. - 685 с.*

4. *Правила эксплуатации водохранилищ. Верхне-Свирская и Нижне-Свирская ГЭС на р. Свирь. 2 редакция. НИИ «Гидропроект» им. С.Я. Жука. Ленинград: 1990. – 166 с.*

5. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 2. Карелия и Северо-Запад. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. - 704 с.*

6. *Сведения об уровне воды на внутренних водных путях / на реках и озерах Российской империи / СССР 1881-1935 гг. Т. 1, 4, 8, 12, 14, 16, 21. Басс. Балтийского моря. МПС, СПб, 1901, 1908, 1912, ГГИ, Л., 1932, Гидрометеиздат, Л.-М., 1938-1940.*

УДК 631.6.551

К.О. Молдошев, Р.Т. Акматов, Т.М. Чодураев

[nalsur24@list.ru](mailto:nalsur24@list.ru)

*Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева, г. Бишкек,  
Кыргызстан*

## **К ВОПРОСУ О ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ТАЛАССКОЙ ДОЛИНЫ**

Таласская долина обладает необходимым водноресурсным потенциалом для интенсивного развития отраслей сельского хозяйства и обеспечения водой коммунально-бытовых нужд и потребностей промышленных предприятий, с условием соблюдения экологических требований. По характеру направленности водного баланса на рассматриваемой территории выделяются две гидрологические области - область формирования и область рассеивания стока. К первой относится горная часть территории, где преобладает приход влаги над ее расходом и где хозяйственная деятельность пока не оказала существенного влияния на сток рек. Здесь важную роль в формировании стока играет оледенение. Область рассеивания располагается в долинных районах, где интенсивно развито орошение, в связи с чем резко видоизменяется естественный режим крупных рек. Выявлено, что основным источником загрязнения водных ресурсов взвешенными веществами является смыв с территории водосборного бассейна мелкоземистых частиц атмосферными осадками и поливными водами. Доля антропогенной части загрязнения взвешенными веществами не превышает 0,05 % от естественного загрязнения.

*Ключевые слова:* водные ресурсы, водообеспеченность, речной сток, отрасли хозяйства, водопотребление, расход воды, орошение, водный режим, атмосферные осадки, естественное загрязнение.

## **TO THE QUESTION OF WATER RESISTANCE OF THE THALASS VALLEY**

The Talas Valley has the necessary water resource potential for the intensive development of agricultural sectors and the provision of domestic needs and the needs of industrial enterprises with water, subject to compliance with environmental requirements. According to the nature of the water balance in the territory under consideration, two hydrological areas are distinguished - the area of formation and the area of dispersion of runoff. The first is the mountainous part of the territory, where the arrival of moisture over its discharge prevails and where economic activity has not yet had a significant impact on the river flow. Here an important role in the formation of runoff is the connection. The area of dispersion is located in the valley areas where irrigation is intensively developed, in connection with which the natural regime of large rivers drastically changes. It was revealed that the main source of water pollution with suspended substances is flushing of fine-grained particles from the territory of the catchment area with atmospheric precipitation and irrigation water. The proportion of anthropogenic pollution by suspended substances does not exceed 0.05% of natural pollution.

*Keywords:* water resources, water availability, river flow, industry, water consumption, water consumption, irrigation, water regime, precipitation, natural pollution.

### ***Введение***

Рациональное использование водных ресурсов предполагает всестороннее географическое исследование и в первую очередь тщательное изучение элементов водного баланса – осадков, испарения, поверхностного и подземного стока воды, которые зависят от природных условий конкретной территории [1; 2].

По характеру направленности водного баланса на рассматриваемой территории выделяются две гидрологические области – область формирования и область рассеивания стока. К первой относится горная часть территории, где преобладает приход влаги над ее расходом и где хозяйственная деятельность пока не оказала существенного влияния на сток рек. Здесь важную роль в формировании стока играет оледенение [3]. Область рассеивания располагается в долинных районах, где интенсивно развито орошение, в связи с чем резко видоизменяется естественный режим крупных рек [4].

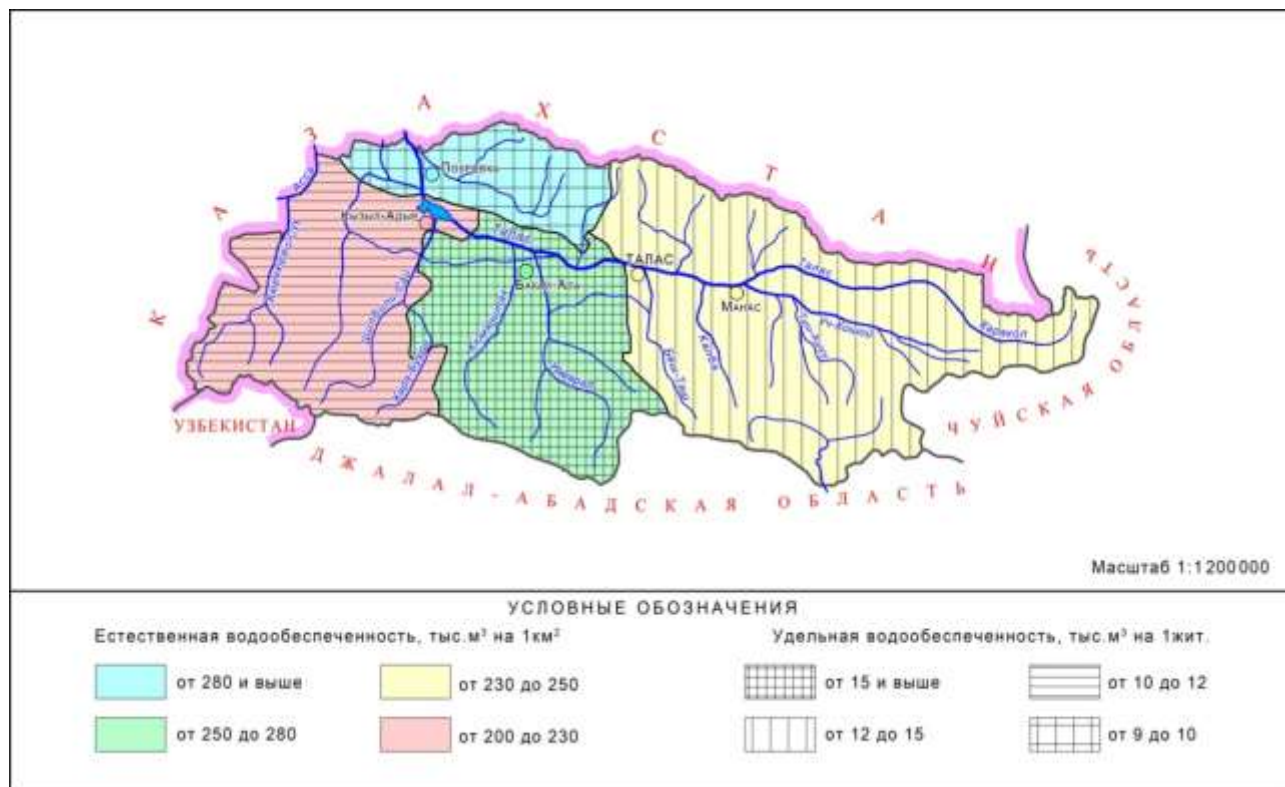
Водный баланс Таласской долины характеризуется годовой суммой осадков  $5,9 \text{ км}^3$ , расходующихся в основном на испарение и транспирацию растениями ( $3,1 \text{ км}^3$ ) и в значительной степени на формирование вод местного речного стока ( $2,8 \text{ км}^3$ ).

### ***Материалы и методы исследования***

В качестве фактического и аналитического материала использованы материалы Государственной службы по гидрометеорологии МЧС КР. Полученные материалы были проанализированы на основе статистических, метеорологических и географических методов.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки речного стока административных районов Таласской долины применен географо-гидрологический метод зонального воднобалансового картографирования [5]. Нами проведено более детальное деление речного стока Таласской долины (таблица, рисунок).



Водообеспеченность административных районов Таласской долины

Показателем естественной водообеспеченности территории является величина речного стока (в тыс. м<sup>3</sup>), приходящаяся на 1 км<sup>2</sup> площади. Для Таласской долины он составляет 246 тыс. м<sup>3</sup> на 1 км<sup>2</sup> площади в средний по водности год (таблица).

Другие регионы республики отличаются более высокими показателями естественной водообеспеченности, так для Джала-Абадской области он равен 351 тыс. м<sup>3</sup> на 1 км<sup>2</sup>. В среднем на 1 км<sup>2</sup> площади республики приходится 258 тыс. м<sup>3</sup> воды в год [5]. Таким образом, Таласская долина является одной из среднеобеспеченных ресурсами речного стока частей республики. Если рассмотреть распределение ресурсов речного стока на душу населения, то в Таласской долине этот показатель равен 12,1 тыс. м<sup>3</sup> на 1 жителя (на 1 января 2018 г.), что чуть больше, чем в среднем по республике.

**Распределение ресурсов речного стока по административным районам  
Таласской долины**

№	Администра- тивный район	Площадь км <sup>2</sup>	Население тыс. человек (1.01.18)	Речной сток		Водообеспеченность тыс. м <sup>3</sup>	
				км <sup>3</sup> год	%	на 1 км <sup>2</sup>	на 1 жит.
1.	Бакай-Атинский	2662,9	45,2	0,7	26,0	262	15,4
2.	Кара- Бууринский	2607,0	59,2	0,6	21,0	230	10,1
3.	Манасский	1044,4	33,3	0,3	11,0	287	9,0
4.	Таласский	5118,4	94,1	1,2	42,0	234	12,7
	<b>Всего:</b>	<b>11432,7</b>	<b>231,8</b>	<b>2,8</b>	<b>100</b>	<b>246</b>	<b>12,1</b>

В среднем на 1 км<sup>2</sup> площади Таласской долины приходится 246 тыс. м<sup>3</sup> воды в год, а по республике на 1 км<sup>2</sup> площади 258 тыс. м<sup>3</sup>. Несмотря на высокую естественную обеспеченность ресурсами речного стока, следует подчеркнуть их неравномерное распределение по территории региона. Северные склоны Таласского Ала-Тоо обеспечены лучше, чем южные склоны Кыргызского Ала-Тоо. Удельная водообеспеченность в целом Таласской долины составляет 12,1 тыс. м<sup>3</sup>/год, что чуть больше среднереспубликанского показателя. Наблюдается большая разница показателя удельной водообеспеченности. Так, в Бакай-Атинском районе на одного жителя приходится 15,4 тыс. м<sup>3</sup> воды в год, в Манасском всего 9 тыс. м<sup>3</sup>/год.

К настоящему времени ресурсы подземных вод Таласской долины изучены достаточно хорошо. Наиболее полное описание гидрологических условий дано в работах [6;7].

Таласский гидрогеологический район второго порядка включает межгорные впадины в бассейне р. Талас, собственно долину этой реки и Талас-Ассинский конус выноса. Наибольшая мощность толщи водосодержащих пород достигает 300–500 м. Самой водобильной является верхняя зона отложений средней мощностью до 50 м. Коэффициенты фильтрации пород составляют 10–70 м/сут, водопроницаемость достигает 1000–1500 м<sup>3</sup>/сут. Естественные ресурсы подземных вод достигают 75 м<sup>3</sup>/с при модулях подземного стока, равных 0,6–8 л/с на км<sup>2</sup>. Эксплуатационные ресурсы подземных вод составляют 70 м<sup>3</sup>/с, из них 40 м<sup>3</sup>/с восполнимые. Наибольшие модули естественных ресурсов отмечаются в пределах Талас-Ассинского конуса выноса. Общая величина родникового стока в предгорной зоне составляет 9 м<sup>3</sup>/с. Подавляющую часть их (около 90%) составляют пресные воды. Возможная производительность сосредоточенных водозаборов достигает 1 м<sup>3</sup>/с [7]. Всего эксплуатируется 238 скважин с водоотбором 1,86 м<sup>3</sup>/с.

Помимо орошаемого земледелия основными факторами загрязнения водных ресурсов являются неочищенные бытовые и промышленные стоки,

сбросы отходов скотоводства, отходы добычи полезных ископаемых в горных районах и неконтролируемое удаление отходов близ населенных пунктов. Качество воды в бассейне р.Талас зависит от степени загрязненности ее притоков, находящихся в ее бассейне и подземных вод, а также от загрязненности ледников, главной причиной которой является деятельность человека. К числу основных загрязнителей относятся аммоний и медь. Вблизи города Таласа загрязненность воды является более высокой в связи с повышенной концентрацией железа.

Вызывает много вопросов перспективы освоения месторождения «Джеруй». Гидрография района месторождения «Джеруй» представлена реками, берущими начало высоко в горах и являющихся притоками различного порядка реки Уч–Кошой, которая впадает в реку Талас. Исследование физико–химических параметров поверхностных водотоков в районе месторождения и вдоль автотрассы Кара – Ой – Талас проводило СП «Чуйская экологическая лаборатория», микробиологические определялись лабораторией Госсанэпиднадзора КР. Отбор проб проводился в 19 точках из которых: в 1998 г. – 15 точек, в 1999 г. – 4 точки, в 2012 г. – 7 точек. Полевые и лабораторные работы проходили в период с 23 августа по 30 ноября 1998 г., в июне 1999 г. и в июле 2012 г. Обобщенные результаты показали, что: поверхностный сток повсеместно не может использоваться в качестве источников питьевого водоснабжения без очистки, так как мутность превышает ПДК в  $5,7 \div 21,2$  раза, коли – индекс в  $16,7 - 23,3$  раза, селен в 2-6 раза. Для доведения показателей до соответствия ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая» необходимы предварительные отстаивания и обеззараживание [8].

Определение объема естественного загрязнения водоемов показало, что, вынос взвешенных веществ с пахотных земель составляет 89,0 млн т/год.

С остальной территории водосборного бассейна (без селитебной зоны) 28,0 млн т/год. Средняя концентрация взвеси от естественного смыва земель с водосборного бассейна атмосферными осадками и при орошении пахотных земель составляет  $63586 \text{ г/м}^3$ .

Средняя концентрация взвеси с селитебной территории –  $32,6 \text{ г/м}^3$ , что составляет 0,05% от объема взвеси смываемой естественным образом.

Выявлено, что основным источником загрязнения водных ресурсов взвешенными веществами является смыв с территории водосборного бассейна мелкоземистых частиц атмосферными осадками и поливными водами. Доля антропогенной части загрязнения взвешенными веществами не превышает 0,05 % от естественного загрязнения.

Более 70% пресной воды в жидком виде в Индии превращается в непригодную для употребления. Не только Индия, но и другие страны страдают от той же проблемы [9-12]. Поэтому, по сравнению Индии и с другими странами в Кыргызстане нет сильно загрязненных рек.

### **Выводы**

Таким образом, можно отметить, что Таласская долина обладает необходимым водноресурсным потенциалом для интенсивного развития



отраслей сельского хозяйства и обеспечения водой коммунально-бытовых нужд и потребностей промышленных предприятий, с условием соблюдения экологических требований.

### **Библиографический список**

1. *Молдошев К.О.* Научно-методологические основы экономико-географических исследований водных ресурсов. Душанбе: Кишоварз. 2009. Т.2. С. 41-42.
2. *Молдошев К.О.* Водноресурсный цикл Чуйской долины. Бишкек: Турар, 2006. 9 с.
3. *Усубалиев Р.А., Молдошев К.О., Бредихин Н.В.* Развитие оледенения в условиях современного изменения климата. Известия ВУЗов Кыргызстана. 2017. № 8. С. 43-45.
4. *Большаков М.Н.* Водные ресурсы рек Советского Тянь-Шаня и методы их расчета. Фрунзе: Илим, 1974. 306 с.
5. *Эргешов А.А.* Географо-гидрологические основы оценки формирования, использования и охраны водных ресурсов Кыргызстана: автореф. дис.... докт. геогр. наук. Бишкек: 1997. 12 с.
6. Гидрогеология СССР. Т. XI. Киргизская ССР. М.: Недра, 1971. 487с.
7. *Григоренко И.Г.* Принципы и схема регионального гидрогеологического районирования Северного Тянь-Шаня. //Изв. АН Киргизский ССР. Фрунзе: 1968. Вып.3. С.24-31.
8. Материалы СП «Чуйская экологическая лаборатория», 2015 г.
9. *Dwivedi, A.K.* Researches in water pollution: a review International Research Journal of Natural and Applied Sciences.Vol. 4, Issue 1.2017
10. *Abaychi, J. K.* Concentrations of trace elements in aquatic vascular plants from shatt al. Arab river, Iraq. Journal of Biological Sciences Research. 1987. 18(2):123-129.
11. *Blanchard, P.E. and Lerch, R.N.* Watershed vulnerability to losses of agricultural chemicals: Interactions of chemistry, hydrology, and land-use. Environmental Science and Technology. 2000. 34(16):3315.
12. *Dwivedi, A.K., U.B. Prajapati and Shashi.* Waste Water and its Management, Indian Science Cruiser, 2007. 21(4): 36-40.

## **ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКОМ ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ**

Рассмотрена водообеспеченность и тенденции использования водных ресурсов в смежных регионах России и Казахстана. Обозначены проблемы трансграничного водопользования в речных бассейнах Урала и Иртыша. Показана структурная специфика водопользования и определено соотношение объёмов водопотребления к доступным возобновляемым водным ресурсам по регионам. Особое внимание уделено тенденциям в использовании водных ресурсов за последние годы.

*Ключевые слова:* российско-казахстанский трансграничный регион, тенденции водопользования, трансграничные бассейны

Yu.A. Padalko, [yapadalko@gmail.com](mailto:yapadalko@gmail.com)  
*Institute of Steppe of Ural Branch RAS, Orenburg, Russia*

## **PROBLEMS AND TRENDS IN THE USE OF WATER RESOURCES IN THE RUSSIAN-KAZAKHSTAN TRANSBOUNDARY REGION**

The water availability and trends in the use of water resources in the adjacent regions of Russia and Kazakhstan are considered. The problems of transboundary water use in the river basins of the Urals and Irtysh are outlined. The structural specificity of water use is shown and the ratio of water consumption to available renewable water resources by region is determined. Particular attention to trends in the use of water resources in recent years.

*Keywords:* Russian-Kazakh transboundary region, water use trends, transboundary basins

### ***Введение***

В современных условиях возрастающего спроса на водные ресурсы в мире наиболее острая ситуация складывается в трансграничных речных бассейнах. У Российской Федерации из-за протяженности границ значительное количество трансграничных рек. Одной самых протяжённых государственных рубежей является граница с Республикой Казахстан. У России и Казахстана имеется два крупных речных бассейна Урала и Иртыша, разделенных между государствами. Территориальное разделение бассейнов не решает проблем с делением водных ресурсов. Проблемы обозначены в водных стратегиях обоих государств, в связи с этим проходят межгосударственные консультации для выработки общих решений вопросов устойчивого водопользования. В настоящее время на межгосударственном уровне подписаны соглашения, по которым стороны осуществляют дополнительные сбросы из водохранилищ в маловодные периоды. Для дальнейшего устойчивого развития между странами имеется

необходимость исследования тенденций и возможного прогнозирования потребностей в водных ресурсах.

### ***Материалы и методы исследования***

В область исследования включались регионы двух стран, водное хозяйство которых зависит от трансграничных водных ресурсов соседних регионов или оказывает на них влияние. С этой целью был составлен геоинформационный массив данных по 6 регионам Российской Федерации и 9 областям Республики Казахстан (рисунок), включающий сведения об общих водных ресурсах, местном стоке и водохранилищах, а также о водопотреблении и его структуре. Для определения соотношения объёмов водопотребления к доступным возобновляемым водным ресурсам применялся коэффициент использования водных ресурсов (показатель водного стресса). Значения показателя при соотношении менее 10% свидетельствуют о том, что водный стресс не наблюдается; если от 10 до 20% – существует слабая нехватка воды; если 20-40% – умеренная; превышение 40% означает высокий уровень нехватки воды (водный стресс) [1]. Материалы исследования включали статистические данные по фактической динамике и структуре показателей водопользования в субъектах Российской Федерации и регионах Республики Казахстан за период с 2000 по 2019 гг. [3-6]. Показатели водопользования за многолетний период относятся к временным рядам, поэтому были первично исследованы на наличие тенденций и стационарность данных рядов.



Смежные регионы трансграничных бассейнов рек Урала и Иртыша

### ***Анализ результатов***

Трансграничными с Республикой Казахстан являются бассейны рр. Урала и Иртыша (включая Тобол, и Ишим), а истоки р. Иртыш – с Китаем. Российская

часть составляет более 70% площади этих бассейнов за исключением р.Ишим (где только 18% площади бассейна относится к территории России). К основным трансграничным рекам следует отнести крупные притоки Урала – Илек и Орь, Тобола – Убаган, большая часть стока которых формируется на территории Казахстана [7].

Общий объём притока по трансграничным рекам, формирующийся за пределами границы Российской Федерации превышает отток за пределы страны (в 2018 г. приток превысил отток в 7 раз). Существенный объём притока приходится на рр.Иртыш и Ишим с территории Казахстана (37, 9 км<sup>3</sup> в 2018 г.), а отток на р. Урал (4,4 км<sup>3</sup> в 2018 г.).

Регионы значительно различаются по обеспеченности водными ресурсами. Наименее обеспечены водными ресурсами регионы Республики Казахстан (табл.1).

Таблица 1

**Характеристика водообеспеченности и использования водных ресурсов в российско-казахстанском трансграничном регионе**

<i>Регион</i>	<i>Среднегодовой объём поверхностного стока (общий), км<sup>3</sup></i>	<i>Удельная обеспеченность общими водными ресурсами, тыс. м<sup>3</sup>/(год чел.)</i>	<i>Коэффициент использования местного стока в 2019 г.</i>	<i>Коэффициент использования общих водных ресурсов в 2019 г.</i>
<i>Российская Федерация</i>				
Курганская область	3,5	4,1	7,1	2,2
Омская область	41,3	20,9	3,0	0,4
Оренбургская область	12,7	6,3	22,0	13,0
Республика Башкортостан	34,2	8,4	3,1	2,2
Челябинская область	7,4	2,1	13,2	11,8
Тюменская область	583,7	161,5	0,1	0,2
<i>Республика Казахстан</i>				
Актюбинская область	3,25	3,6	7,0	6,1
Атырауская область	6,58	10,0	383,3	3,5
Западно-Казахстанская	8,73	13,2	14,0	2,7
Акмолинская область	1,54	1,8	5,3	5,1
Костанайская область	2,21	3,0	3,4	2,9
Северо-Казахстанская область	1,02	1,9	32,9	24,5
Павлодарская область	29,12	38,8	6012,0	10,3

Карагандинская область	1,78	1,3	93,5	89,8
Восточно-Казахстанская	35,65	26,1	2,0	1,6

Рассчитано автором по данным [3-6].

За 2000-2019 гг. в смежных регионах трансграничных речных бассейнов Урала и Иртыша общее водопотребление свежей воды сократилась на 12%, при этом для орошения и сельскохозяйственного водоснабжения на 18,6%, хозяйственно-питьевого и производственных нужд на 11,3% и 15,8% соответственно. В Российской Федерации за прошедшие 10 лет использование свежей воды уменьшилось на 25,6 %, а в Республике Казахстан – только на 5%. Структурных изменений в водопользовании не произошло, но существенно сократились объемы потребления по секторам экономики (табл. 2).

Таблица 2

**Тенденции в использовании водных ресурсов в российско-казахстанском трансграничном регионе с 2010 по 2019 гг.**

Регион	Изменение / Среднегодовой прирост (снижение)			
	Общее	Промышленное	Хозяйственно-питьевое	Орошение, с/х водоснабжение
<i>Российская Федерация</i>				
Республика Башкортостан	-25,5 / -3,1	5,0 / 0,6	-25,3 / -3,2	-44,2 / -6,2
Оренбургская область	-31,4 / -4	-46,3 / -5,8	-35,0 / -4,4	-46,7 / -5,1
Челябинская область	-45 / -5,8	-7,2 / 2,3	-32,9 / -4,2	-0,4 / 1,4
Тюменская область	5,5 / 0,6	-12,0 / -0,8	-16,5 / -1,5	-16,5 / -1,5
Курганская область	-14,9 / -0,8	-19,3 / -1	-36,9 / -4,9	-31,7 / -3,5
Омская область	-0,4 / 0,5	-24,3 / -2,7	-39,1 / -5,3	-36,0 / -4,4
<i>Республика Казахстан</i>				
Актюбинская область	-20,5 / 5.4	-52,0 / -3.9	-12,2 / -0.4	-82,7 / 19.7
Атырауская область	-16,0 / - 1.5	3,2 / 1.3	41,7 / 5.6	-31,2 / -1.9
Западно-Казахстанская	-48,2 / -0.8	-95,2 / 8.2	4,5 / 2	0,0 / 4.3
Костанайская область	8,2 / 1.1	11,1 / 2.1	-5,7 / -0.5	60,0 / 6.4
Акмолинская область	-12,2 / -0.1	55,6 / 5.9	66,7 / 7.1	-73,2 / -9.6
Северо-Казахстанская область	346,4 / 31.5	985,7 / 88.7	12,5 / 1.5	-78,9 / -14
Павлодарская область	1,5 / 1.2	-0,4 / 0.1	-11,1 / -1.27	9,5 / 24.6
Карагандинская область	-14,8 / -1.5	-19,0 / -1.9	-17,6 / -1.7	15,2 / 2.5
Восточно-Казахстанская	4,9 / -0.1	-10,4 / 1.5	-10,6 / 1.5	-74,8 / 16.4

Рассчитано автором по данным [3-6].

Наибольшие изменения произошли в промышленном водопользовании: в российских регионах водопотребление на данные нужды в основном

уменьшилось, кроме Республики Башкортостан. В регионах Республики Казахстан динамика разнонаправленная. Существенное увеличение производственного водопотребления отмечается в Северо-Казахстанской и Акмолинской областях. Аналогичная ситуация в тенденции хозяйственно-питьевого водоснабжения в субъектах РФ, где наблюдается общее сокращение водопотребления. В Казахстане из-за роста численности городского населения и развития сети централизованного водоснабжения населенных пунктов в Атырауской, Акмолинской и Северо-Казахстанской областях возросли объёмы хозяйственно-питьевого водопотребления. В орошении и сельскохозяйственном водоснабжении фиксируется общее снижение по обе стороны границы в использовании водных ресурсов за исключением Костанайской области.

### **Выводы**

В российско-казахстанском трансграничном регионе имеется сильная дифференциация территории по обеспеченности водными ресурсами и их использованию. В некоторых регионах водопотребление превышает ресурсы местного поверхностного стока и существенно зависит от транзитного перетока. Сложности возникают в маловодные периоды, когда увеличивается забор воды из транзитных рек и сокращается разбавления сточных вод в этих водотоках. Тенденции в использовании водных ресурсов показывают на фоне общего снижения водопотребления, имеются тренды увеличения и отмечены большие межгодовые колебания в их динамики. В программах социально-экономического развития регионов прогнозируется рост показателей промышленного и сельскохозяйственного производства, что отразится на увеличении текущего водопотребления.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания: "Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем" (AAAA-A21-121011190016-1).*

### **Библиографический список**

1. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, 2010. 232 с.
2. Водная стратегия РФ на период до 2020 года [Текст] офиц. текст от 27 августа 2009 года № 1235-р.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.
4. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. 2018 год. Водный кадастр Российской Федерации. Справочное издание. // СПб.: Росгидромет, ООО «Победа», 2019. 153 с.
5. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2008 году» – М.: НИА-Природа, 2009. – 457 с.

6. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019: Стат. сб. / Росстат - М., 2019. -1204 с.

7. Рыбкина И.Д., Сивохип Ж.Т. Водные ресурсы российско-казахстанского трансграничного региона и их использование // Юг России: экология, развитие. 2019. (doi: 10.18470/1992-1098-2019-2-70-86).

УДК 556.51.:502.131.1

Ж.Т. Сивохип, В.М. Павлейчик, [sivohip@mail.ru](mailto:sivohip@mail.ru)  
*Институт степи УрО РАН, г. Оренбург, Россия*

## **РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК СТЕПНОЙ ЗОНЫ**

Проведен анализ региональных особенностей водопользования с учетом современных тенденций изменения гидроклиматических условий в трансграничном бассейне р. Урал. Отмечена устойчивая тенденция роста экстремумов температуры летнего периода и выявлена тенденция сезонного распределения осадков – увеличение доли зимних осадков. Определены региональные особенности использования водных ресурсов в регионах трансграничного бассейна р. Урал. В заключение, отмечено, что в регионах трансграничного бассейна р.Урал приоритетной задачей является обеспечение экономически выгодного и экологически безопасного использования водных ресурсов.

*Ключевые слова:* водные ресурсы, трансграничный бассейн, водообеспеченность, структура водопотребления, эффективное водопользование

Zh.T. Sivokhip, V.M. Pavleychik, [sivohip@mail.ru](mailto:sivohip@mail.ru)  
*Institute of Steppe of UB RAS, Orenburg, Russia*

## **REGIONAL FEATURES OF WATER USE UNDER CONDITIONS OF WATER DEFICIENCY OF TRANSBOUNDARY RIVERS OF THE STEPPE ZONE**

The analysis of the regional features of water use, taking into account the current trends in the change of hydroclimatic conditions in the transboundary basin of the Ural River. A stable tendency for the temperature extremes of the summer period to grow is noted. Also revealed a tendency of seasonal distribution of precipitation - an increase in the proportion of winter precipitation. The regional features of the use of water resources in the regions of the transboundary basin of the Ural River. In conclusion, it was noted that the priority task is to ensure the economically beneficial and environmentally safe use of water resources in the regions of the transboundary basin of the Ural River.

*Keywords:* water resources, transboundary basin, water availability, water consumption structure, efficient water use

## ***Введение***

Гарантированное обеспечение водными ресурсами экономики и населения относится к числу важнейших задач устойчивого развития отдельных регионов и стран. Отметим, что на фоне наблюдаемых климатических изменений данная проблема особенно актуальна для регионов с недостаточным и неустойчивым увлажнением. К подобным территориям относится трансграничный бассейн реки Урал, значительная водосборная площадь которого расположена в пределах степной зоны Южного Урала и Прикаспия. Климатические условия степной зоны определяют значительную пространственно-временную неоднородность речного стока в многолетнем и сезонном аспектах. Так, к регионам с минимальными среднемноголетними значениями речного стока относятся – Челябинская (7,4 км<sup>3</sup>/год), Атырауская (6,6 км<sup>3</sup>/год) и Актыбинская (3,2 км<sup>3</sup>/год) области.

Согласно отчету Межправительственной группы экспертов, потепление климата является неоспоримым фактом и наиболее существенно прослеживается в течение последних 30-40 лет. В пределах Российской Федерации скорость потепления составляет более 0,45°С/10 лет и неодинакова в разных частях страны [4]. Отметим, что многолетние изменения климата обуславливают не только пространственно-временную вариативность речного стока, но и существенно снижает достоверность прогнозов. В связи с этим, проблемы эффективного использования водных ресурсов в вододефицитных регионах максимально актуализированы не только водохозяйственными аспектами, но и гидроклиматической спецификой водосборных территорий [7].

## ***Материалы и методы исследования***

Для установления региональных закономерностей изменения климатических условий и их направленности проведен расчет коэффициента линейного тренда. Отдельно проведен расчет отклонений среднегодовых температур воздуха от нормы за 1961-1990 гг. В качестве исходных данных для исследования региональных особенностей водопользования использованы сведения об использовании и охране водных ресурсов в регионах Российской Федерации и Республики Казахстан [3; 6].

## ***Результаты и их обсуждение***

Наблюдаемая трансформация климата сопровождается изменением частоты экстремальных погодно-климатических явлений. 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 [5]. На основе анализа статистических параметров июльских экстремумов приземной температуры в гг. Оренбург и Актобе установлено - 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, и соответственно увеличение количества солнечных дней. Полученные результаты соответствуют современным тенденциям



увеличения числа дней с аномально высокой температурой для большей части Европейской России (за исключением зимы) [2]. Кроме того, установлена устойчивая тенденции сезонного перераспределения количества осадков в трансграничном бассейне р. Урал, что также соответствует современным изменениям климата в пределах Европейской территории России.

Как отмечено выше, распределение водных ресурсов в пределах трансграничного бассейна р. Урал характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью (табл.1), что, несомненно, влияет на показатели водобеспеченности регионов.

Таблица 1

**Характеристика поверхностного стока рек трансграничного бассейна р. Урал**

<i>Река – створ</i>	<i>S, км<sup>2</sup></i>	<i>W, км<sup>3</sup></i>	<i>Расход, м<sup>3</sup>/с, обеспеченностью %</i>			<i>C<sub>v</sub></i>
			<i>5</i>	<i>50</i>	<i>95</i>	
Урал (Оренбург)	82300	2,02	269,7	122,0	31,9	0,73
Урал (Кушум)	188000	8,01	655,0	251,1	112,0	0,64
Илек (Веселый)	17200	0,07	46,0	17,2	5,1	0,77
Орь (Истемес)	13000	0,04	15,0	5,1	0,4	0,73

Кроме того, обеспеченность водными ресурсами напрямую зависит от социально-экономической обстановки – динамики численности населения, технологических инноваций в производстве, структуры водопотребления и др. На основе расчета коэффициента использования водных ресурсов и удельной водобеспеченности определены регионы со сложной водохозяйственной обстановкой – Оренбургская, Челябинская и Актыбинская области. Для данных регионов характерна умеренная нагрузка на водные ресурсы ( $K=5-15\%$ ) и низкие показатели удельной водобеспеченности (1700-4700 м<sup>3</sup>/год/чел.).

Современная структура водопотребления в исследуемом бассейне подтверждает наличие региональных особенностей в использовании водных ресурсов (табл. 2).

В пределах субъектов РФ основная доля водных ресурсов расходуется на производственные и коммунальные нужды, минимальная – на нужды сельского хозяйства. Обращает внимание значительная доля оборотной воды в российских регионах – 60-90%, что подтверждает достаточно эффективное использование водных ресурсов в различных секторах экономики. Произошло значительное сокращение забора воды (более чем в 10 раз) на сельскохозяйственные нужды.

**Структура водопотребления в регионах трансграничного  
бассейна р. Урал**

Область	$W_{вп}$ , млн м <sup>3</sup>	$W_{об}$ , %	$W_{св}$ , млн м <sup>3</sup>	В том числе на нужды, %		
				П	К	С/Х
Оренбургская	2710	64	979	88	8	0.9
Челябинская	7359	92	567	54	38	0.2
Зап.-Казахст.	627	1	623	12	21	18
Актюбинская	749	4	717	13	35	13
Атырауская	419	47	222	41	10	31

$W_{вп}$  – объем суммарного водопотребления;  $W_{об}$  – доля оборотной воды;  $W_{св}$  – объем свежей воды; П – производственный сектор; К – коммунальное хозяйство; С/Х – сельское хозяйство

Структура водопотребления казахстанских регионов характеризуется преобладанием расходом воды на производственные и коммунальные нужды, кроме Атырауской области, которая отличается значительной долей сельскохозяйственного водопотребления. Следует отметить, традиционно высокую долю использования воды на нужды орошения в пределах казахстанских регионов, что влияет на сохранение значительной доли безвозвратного изъятия водных ресурсов. Так, в 80-е гг. в пределах нижнего течения р. Урал, на участке протяженностью 800 км насчитывалось 50 водозаборных каналов, включая оросительную систему из Кушумского канала с суммарным водозабором 35,7 м<sup>3</sup>/с [1].

Еще одним из секторов водопользования, влияющего на показатели безвозвратной потери водных ресурсов, является регулирование стока, которое в условиях многолетних и сезонных колебаний водного режима рек имеет важное значение для гарантированного водообеспечения. Отличительной чертой строительства гидроузлов в бассейне р. Урал является расположение крупнейших водохранилищ в пределах главной реки (Верхнеуральское, Магнитогорское и Ириклинское водохранилища). Полные объемы данных гидротехнических сооружений, расположенных в лесостепной зоне и на стыке лесостепной и степной зон, составляют 0,60, 0,19 и 3,26 км<sup>3</sup> соответственно, что равно 96% общего объема водоемов всего бассейна р. Урал.

Показатели водообеспеченности в одинаковой мере зависят не только от количественных характеристик водных ресурсов, но и от их качественного состояния. Отдельные участки р.Урал и крупных притоков характеризуются значительной степенью техногенной метаморфизация химического состава речной воды. Максимальным разнообразием загрязняющих веществ (медь, цинк, сульфаты, азот нитритный, фосфаты и др.) характеризуются верховые участки исследуемого бассейна. В среднем течении исследуемого бассейна наиболее сложная эколого-гидрохимическая обстановка наблюдается в районе крупных промузлов – Орско-Новотроицкого, Актюбинского и Оренбургского.

Основными загрязняющими веществами, характерными для данного гидрографического участка являются соединения тяжелых металлов (меди); азота аммонийного, нитритного и нитратного; нефтепродукты; хлорорганические пестициды и др. В пределах Актюбинского промышленного узла (верховья р. Илек) традиционной проблемой является высокая концентрация шестивалентного хрома и бора. По данным [6] кратность превышения ПДК по бору составила – 15,8, по шестивалентному хрому – 4,9 в 2018 году.

### **Выводы**

С учетом многолетних колебаний речного стока и техногенной метаморфизации качественного состава речных вод, в трансграничных бассейнах степной зоны актуальной проблемой остается гарантированное обеспечение водными ресурсами. В первую очередь, это относится к регионам с низкой водообеспеченностью и значительным коэффициентом нагрузки на водные ресурсы. Соответственно, одной из приоритетных задач устойчивого развития трансграничных регионов является обеспечение экономически выгодного и экологически безопасного использования водных ресурсов. Решение данных задач осложняется стохастичным характером природных процессов, что осложняет оценку не только современного состояния водных ресурсов, но и их прогнозируемых изменений.

*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».*

### **Библиографический список**

1. Абдрахимов Р.Г., Чигринцев А.Г. Проблемы оценки влияния хозяйственной деятельности на сток рек Западного Казахстана // Гидрометеорология и экология. Алматы, 2009. № 1. С. 18–22.
2. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков для территории РФ и ее регионов // <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/196>.
3. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2017 году (Статистический сборник) / Под. ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко, А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа, 2018. 230 с.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата на территории РФ, 2014 // <http://www.meteorf.ru>.
5. 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.

6. Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Казахстана в 2013-2017 гг. (Статистический сборник) / Под ред. Н.С. Айдапкелова. Астана, 2018. 123 с.

7. Рыбкина И.Д., Сивохин Ж.Т. Водные ресурсы Российско-Казахстанского трансграничного региона и их использование // Юг России: экология, развитие, №2. С.70-86.

УДК 627.42

А.Р. Хафизов, И.З. Гайсин, А.Ф. Хазипова, Л.А. Камалетдинова, А.В. Комиссаров, Р.А. Низамова, [bashniivh@mail.ru](mailto:bashniivh@mail.ru)

*Российский научно – исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Башкирский филиал, г. Уфа, Россия*

## **СОВРЕМЕННОЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ БАСЕЙНА РЕКИ УРАЛ**

Рассмотрены водохранилища, находящихся на территории бассейна реки Урал, их характеристики, расположение, распределение по субъектам, а также современное состояние и влияние на сток.

*Ключевые слова:* река Урал, крупные водохранилища, мелкие водохранилища, зарегулированность стока, Ириклинское водохранилище.

A. Khafizov, I. Gaysin, A. Khazipova, L. Kamaletdinova,  
A. Komissarov, R. Nizamova, [bashniivh@mail.ru](mailto:bashniivh@mail.ru)  
*Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection  
Bashkir Branch, Ufa, Russia*

## **CURRENT WATER MANAGEMENT STATUS OF RESERVOIRS IN THE URAL RIVER BASIN**

This article discusses the reservoirs located in the territory of the Ural River basin, their characteristics, location, distribution by subject, as well as the current state and impact on the flow.

*Keywords:* Ural River, large reservoirs, small reservoirs, flow regulation, Iriklin sky reservoir.

### ***Введение***

Река Урал представляет собой трансграничный водный объект, протекающий по территории Российской Федерации (РФ) и Республики Казахстан (РК). Бассейн реки Урал в пределах РФ охватывает три субъекта: Челябинскую и Оренбургскую области, Республику Башкортостан.

По данным [1] длина р. Урал составляет 1446 км, частная площадь бассейна в пределах границ Российской Федерации 124900 км<sup>2</sup>. Наиболее крупными притоками являются рр. Сакмара, Таналык, Сундук, Орь, Большой Кумак, Чаган, Блява, Большой Ик, Илек и др.[2].

Основной фазой режима стока для подавляющего большинства рек бассейна является весеннее половодье (апрель–май), во время которого проходит 60-80%, а иногда до 96% годового стока, что связано с преимущественным снеговым питанием рек. В то же время, благодаря разнообразию физико-географических условий, удельный вес половодья различен по территории бассейна [3]. Учитывая высокую неравномерность стока в течение года, бассейн р. Урал характеризуется довольно высокой степенью зарегулирования стока.

### ***Материалы и методы исследования***

Современное водохозяйственное состояние водохранилищ изучено на основании следующих данных и материалов: Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна реки Урал (Российская часть) 2014г. и откорректированная Книга 4 СКИОВО (Водохозяйственные балансы) 2020 г.

### ***Анализ результатов***

В бассейне р. Урал (на территории РФ) размещаются 13 водохранилищ объемом более 10 млн м<sup>3</sup> (далее крупные водохранилища), среди них Ириклинское (объемом 3260 млн м<sup>3</sup>), Магнитогорское (объемом 174,0 млн м<sup>3</sup>), Верхне-Уральское (объемом 601 млн м<sup>3</sup>) водохранилища. Также имеются 129 водохранилищ объемом меньше 10 млн м<sup>3</sup> (далее мелкие водохранилища). Распределение водохранилищ и прудов бассейна реки Урал по субъектам РФ и их полные объемы приведены в таблице.

На территории Челябинской области расположено 3 крупных водохранилища: Верхне-Уральское и Магнитогорское водохранилища, пруд Хрустальный (суммарный объем которых составляет 790,7 млн м<sup>3</sup>). В мелких водохранилищах и прудах накоплено 73,7 млн м<sup>3</sup> [4].

Сравнение суммарных полных объемов всех прудов и водохранилищ на территории Челябинской области с аналогичными объемами крупных водохранилищ показало, что объем воды в основном аккумулируется в крупных водохранилищах, на которые приходится 92% от суммарного полного объема воды. Самым большим водохранилищем является Верхне-Уральское, аккумулирующее 70% воды от всего объема воды в прудах и водохранилищах бассейна р.Урал в пределах Челябинской области.

На территории Оренбургской области насчитывается пять крупных водохранилищ: Ириклинское, Красночабанское, Черновское, Кумакское, Красновское водохранилища с суммарным полным объемом воды – 3427,6 млн м<sup>3</sup>. Так же эксплуатируются 84 водохранилища меньшим объемом и 584 пруда (суммарный полный объем воды – 272,1 млн м<sup>3</sup>) [5].

Таблица

**Распределение водохранилищ и прудов бассейна реки Урал по субъектам РФ и их полные объемы**

Субъект РФ	Пруды до 1 млн м <sup>3</sup>		Водохранилища до 10 млн м <sup>3</sup>		Водохранилища более 10 млн м <sup>3</sup>		Всего	
	кол-во, шт.	объем полный, млн м <sup>3</sup>	кол-во, шт.	объем полный, млн м <sup>3</sup>	кол-во, шт.	объем полный, млн м <sup>3</sup>	кол-во, шт.	объем полный, млн м <sup>3</sup>
Оренбургская область	584	88,3	84	183,8	5	3427,6	673	3699,7
Челябинская область	54	12,7	21	61,0	3	790,7	78	864,4
Республика Башкортостан	36	15,0	24	61,5	5	133,7	65	210,2
Итого по бассейну реки Урал	674	116,0	129	306,3	13	4352,0	816	4774,3

Самое крупное водохранилище – Ириклинское (полный объем – 3,26 млрд м<sup>3</sup>), аккумулирующее 88% воды всех прудов и водохранилищ бассейна р.Урал на территории Оренбургской области. Распределение воды между крупными и мелкими водохранилищами – аналогично Челябинской области, где основной объем воды аккумулирован в крупных водохранилищах. Для Оренбургской области это соотношение составляет 93%.

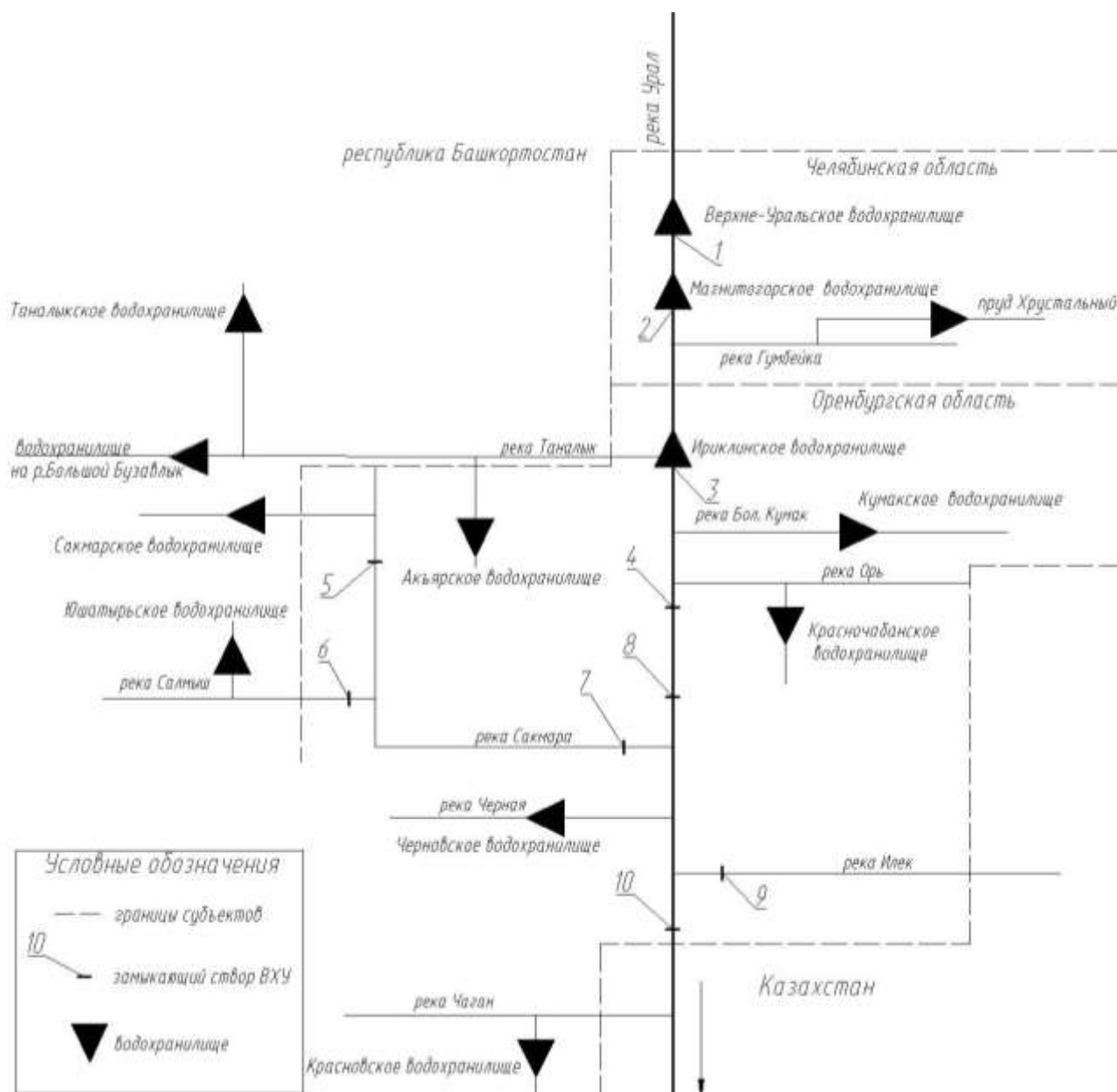
В пределах Республики Башкортостан построено 5 крупных водохранилищ с суммарным полным объемом 133,7 млн м<sup>3</sup>: Акъярское, Юшатырское, Сакмарское, Таналыкское и водохранилище на реке Большой Бузавлык. Водохранилища меньшими размерами и пруды аккумулируют воду с суммарным полным объемом 76,5 млн м<sup>3</sup>.

Одним из крупных водохранилищ является Акъярское с полным объемом 49,5 млн м<sup>3</sup>. На его долю приходится 24% аккумулированной воды в прудах и водохранилищах бассейна реки Урал на территории Республики Башкортостан. Так же, к крупным водохранилищам относятся: Сакмарское (объемом 26,1млн м<sup>3</sup>) и Юшатырское (объемом 32 млн м<sup>3</sup>). Соотношение суммарного полного объема крупных водохранилищ к суммарному объему всех водохранилищ и прудов составляет 64%, что по сравнению с Оренбургской и Челябинской областью ниже, где этот показатель выше 91%.

Объем аккумулированной воды в водохранилищах и прудах по субъектам распределено неравномерно, так на Оренбургскую область приходится 77,5% от всего объема аккумулированной воды (4 352 млн м<sup>3</sup>), Челябинской области – 18%, Республике Башкортостан – 4%.

В пределах водно-хозяйственных участков (далее ВХУ) водохранилища выполняют важные водохозяйственные функции. Водохранилища и пруды

перераспределяют сток воды непосредственно на ВХУ и влияют на водность рек ВХУ, расположенных ниже их створов. В настоящее время бассейн реки Урал в пределах РФ подразделен на 10 ВХУ (рисунок).



Линейная водохозяйственная схема бассейна реки Урал

Анализ параметров водохранилищ и прудов на ВХУ показал, что:

- с 001 по 006 ВХУ вода аккумулируется в крупных водохранилищах;
- на 003 ВХУ в пяти водохранилищах (в том числе Ириклинском) аккумулируется самый большой объем воды бассейна реки Урал;
- на 001-004,010 ВХУ суммарный объем аккумулированной воды в водохранилищах составляет более 100 млн м<sup>3</sup>, больше всего на ВХУ 001 и 003;
- на 005-007,009 ВХУ объем аккумулированной воды в водохранилищах и прудах составляет менее 30 млн м<sup>3</sup>;

- на 007 и 008 ВХУ имеются только мелкие водохранилища;
- на ВХУ 010 суммарный объем крупных водохранилищ уступает мелким водохранилищам.

### **Общие выводы**

1. В бассейне реки Урал построено 13 крупных водохранилищ суммарным полным объемом 4,352 млрд м<sup>3</sup>, 129 мелких водохранилищ объемом 306,3 млн м<sup>3</sup> и 674 прудов объемом 116,0 млн м<sup>3</sup>.

2. Объем, аккумулированный воды в водохранилищах и прудах по субъектам, распределен неравномерно: на Оренбургскую область приходится 78%, Челябинскую область – 18%, Республику Башкортостан – 4% аккумулированной воды в бассейне реки Урал.

3. По крупным водохранилищам наблюдается аналогичная картина: на Оренбургскую область приходится 93% (самое крупное – Ириклинское водохранилище объемом 3260 млн м<sup>3</sup>), Челябинскую область – 91% (самое крупное – Верхне-Уральское водохранилище объемом 601 млн м<sup>3</sup>), Республику Башкортостан - 64% (самое крупное - Акъярское водохранилище объемом 49 млн м<sup>3</sup>) аккумулированной воды в крупных водохранилищах в бассейне реки Урал.

4. Особенности зарегулированности стока водохранилищами и прудами по водохозяйственным участкам (ВХУ) следующая:

- на ВХУ 003 (участок реки Урал от Магнитогорского гидроузла до Ириклинского гидроузла) сток значительно зарегулирован пятью крупными водохранилищами (объемом 3351,3 млн м<sup>3</sup> или 70% аккумулированной воды в бассейне реки Урал);

- на ВХУ 007-009 (участки: река Сакмара от впадения реки Большой Ик до устья, река Урал от г. Орска до впадения реки Сакмара, река Илек) сток практически не зарегулирован (объем аккумулированной воды во всех водохранилищах и прудах менее 65 млн м<sup>3</sup>).

### **Заключение**

Таким образом, анализ современного водохозяйственного состояния водохранилищ по субъектам РФ и ВХУ показал неравномерность их территориального распределения и регулирующих возможностей (аккумулирующих объемов). В настоящее время для гарантированного водоснабжения водопотребителей нижних ВХУ бассейна реки Урал (ВХУ 008-010) и обеспечения экологического стока в Республику Казахстан необходимо осуществить совместное-сквозное регулирование всех водохранилищ и прудов, расположенных верхних ВХУ.

### **Библиографический список**

1. *Водохозяйственное районирование*. Центр регистра и кадастра. URL: [www.gis.waterinfo.ru](http://www.gis.waterinfo.ru)
2. *Вода России*. Речные бассейны. Екатеринбург, 2000. 536 с.



3. *Гареев А.М., Фатхутдинова Р.Ш.* Гидролого-экологическая характеристика бассейна реки Урал (в пределах Российской Федерации) // ЧИСТАЯ ВОДА РОССИИ: сб. материалов XIII Междунар. науч.-практ. симпозиума и выставки. Екатеринбург, 2015. С. 76–82.

4. *Схема* комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Урал (Российская часть). Волгоград: Нижне-Волжское БВУ, 2014. 226 с.

5. *Чибилёв А.А.* Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург: УрОРАН, 2008. 312 с.

# КАЧЕСТВО ВОДЫ

УДК 556

М.М. Базова, [mm.bazova@yandex.ru](mailto:mm.bazova@yandex.ru)

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва, Россия*

## **ФОСФОРНАЯ НАГРУЗКА В УСЛОВНО-ФОНОВЫХ ОЗЕРАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ (ОТ ТУНДРОВОЙ ДО СТЕПНОЙ ЗОНЫ)**

Рассмотрены факторы формирования фосфорной нагрузки на озера различных ландшафтов (от тундровой до степной зоны). Озера тундровой, средне- и южнотаежной и степной зон характеризуются невысоким уровнем трофии (мезотрофные), озеро, расположенное в зоне широколиственных лесов и в степной – высоким (эвтрофные). Ключевым фактором, определяющим трофический статус озер, является зональность. Рассчитаны и проанализированы фактические фосфорные нагрузки в озерах в период осенней гомотермии относительно критических нагрузок в период весеннего перемешивания.

*Ключевые слова:* малые озера, фосфорные нагрузки, внешние факторы среды, водосборный бассейн.

М.М. Bazova, [mm.bazova@yandex.ru](mailto:mm.bazova@yandex.ru)

*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS,  
Moscow, Russia*

## **PHOSPHORIC LOAD IN THE CONDITIONAL BACKGROUND LAKES OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA (FROM THE TUNDRA TO THE STEPPE ZONE)**

Factors of formation of phosphorus load on lakes of various landscapes (from tundra to steppe zone) are considered. The lakes of the tundra, middle and southern taiga and steppe zones are characterized by a low level of trophy (mesotrophic), the lake located in the zone of deciduous forests and in the steppe zone is high (eutrophic). Zoning is a key factor determining the trophic status of lakes. The actual phosphorus loads in lakes during the period of autumn homothermy were calculated and analyzed in relation to the critical loads during the period of spring mixing.

*Keywords:* small lakes, phosphorus loads, external environmental factors, drainage basin.

### ***Введение***

В начале XX в. совокупное влияние увеличения численности людей и антропогенной деятельности привели к существенным изменениям глобального цикла потоков химических элементов, а именно антропогенным трансформациям биогеохимических циклов азота и фосфора. С точки зрения геохимии, наибольшие изменения миграционных потоков происходят для фосфора – одного из главных элементов, контролирующих продуктивность водных экосистем [4]. Фосфор участвует как в природных геохимических и биохимических процессах, так и в процессах техногенеза. Естественное поступление фосфора в водные системы зависит от продукции наземной

растительности и определяется внешними факторами среды – количеством осадков, испарением и температурой [11]. Антропогенные источниками загрязнения являются точечные (коммунально-бытовые стоки) [9] и диффузные источники (смыв с сельскохозяйственных угодий минеральных и органических удобрений) [10]. Основной вклад в усиление антропогенной миграции фосфора представляет производство и применение фосфорных удобрений, а также производство синтетических веществ [12]. В условно-фоновых водных объектах эвтрофирование связано с накоплением в водной толще соединений фосфора и азота. Главной причиной повышения трофности в водных объектах является их не рациональное использование человеком. В этой связи выделяется антропогенный тип эвтрофирования. В естественных условиях процесс эвтрофирования протекает со скоростью в десятки раз меньше. Целью работы являлось выявление сходств и различий в формировании фосфорной нагрузки в условно-фоновых озерах, оценка трофического статуса озер.

### ***Материалы и методы исследования***

В статье приведены результаты исследований 6 озер, расположенных на Европейской территории России (ЕТР), от тундровой до степной зоны. Исследованные озера существенно различаются по ряду морфометрических параметров, а именно: средняя глубина варьируется от 1,5 до 16 м, площадь удельного водосбора – от 7,5 до 200, модуль стока – от 2 до 13 л/сек\*м<sup>2</sup>; по ландшафтным показателям: заболоченность варьирует от 0 до 88 %, залесенность – от 7 до 79 %; по климатическим параметрам: сумма активных температур – от 400 до 2500, годовая сумма осадков – от 264 до 771 мм, испарение с водной поверхности – от 273 до 598 мм/год. *Оз. Кийявр* расположено в 26,4 км на юг от с.п. Териберка на северо-востоке Мурманской области. Территория водосборной площади по типу ландшафтов относится к тундровой зоне, берега озера невысокие, каменистые, местами встречаются заболоченные участки [3]. *Топозеро* находится в среднетаежной зоне Лоухского района на территории Республики Карелия. Водные ресурсы озера активно используются в гидроэнергетике (Ковдинский каскад ГЭС), промысловом и любительском рыболовстве [7]. *Пяжозеро* расположено на юге таежной зоны в Бабаевском административном районе Вологодской области. Для ландшафта характерен замедленный поверхностный сток, наибольшую площадь занимают хвойные и болотные леса, 1/10 территории занимают переходные и низинные болота [1]. На оз. *Глубокое*, расположенное на территории Тверской области, оказывают антропогенную нагрузку сельскохозяйственные угодья и база отдыха [6]. *Пляжное озеро* расположено на территории Самарской области, является южной оконечностью в цепи Васильевских озер, расположенных по древнему руслу Волги. Ландшафтная структура представлена светло-желтыми и желто-бурыми песками с прослоями суглинков и супесей [2]. *Кравцово озеро* – реликтовое озеро на территории г. Ставрополя. В засушливые годы мелеет и превращается в болото, меняется растительность, а в дождливые – восстанавливается [5].

Отбор проб проводился в 2005 г. в осенний период, характеризующийся затуханием вегетационных процессов, гомотермией и отсутствием стратификации: тундрово-таежная зона (оз. Кийявр, Топозеро, Пяжозеро) –

конец августа-конец сентября, смешанные леса (оз. Глубокое) – конец сентября, лесостепная и степная зоны (оз. Пляжное и Кравцово) – конец октября. В исследования включались озера, не подверженные каким-либо прямым источникам загрязнения, площадь водного зеркала которых варьировалась от 0,04 до 11,2 км<sup>2</sup>. Анализ и обобщение материалов выполнены по единым методикам и рекомендациям ICP – Water программы [12] в лабораториях Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН) и Института водных проблем РАН. Аналитическая программа работ включала в себя определение содержания общего фосфора (TP), фосфатов (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), хлорофилла «а».

### **Анализ результатов**

#### **Характеристика трофического статуса озер**

Для оценки трофического статуса озер были применен интегральный индекс Р. Карлсона TSI [8], который состоит из субиндексов, включающих в себя прозрачность, содержание общего фосфора, фосфатов, хлорофилла «а» и рассчитывается с использованием следующих формул:

$$TSI = TSI(S) + 2 \times \left[ \frac{TSI(TP) + TSI(PO_4) + TSI(Chla)}{3} \right]$$

$$TSI(S) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{0.64 + \ln S}{\ln 2} \right) \right)$$

$$TSI(TP) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{\ln \left( \frac{80.32}{TP} \right)}{\ln 2} \right) \right)$$

$$TSI(PO_4) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{\ln \left( \frac{21.67}{PO_4} \right)}{\ln 2} \right) \right)$$

$$TSI(Chla) = 10 \times \left( 6 - \left( \frac{2.04 - -0.695 \ln Chla}{\ln 2} \right) \right)$$

Таблица 1

**Значения индекса Карлсона и трофический статус озер**

Показатель	Кийявр	Топозеро	Пяжозеро	Глубокое	Пляжное	Кравцово
TSI(S)	43	43	42	46	35	44
TSI(TP)	31	34	35	41	33	47
TSI(PO <sub>4</sub> )	4.4	4.4	4.4	0.9	1.5	4.4
TSI(Chla)	3.8	4.0	4.1	4.6	3.9	5.2
TSI	54	54	54	59	46	60
Трофический статус	мезотрофный	мезотрофный	мезотрофный	эвтрофный	мезотрофный	эвтрофный

#### **Сравнение фактических и критических фосфорных нагрузок в исследуемых озерах**

Для оценки влияния фосфора, поступающего в водоем с водосборной площади на переход экосистемы с одного уровня трофии на другой, Фолленвейдер [14] предложил уравнение для расчета критической фосфорной нагрузки:

$$L_{кр}=25L_w \cdot (1+T_w^{0.5}) ,$$

где 25 – критическая концентрация фосфора в озере в период весеннего перемешивания, мкг/л;  $T_w$  – время полного водообмена озера, год;  $L_w$  – водная нагрузка на водоем, м/год (отношение средней глубины озера к условному числу лет, необходимому для полного водообмена в озере).

Из табл. 2 видно, что в озерах Кийявр, Топозеро, Пяжозеро и Пляжное не выявлено превышения фосфорной нагрузки в период осенней гомотермии, по сравнению с периодом весеннего перемешивания.

Таблица 2

### Фактические и критические фосфорные нагрузки озёр, имеющих различные морфометрические показатели

Озеро	Морфометрические показатели			Фосфорная нагрузка				Содержание общего фосфора	Площадь водосбор- ного бассейна
	Средняя глубина, м	Время полного водообме- на, лет	Водная нагрузка на водоем, м/год	критическая		фактическая			
				тонн	г/(м <sup>2</sup> ·год)	тонн	г/(м <sup>2</sup> ·год)		
Кийявр	8.5	2.73	3.11	17.4	0.21	7.56	0.09	11	84.4
Топозеро	16	5.43	2.95	9.0	0.25	4.67	0.13	13	36.84
Пяжозеро	2.5	1.06	2.36	10.5	0.12	5.9	0.07	14	88
Глубокое	4.8	3.27	1.47	4.1	0.10	3.47	0.09	21	40
Пляжное	3.0	4.70	0.64	0.06	0.05	0.02	0.03	12	1.2
Кравцово	2.5	0.20	12.60	3.6	0.46	4.81	0.60	33	8

В озере Пляжное значения как в осенний, так и весенний период были практически одинаковыми. В озере Кравцово получено превышение критической нагрузки, которое зависит от климатических особенностей конкретного года, то есть в засушливые годы оно мелеет и превращается в болото, меняется растительность, а в дождливые – озеро восстанавливается.

#### Выводы

В условиях зональности от тундровой до степной зоны рассмотрены особенности формирования потоков фосфора и биопродуктивности озёр. В условиях отсутствия или минимальной антропогенной нагрузки поступление фосфора и биопродуктивность определяются совокупностью факторов: климатические, ландшафтные, морфометрические и гидрохимические. Рассчитанные индексы трофности показали, что озера тундровой, средне-и южнотаежной и лесостепной зон являются продуктивными (мезотрофными). Озера, расположенные в зоне широколиственных лесов и степной, относятся к эвтрофному типу, то есть более продуктивные. Расчеты критических фосфорных нагрузок показали, что в озерах Кийявр, Топозеро, Пяжозеро и Глубокое значения фактических фосфорных нагрузок не превышены. В озере Кравцово, расположенное в южных широтах, превышение критической фосфорной нагрузки определяется климатическими особенностями года. Таким образом, климатические факторы и связанные с ним характеристики определяют потоки фосфора и степень трофического статуса озёр.

## Библиографический список

1. Воробьев Г.А. Природа Вологодской области. Вологда: «Издательский Дом Вологжанин». 2007. 440 с.
2. Горелик Д.О., Ишанин Г.Г., Конопелько Л.А., Хворов Г.В., Розенберг Г.С. и др. Экологический атлас г. Тольятти. СПб.: НПО «Мониторинг». 1996.
3. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Валькова С.А. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: восточная часть Мурманской области (бассейн Баренцева моря). В 2 ч. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН. Ч.2. 2010. 128 с.
4. Коплан-Дикс И.С., Алексеев В.Л. Изменение роли природных и антропогенных процессов в развитии эвтрофирования континентальных вод // Экология. 1985. Т 5. С. 20 -23.
5. Куксова М.А., Арустамова С.Н., Олимова Л.С. Оценка экологической обстановки Кравцова озера. Актуальные проблемы обеспечения безопасности в техносфере и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: сб. научных трудов по материалам Всерос. научно-практ. конф., посвященной 15-летию основания кафедры "Защита в чрезвычайных ситуациях". Ставрополь: Изд. Дом «Тэсра». 2016. С. 154-156.
6. Мидоренко Д.А., Краснов В.С. Мониторинг водных ресурсов: учеб. пособ. Тверь: Твер. гос. ун-т. 2009. 77 с.
7. Озера Карелии. Справочник (Под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева) Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2013. 464 с.
8. Carlson R.E. A trophic state index for lakes. Limnology and oceanography 1977. V. 22 № 1. P.361-369.
9. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y. Global anthropogenic phosphorus loads to freshwater and associated grey water footprints and water pollution levels: A highresolution global study. Water Resour. Res. 2017. V. 53. P.1-14.
10. Mor ee A.L., Beusen A.H.W., Bouwman A.F., Willems W.J. Exploring global nitrogen and phosphorus flows in urban wastes during the twentieth century. Global Biogeochem. Cycles. 2013. V. 27. P.836–846.
11. Smil V. Phosphorus in the environment: Natural flows and human interferences. Annual Review of Energy and the Environment. 2000. V. 25 № 1. P.53–88.
12. Standart methods for the examination of water and wastewater. Wash. (D.C.): Amer. Publ. Health Assoc.1992.
13. Vitousek P. M., Naylor R., Crews T., David M.B., Drinkwater L.E., Holland, E., Zhang F.S. Nutrient imbalances in agricultural development. Science. 2009. V. 324. № 5934. P.1519–1520.
14. Vollenweider R.A. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Met . Ist. Iatal. Idrobiol. 1976. V.33. P.53-83. Ch. 8-9.

В.Ф. Бреховских, З.В. Волкова, Е.Р. Кременецкая, Д.В. Ломова  
[zinaL@bk.ru](mailto:zinaL@bk.ru)

*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ АНОКСИДНЫХ УСЛОВИЙ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ**

Приведены данные о формировании анаэробных зон на ряде водных объектов Европейской России и определяющих их факторах. Получены зависимости характеристик анаэробных зон от глубины, градиента температуры в слое скачка, трофического статуса, обменных процессов на границе вода – донные отложения и антропогенного влияния на объекты.

*Ключевые слова:* качество вод, аноксидные условия, стратификация, морфометрические, гидрофизические, антропогенные факторы.

V.F.Brekhovskikh, Z.V.Volkova, E.R.Kremenetskaya, D.V.Lomova  
[zinaL@bk.ru](mailto:zinaL@bk.ru)

*Institute of Water Problems of RAS, Moscow, Russia*

## **FACTORS OF FORMATION OF ANOXIC CONDINIONS IN WATER BODIES OF THE EUROPEAN RUSSIA**

The data on the formation of anaerobic zones on a number of water bodies in European Russia and their determining factors are summarized. The dependences of the characteristics of anaerobic zones on the depth, temperature gradient in the jump layer, trophic status, and metabolic processes at the water-bottom sediment boundary are obtained.

*Keywords:* water quality, anoxia conditions, stratification, morphometric, hydrophysical, antropogenical factors.

### ***Введение***

Содержание в воде растворенного кислорода является важным показателем качества водной среды и экологического состояния водного объекта. Наиболее характерно формирование аноксидных условий, приводящих к снижению качества вод, для малопроточных водоемов – озер и водохранилищ, однако оно отмечено и на участках речных систем, подверженных значительному антропогенному воздействию [1]. Для решения водоохранных задач и восстановления качества вод этих объектов, необходимы исследования основных факторов, способствующих формированию заморных условий.

*Целью работы* является: рассмотрение условий формирования аноксидных зон в водных объектах Европейской части России на основе изучения внутриводоемных процессов. Объектами исследований являются Можайское, Озернинское, Иваньковское водохранилища, озеро Селигер, р. Сев. Двина.

### ***Материалы и методы исследования***

В работе использованы методы натурных исследований, анализа литературных источников, статистические подходы и методы математического моделирования. Для анализа кислородного режима оз. Селигер использованы данные гидрологических, гидрохимических, гидробиологических исследований 1997, 2000-2001 гг. Для Можайского водохранилища – многолетние данные наблюдений за ходом продукционно–деструкционных процессов в период 1990-2020 гг. Для р. Сев. Двина – данные мониторинга за 1949-1999, 2003-2018 гг.

### ***Результаты и их обсуждение***

На основе обобщения и анализа содержания растворенного в воде кислорода установлена роль гидрологических, морфометрических, климатических и антропогенных факторов в формировании аноксидных условий на рассматриваемых объектах.

Обобщение данных о заморных условиях на оз. Селигер показало усиление эвтрофирования озера к 1990-2000 гг. Для анализа условий формирования дефицита кислорода в озере и получения оценки толщины аноксидного слоя, ее связи с определяющими факторами использованы материалы летних наблюдений ИВП РАН на 36 промерных вертикалях, равномерно расположенных на 3 участках, центральные зоны которых соответствуют Осташковскому, Березовскому и Сосницкому плесам [2].

Основными факторами, определяющими формирование аноксидного слоя в озере, являются: летняя стратификация и образование термоклина, который препятствует проникновению кислорода в нижележащие слои, а также окислительно-восстановительные биохимические процессы в толще воды и в донных отложениях, способствующие снижению содержания  $O_2$  в гипolimнионе.

Анализ изменения относительной толщины слоя с дефицитом кислорода  $Z_d/Z_{общ}$  на различных участках оз. Селигер свидетельствует, что наиболее неблагоприятные условия характерны для Осташковского плеса.  $Z_d/Z_{общ}$  здесь достигает 0,62; для Березовского плеса он равен 0,53. Между тем как на Сосницком плесе он составляет 0,14. По данным наблюдений отмечены большие различия в концентрациях  $O_2$  в поверхностном и придонном слоях. В гипolimнионе на всех вертикалях глубиной 12-16 м наблюдался дефицит кислорода. При этом наиболее низкое содержание  $O_2$  в придонных слоях отмечается в Осташковском плесе, подверженному антропогенному воздействию коммунальных и промышленных стоков г. Осташкова. Ослабление скоростей течения и перемешивания вод вблизи дна способствует уменьшению содержания  $O_2$  из-за расходования его на биохимические процессы на границе раздела вода-дно.

Достаточно тесная связь характерна для зависимости относительной толщины слоя с дефицитом кислорода от градиента температуры в слое скачка, толщина этого слоя растет с ростом градиента температуры в скачке (рис.1).

В диапазоне градиентов температуры в скачке от 1 до 2,5  $^{\circ}C/м$  относительная толщина слоя с дефицитом кислорода  $Z_d/Z_{общ}$  составляет от 0,1 до



0,4, при градиентах температуры (4-5 °C/м) она меняется от 0,4 до 0,6 глубины вертикали.

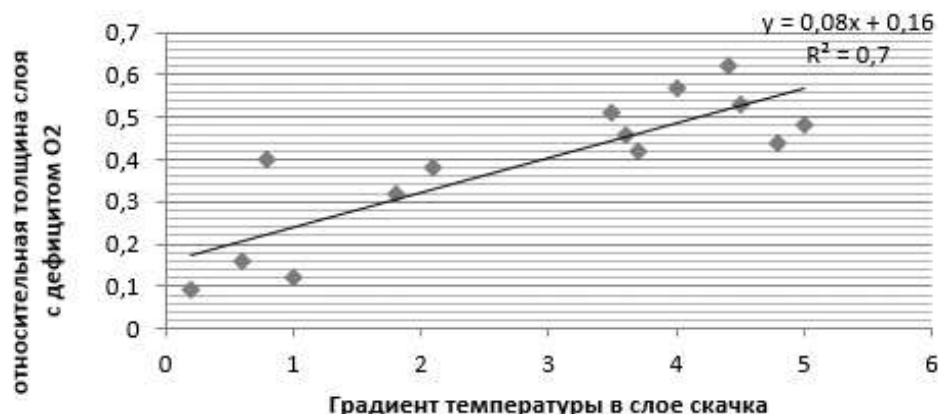


Рис. 1. Связь относительной толщины слоя с дефицитом кислорода  $Z/Z_{\text{общ}}$  и градиентом температуры в слое скачка оз. Селигер

Исследования на водохранилищах (*Можайском, Ивановском и Озернинском*) позволили рассмотреть процессы массообмена на границе вододонные отложения в условиях аноксии. Наблюдения за продукционно-деструкционными процессами в Можайском водохранилище и расчеты кислородного режима по математической модели показали, что скорости изменения аноксидной зоны зависят от среднего вертикального градиента температур и трофического статуса водоема. Расчеты вероятности формирования аноксидной зоны на момент проведения съемки показали, что случаи с аноксидной зоной, превышающей 30% объема водохранилища, встречались примерно в 20% наблюдений. При этом в июне зона аноксии, занимающая 30% объема водохранилища, встречалась в менее чем в 10% случаев, в июле – в 20% случаев, а в августе – в 25% случаев. Кроме того, в августе в целом доля аноксидной зоны была выше, чем в остальные летние месяцы, а в июне примерно в 80% случаев аноксидные условия в водохранилище практически отсутствовали (рис.2).

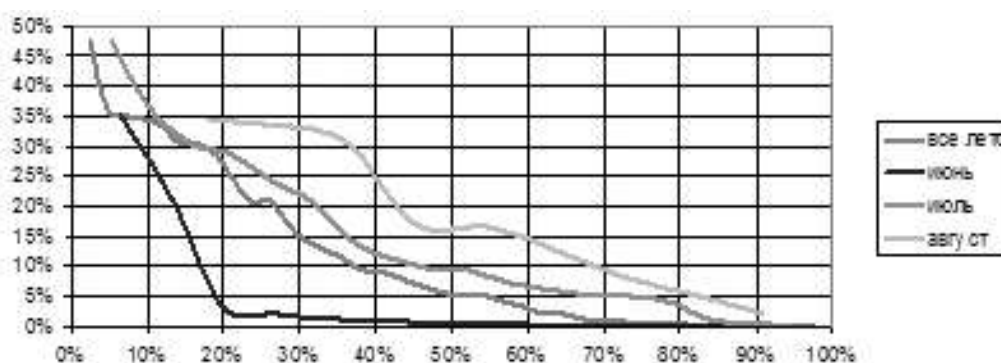


Рис. 2. Вероятность возникновения аноксидной зоны (% от объема водохранилища) в Можайском водохранилище в летний период 1984-2020 гг.

Относительный размер аноксидной зоны (от объема водохранилища) связан со средневзвешенной температурой водохранилища (коэффициент корреляции  $r=0,67$ , при количестве членов ряда  $n=43$ ).

Наличие бескислородного придонного слоя воды приводит ко вторичному загрязнению вод, увеличивает выход  $P_{\text{мин}}$  на 30-60% [5].

Формирование анаксидных условий в *речной системе Сев. Двины* наиболее ярко проявляется в зимний период. Северная Двина является самой крупной рекой в Европейской части России. В ее бассейне расположены 5 крупных целлюлозно-бумажных комбинатов (Сухонский, Сокольский, Котласский, Архангельский и Соломбальский) [3; 4]. Анализ кислородного режима Северной Двины и ее притоков (рр.Сухона, Пельшма, Вычегда) показал, что заморные условия отмечаются, главным образом на участках рек, подверженных сбросам сточных вод ЦБК. Особенно острая ситуация отмечена для р. Сухона (рис.3).

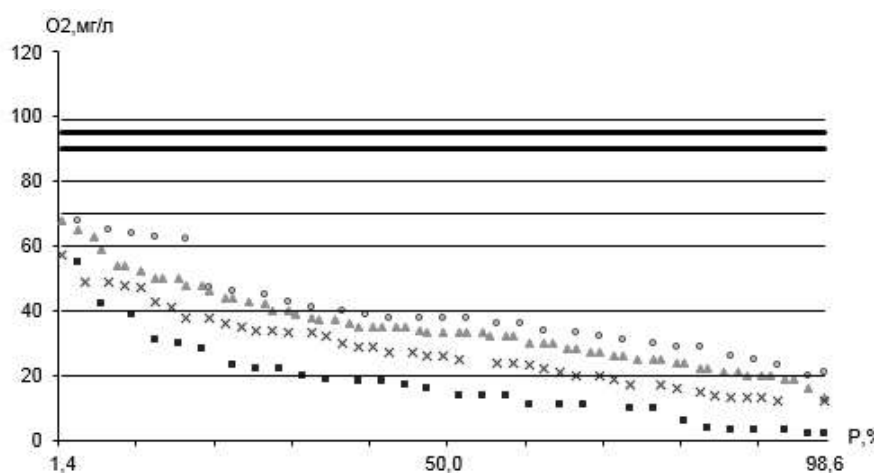


Рис. 3. Кривые обеспеченности содержания  $O_2$  в воде р. Северной Двины и ее притоков для зимнего периода (1949-1999 гг.): ■ — р. Сухона, ▲ — р. Вычегда, о — р. Сев.Двина (Абрамково), х — р. Сев.Двина (Усть-Пинега); — классы качества вод

Кривые обеспеченности растворенного кислорода в воде р. Сухоны, перегруженной ОВ антропогенного происхождения, в 65 % случаев наблюдений имеют низкое содержание растворенного  $O_2$  (менее 20 %), для р. Вычегда — в 30% случаев (рис.3). Основные закономерности формирования качества воды в Северной Двине и её притоков не меняются в течение многих десятилетий. Так, в период 2003-2018 гг. вода р. Сухона во всех створах характеризуется как «грязная». Река Пельшма оценивается экстремально высоким уровнем загрязненности воды из-за недостаточной очистки сточных вод ОАО «Сокольского ЦБК» и объединенных очистных сооружений г. Сокол. Среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ мало изменились по сравнению с периодом 1949-1999 гг. В 2003-2018 гг. их значения составляли 5-10,5 ПДК. Содержание в воде растворенного кислорода зимой было критически низким и составляло в январе 2015 г. — 2,90, в феврале — 1,74, в 2018 г. — 2,53 мг/л. В 2018 г. вода р. Вычегда в верхнем, среднем и нижнем течении оценивалась как загрязненная, а в створе ниже г. Коряжма как грязная. Поскольку кислородный режим является чутким показателем уровня загрязненности вод, следовательно, сложившиеся условия на реках бассейна р.

Сев. Двина свидетельствуют о высокой опасности возникновения заморных условий.

### **Выводы**

Общие закономерности развития аноксидных зон в летний период на малопроточных водных объектах (оз. Селигер, Можайском, Иваньковском, Озернинском водохранилищах) и факторы их формирования идентичны. Характеристики заморных условий на этих объектах зависят от стратификации вод, градиентов температуры в термоклизе, препятствующего проникновению кислорода в нижележащие слои, а также окислительных биохимических процессов в донных отложениях и в придонном слое воды, способствующих снижению содержания кислорода в гипolimнионе. Относительная толщина слоев с дефицитом кислорода может составлять 40—50% глубины вертикали. Специфика заключается в различиях морфометрических характеристик водоемов, степени проточности, уровнях трофности и условиях антропогенного воздействия.

На формирование аноксидных условий в речной системе Северной Двины, помимо неблагоприятных природных факторов, заметное влияние оказывают сточные воды предприятий ЦБК, особенно в зимний период. Сложившиеся условия на реках бассейна р. Сев. Двина свидетельствуют о высокой опасности возникновения заморных условий в этот период.

Наличие аноксидного слоя оказывает влияние на массообмен между водой и донными отложениями, при этом потоки веществ зависят от толщины и глубины расположения аноксидного слоя. Показано, что десорбция фосфатов при аноксидных условиях придонного слоя водохранилища может увеличивать выход  $P_{\text{мин}}$  на 30-60%.

*Работа «Основные факторы формирования аноксидных условий в водных объектах Европейской России» подготовлена в рамках Госзадания, тема №0147-2019-0002.*

### **Библиографический список**

1. *Бреховских В.Ф.* Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов. Москва: Наука, 1988. 168 с.
2. *Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Золотарева Н.С.* Современное экологическое состояние оз. Селигер // Водные ресурсы. 1997. Т.24. №3. С.344-351.
3. *Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Колесниченко Н.Н.* Проблемы качества поверхностных вод в бассейне Северной Двины. М.: Наука, 2003. 233 с.
4. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в РФ за 2016 год. М: Росгидромет, 2017. 216 с.
5. Процессы массопереноса в водных объектах. Отв. ред. В.Ф. Бреховских, З.В. Волкова. Черноголовка: ИПХФ РАН, 2019. 156 с.

А.В. Гончаров<sup>1</sup>, Н.А. Варенцова<sup>1,2</sup>, [mama15333@mail.ru](mailto:mama15333@mail.ru)

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г.Москва, Россия

<sup>2</sup>Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г.Москва, Россия

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЕЩЕСТВА ПО ДЛИНЕ ДОЛИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Представлены результаты многолетних наблюдений на Москворецких водохранилищах (Рузском, Озернинском, Можайском). Показано, что по длине водохранилищ происходит существенное изменение состава вод, приводящее к изменению качества воды и трофического состояния водоемов. От верховьев к плотине, как правило уменьшается содержание в воде органических и биогенных веществ, количество фитопланктона и бактерий.

*Ключевые слова:* Москворецкие водохранилища, биогенные вещества, органические вещества, фитопланктон, сапрофитные бактерии, эвтрофирование, фосфор.

A.V. Goncharov<sup>1</sup>, N.A. Varentsova<sup>1,2</sup>, [mama15333@mail.ru](mailto:mama15333@mail.ru)

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Central Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring,  
Moscow, Russia

## TRANSFORMATION OF MATTER ALONG THE LENGTH OF A VALLEY RESERVOIR

The results of long-term observations at the Moskvoretsky reservoirs (Ruzsky, Ozerinsky, Mozhaik) are presented. It is shown that along the length of reservoirs there is a significant change in the composition of water, leading to a change in the water quality and trophic state of reservoirs. From the upper reaches to the dam, as a rule, the content of organic and biogenic substances in the water, the amount of phytoplankton and bacteria decreases.

*Keywords:* Moskvoretsky reservoirs, biogenic substances, organic substances, phytoplankton, saprophytic bacteria, eutrophication, phosphorus.

### **Введение**

Известно, что потоки вещества и энергии имеют определяющее значение для существования многих природных объектов. По мнению Ю. Одума, «поток энергии создает четко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями» в экосистеме [3]. Исследования А.П. Лисицина показали значительную роль речного стока для формирования зон повышенной биологической продуктивности в приустьевых районах морей и океанов [2]. Имеются сведения о повышении продуктивности в приустьевых районах водохранилищ [1].

В данной работе рассматриваются водохранилища долинного типа (Рузское, Озернинское, Можайское), для которых характерен приток речных вод в верховья водоемов. Нашей задачей является исследование характера трансформации веществ, приносимых речными водами, а также – роль этого процесса в формировании продуктивности водохранилищ.

### ***Материалы и методы исследования***

Рассматриваемые водоемы: Можайское, Озернинское, Рузское водохранилища – являются важным источником водоснабжения г.Москвы. Они имеют вытянутую форму, основное поступление воды в них происходит в верховьях с реками Москва, Озерна, Руза. В таблице представлены основные морфометрические и гидрологические характеристики водоемов.

### **Основные параметры Рузского, Озернинского и Можайского водохранилищ [4]**

<i>Параметры</i>	<i>Рузское</i>	<i>Озернинское</i>	<i>Можайское</i>
Площадь водоема при НПУ, км <sup>2</sup>	32,7	23,1	30,7
Объем при НПУ, млн м <sup>3</sup>	219,8	143,8	235
Наибольшая глубина, м	21,2	20,5	22,1
Длина водоёма, км	32,8	19,2	28
Наибольшая ширина, км	3,62	2,27	3,5
Средняя глубина, м	6,7	6,2	7,7
Средний годовой водообмен, год <sup>-1</sup>	1,5	1,4	1,8

В работе использованы материалы многолетних наблюдений АО «Мосводоканал», а также собственные данные.

### ***Анализ результатов***

Результаты показывают, что по мере продвижения речной водной массы по водоему, происходит ее существенное изменение. Так, в Озернинском водохранилище от верховьев к плотине снижается (в среднем за вегетационный сезон) содержание взвешенных веществ: 8,8 мг/л – 6,6 мг/л – 5,3 мг/л – соответственно в верхнем, среднем и нижнем районах водохранилища; содержание органического вещества (определяемое перманганатной окисляемостью): 9,7 мг/л – 8,8 мг/л – 8,2 мг/л; БПК<sub>5</sub>: (3,9 мг/л – 3,3 мг/л – 3,0 мг/л. Снижение содержания взвешенных веществ связано не только с седиментацией, но и с фильтрационной активностью водных организмов (Cladocera, Bivalvia, Bryozoa). Снижение содержания органических веществ также связано не только с оседанием органических частиц, но и с потреблением водными организмами. В то же время уменьшение количества органического вещества способствует уменьшению количества сапрофитных бактерий, которые им питаются: 181,0 – 125,2 – 119,8 кл / мл (в верхнем, среднем и приплотинном районах соответственно).

Вдоль Озернинского водохранилища также снижается содержание фосфатов (0,049 – 0,046 – 0,039 мг/л), кремния (3,2 – 2,8 – 2,5 мг/л), железа (0,17 – 0,12 – 0,09 мг/л). Кремний из воды активно потребляется диатомовыми

водорослями, а фосфор – всеми автотрофами и считается одним из основных факторов эвтрофикации. Действительно, средняя биомасса фитопланктона уменьшается вдоль водоема: 9,7 – 8,0 – 6,3 мг/л в верхней, средней и нижней частях водохранилища. Сходная ситуация наблюдается и в других Москворецких водохранилищах.

Так, в Рузском водохранилище от верховья к плотине последовательно уменьшается биомасса фитопланктона, составляя 5,2 мг/л (в Осташево), 4,6 мг/л (в Щербинках) и 2,6 мг/л в приплотинном районе (по средним за вегетационные сезоны многолетним данным). Сходным образом изменяется содержание сапрофитных бактерий: 164 кл/мл – 134 кл/мл – 98 кл/мл. Такой характер распределения бактерий и водорослей можно объяснить тем, что в верховья водохранилища р.Руза постоянно приносит питательные минеральные и органические вещества, поступающие в нее с территории водосборного бассейна. Кроме того, при небольшой глубине, воды верховья легче прогреваются и перемешиваются, чем в глубоководном приплотинном районе.

В сезонных изменениях фитопланктона Рузского водохранилища (как и других москворецких водохранилищ) также хорошо видны различия между разными районами водохранилища. В приплотинном районе прослеживаются характерные для мезотрофных водоемов изменения: весенний и позднелетний пики фитопланктона, с минимумом в начале лета, вызванным уменьшением количества биогенных элементов и активной фильтрационной деятельностью дафний. В верхнем районе (у Осташево) высокая биомасса фитопланктона (4.5-8.3 мг/л) наблюдается в течение всего вегетационного периода, что можно объяснить постоянной подпиткой водорослей биогенами из р.Рузы. Сезонные изменения фитопланктона в Щербинках носят промежуточный характер.

Сезонные изменения сапрофитных бактерий, основу питания которых составляют легкоокисляемые органические вещества, сходны с изменениями фитопланктона. По-видимому, увеличение количества бактерий приурочено к массовому развитию фитопланктона весной и поздним летом.

Можно предположить, что выявленное распределение фитопланктона и бактерий по длине Рузского водохранилища зависит от гидролого-гидрохимических условий. От верховья к плотине водоема возрастает мутность воды, что может быть связано с поступлением взвешенных веществ с водами р.Рузы, а также - с неравномерностью развития фитопланктона. Те же причины могут приводить к аналогичному увеличению окисляемости, БПК<sub>5</sub>, а также цветности воды вдоль водохранилища.

От верховья к плотине уменьшается содержание фосфатов, кремния, железа. В то же время различия в содержании азота и величины рН незначительны. Температура воды по районам в среднем (за вегетационный сезон) одинакова, однако верховья быстрее прогреваются весной и охлаждаются осенью. Так, температура воды в мае у Осташево составляет 13.0 °С, у Щербинок 12.0 °С, у плотины – 11.3 °С; в октябре, соответственно, 7.9 °С, 8.0 °С и 9.5 °С (по средним многолетним данным, в поверхностном слое).

На графиках сезонных изменений прослеживается увеличение мутности, окисляемости, фосфатов, кремния весной и осенью. В верховьях это обусловлено

притоком вещества с речными водами, а в нижней части водоема – конвективным и ветровым перемешиванием водной массы. Снижение концентрации биогенных веществ летом, а также увеличение окисляемости в это время можно рассматривать как результат фотосинтеза.

Сходным образом изменяются характеристики Можайского водохранилища: от верховьев к плотине наблюдается снижение фитопланктона, бактерий, мутности, окисляемости, цветности, железа, фосфора, кремния. Распределение температуры, pH, O<sub>2</sub>, БПК<sub>5</sub> – менее однозначно.

### **Выводы**

Таким образом, трансформация состава вод по длине Москворецких водохранилищ приводит к существенному изменению качества воды и способности их к эвтрофированию.

### **Библиографический список**

1. Корнева Л.Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги / Под ред. А.И. Копылова. Кострома: Костромской печатный дом, 2015. 284 с.
2. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Том 34. № 5. С. 735-747.
3. Одум Ю. Экология: в 2-х т. Т.1. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 328 с.
4. Пуклаков В.В., Даценко Ю.С., Гончаров А.В., Эдельштейн К.К., Гречушникова М.Г., Ершова М.Г., Белова С.Л., Соколов Д.И., Пуклакова Н.Г., Ерина О.Н., Аракельянц А.Д. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмоскovie (наблюдения, диагноз, прогноз). М.: Издательство «Перо», 2015. 286 с.

УДК 556.55

М.Г. Гречушникова<sup>1,2</sup>, Д.В. Ломова<sup>2</sup>, Е.Р. Кременецкая<sup>2</sup>, В.А. Ломов<sup>1</sup>  
[allavis@mail.ru](mailto:allavis@mail.ru), [floraint@yandex.ru](mailto:floraint@yandex.ru)

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОТОКОВ УГЛЕРОДА ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Представлены данные, полученные на основе натурных измерений о пространственно-временной неоднородности потока углерода из донных отложений водохранилищ долинного типа и структуре этих потоков. Показана связь интенсивности потоков углерода с гидролого-гидрохимической структурой водохранилища.

**Ключевые слова:** донные отложения, стратификация, водохранилища, поток углерода со дна.

## **SPATIALLY-HETEROGENEITY OF CARBON FLUXES FROM BOTTOM SEDIMENTS**

Data obtained on the basis of field measurements on the spatial-temporal heterogeneity of the carbon flow from the bottom sediments of valley-type reservoirs and the structure of these flows are presented. The dependence of the intensity of the carbon flows on the hydrological and hydrochemical structure of the reservoir is shown.

*Keywords:* bottom sediments, carbon fluxes, stratification, reservoir.

### ***Введение***

Круговорот углерода в водоемах – основополагающий процесс цикла биогенных элементов в водных экосистемах. Он включает в себя приток углерода с водосбора, поступление из атмосферы, фотосинтез, перераспределение соединений углерода по пищевым цепям, детрито- и карбонатообразование, седиментацию, аккумуляцию на дне, выделение из донных отложений (ДО) в воду и поток в атмосферу [6; 8]. Поток углерода, поступающего со дна, включает в себя растворенный углерод в виде гидрокарбонатов, в составе растворенного органического вещества (ОВ), а также в виде газов –  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Определение интенсивности этих потоков достаточно трудоемко и связано с дополнительным проведением лабораторных экспериментов. Целью исследования было выявить пространственно-временную изменчивость структуры потоков углерода (С) из ДО и найти связь этих потоков с гидролого-гидрохимическими параметрами водной толщи.

### ***Материалы и методы исследования***

Можайское водохранилище – наиболее изученный водоём Москворецкой водной системы, выполняющей регулируемую функцию, а также обеспечивающий питьевое водоснабжение г.Москвы. Водоём относится к мезотрофным димиктическим слабопроточным водохранилищам долинного типа [3].

Согласно [7] послойное распределение гидрокарбонатов в поровом растворе озер коррелирует с послойным распределением  $\text{CaCO}_3$  и ОВ в твердой фазе илов. При этом изменения величин потоков  $\text{HCO}_3^-$  из илов формируется в верхних миллиметрах донных отложений и определяется интенсивностью деструкции ОВ. Величина  $pH$  придонной воды Можайского водохранилища в период исследований изменялась от 7,2 до 7,8, что согласно [11] свидетельствует о том, что карбонатный углерод в поровой воде содержится в виде  $\text{HCO}_3^-$ . Таким образом, в Можайском водохранилище углерод, образующийся в результате деструкции ОВ, поступает из ДО в водную толщу преимущественно в виде  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CH}_4$ . Зная скорость потребления кислорода ДО, можно разделить аэробную и анаэробную составляющие потока  $\text{HCO}_3^-$ .



Исследования потоков С, связанных с деструкцией органического вещества в ДО проводились на Можайском водохранилище в летний период 2017-2020 гг. Изучение характеристик экосистемы Можайского водохранилища основывалось на данных квазисинхронных гидролого-гидрохимических и грунтовых съемках и постановке лабораторных экспериментов по оценке выхода  $\text{HCO}_3$  и  $\text{CH}_4$  из ДО и скорости потребления  $\text{O}_2$  грунтом методом трубок [1; 10].

### *Анализ результатов*

На рис. 1 представлены осредненные по месяцам наблюдения за величинами суммарного потока углерода из ДО, оцененного по выходу  $\text{HCO}_3$  при аэробной и анаэробной деструкции ОВ и выходу метана ( $\text{CH}_4$ ) на реперных станциях русловой ложбины Можайского водохранилища. В июне суммарный поток углерода из ДО изменялся от 230 до 280  $\text{мгС/м}^2\text{сут}$ , увеличиваясь от верховьев к плотине. При этом вклад аэробной деструкции с увеличением глубины станции уменьшался (с 52 до 15%), а анаэробная составляющая потока  $\text{HCO}_3$  увеличивалась (с 45 до 74%). Вклад потока углерода, связанного с метанообразованием, оказался наибольший на станциях II и III, поскольку уже в июне в этом районе водохранилища начинается формирование аноксидной зоны. В июле максимум суммарного потока С отмечается на станциях II и III, где большая часть потока углерода связана с анаэробным разложением ОВ. Вклад аэробной составляющей потока С из ДО уменьшается от верховьев к плотине от 36 до 6%, причем к плотине резко возрастает вклад метанообразования (до 47%), что сопоставимо с вкладом анаэробной деструкции ОВ (46%) на этой станции. В августе на всех станциях (кроме станции I, зоны выклинивания подпора) отмечаются наиболее интенсивные потоки С из ДО за весь летний период – 300-500  $\text{мгС/м}^2\text{сут}$ .

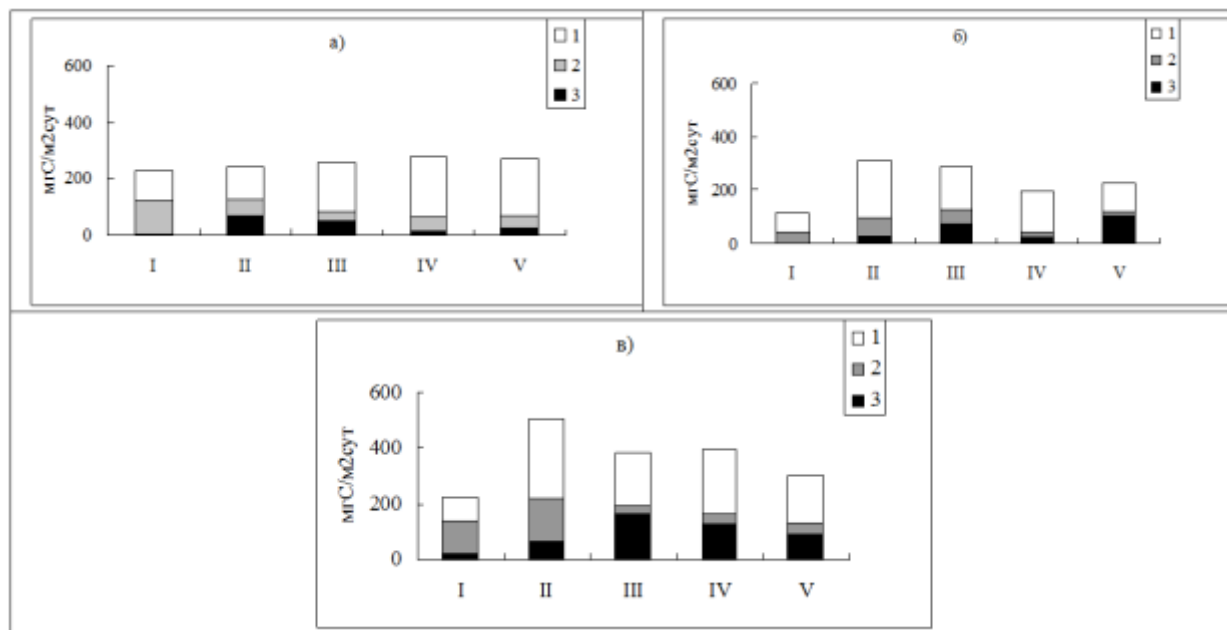


Рис. 1. Осредненные по месяцам доли потоков углерода, поступающих из ДО в виде  $\text{HCO}_3$  в результате анаэробной (1), аэробной (2) деструкции и  $\text{CH}_4$  (3) в суммарном потоке С из ДО на реперных станциях Можайского водохранилища в июне (а), июле (б) и августе (в) в 2017-2020 гг.

В структуре потоков порядка 50-58% приходится на гидрокарбонатный углерод, связанный с анаэробным разложением ОВ в ДО. В средней и нижней частях водохранилища доля потоков С, связанных с метанообразованием составляет 30-43%.

В [5] подробно рассматривалась связь суммарного (анаэробного и аэробного) потока  $\text{HCO}_3$  из ДО с гидрологической структурой водной толщи и была показана зависимость интенсивности  $F(\text{HCO}_3)$  в илах русловой ложбины Можайского водохранилища с параметром  $N_{\text{гипо}} \cdot (dT/dz)_{\text{ср}}$  (корреляционное отношение  $r^2=0,74$ , при  $n=26$ ) на станциях с глубинами  $>8$  м (где  $N_{\text{гипо}}$  – толщина однородного гипolimниона от дна на станции;  $dT/dz$  – средний градиент температур по вертикали) Для станций с глубиной мене 8 м была отмечена связь потока  $\text{HCO}_3$  из ДО с величиной прозрачности воды ( $r^2=0.87$ ,  $n=14$ ), которая для Можайского водохранилища тесно связана с биомассой фитопланктона [3].

В [4] была выявлена связь интенсивности аэробной деструкции ОВ в ДО с глубиной станции ( $N_{\text{ст}}$ ), содержанием  $\text{O}_2$  в придонной воде и потреблением  $\text{O}_2$  в 10 см придонном слое воды (ППВ). Коэффициент корреляции интенсивности аэробной деструкции с параметром  $\text{ППВ} \cdot \text{O}_2 / N_{\text{ст}}$  составил 0,92 при количестве членов ряда 26. Интенсивность потребления кислорода придонной водой можно оценить по ее связи с дефицитом  $\text{O}_2$  [2]. Важнейшее условие для деятельности бактерий метаногенов – низкое содержание  $\text{O}_2$  в воде [9]. Однако по полученным данным в некоторых случаях наблюдался выход метана при содержании  $\text{O}_2$  более 1 мг/л. Поскольку после установления плотностной стратификации аноксидные условия в гипolimнионе развиваются постепенно, имеющиеся данные были разделены по толщине слоя воды с содержанием  $\text{O}_2$  менее 1 мг/л на станции в момент отбора пробы (т.е. толщине слоя с аноксидными условиями) на 2 группы: (а) с толщиной аноксидного слоя в столбе воды не больше 1 м, (т.е. аноксидные условия либо отсутствовали, либо только начали развиваться в придонном горизонте) и (б) с толщиной аноксидного слоя более 1 м, где малоокислородные условия продолжались уже какое-то время до момента отбора проб.

Глубина проникновения  $\text{O}_2$  в донные отложения связана с интенсивностью процессов его потребления в придонном слое воды и на верхней границе самих ДО. Чтобы учесть эти процессы был предложен параметр  $(\text{ППВ} + \text{Даэр})$ , показывающий суммарную интенсивность процесса аэробного потребления  $\text{O}_2$  донными отложениями и интенсивность аэробной деструкции ОВ в 10-см слое придонной воды, непосредственно контактирующей с ДО. Для точек группы (а) (рис. 2 а) была получена связь выхода  $\text{CH}_4$  с суммарной аэробной деструкцией ОВ в ДО и придонной воде (при интенсивности  $(\text{ППВ} + \text{Даэр}) > 100 \text{ мгС/м}^2\text{сут}$ ), которая объясняется тем, что чем выше скорость потребление кислорода грунтами и придонной водой вместе, тем быстрее создаются аноксидные условия в самом грунте. Кроме того, поступающий из ДО метан интенсифицирует потребление  $\text{O}_2$  в придонной воде.

Для точек группы (б) (рис 2 б), при суммарной аэробной деструкции в придонном слое и на границе «вода – донные отложения»  $(\text{ППВ} + \text{Даэр}) < 100 \text{ мгС/м}^2\text{сут}$  поток метана из ДО в водную толщу близок к нулю.

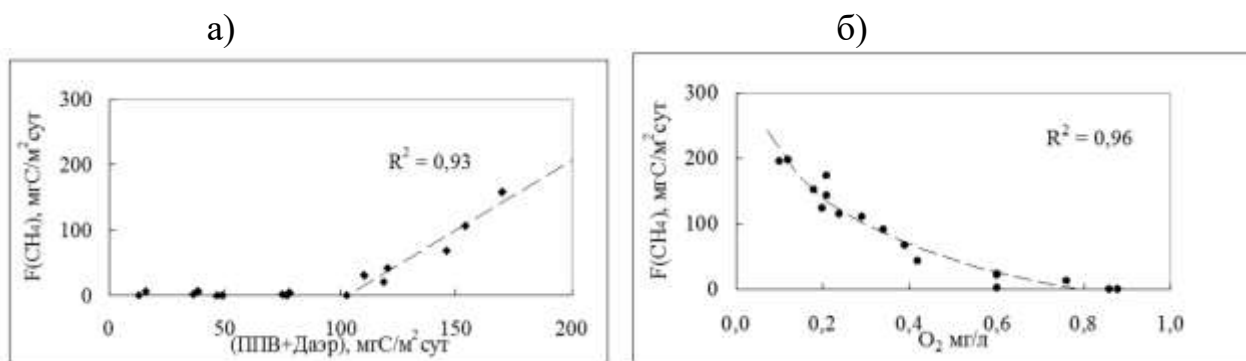


Рис.2. Связь потока  $\text{CH}_4$  с суммарным показателем аэробной деструкции ОВ ДО и придонной воде при толщине слоя с содержанием  $\text{O}_2 < 1$  мг/л на станции не более 1 м (а) и с содержанием  $\text{O}_2$  в эксперименте при толщине слоя с содержанием  $\text{O}_2 < 1$  мг/л на станции более 1 м (б).

Выход  $\text{CH}_4$ , в этом случае, зависит от содержания кислорода в воде над илом. Следует заметить, что метод трубок позволяет уловить только диффузионный поток метана из донных отложений и не учитывает пузырьковую составляющую, которая может транспортировать углерод в более высокие слои воды или даже в атмосферу, не окисляясь в толще воды. Суммарный поток требует отдельного изучения методом донных камер, что не входило в задачи данной работы.

### Выводы

Минимальная интенсивность суммарного потока углерода из донных отложений в Можайском водохранилище отмечалась в июле; максимальная – в августе, когда увеличивался поток метана из ДО.

В средней и приплотинной частях водохранилища основную часть потока С на протяжении летней стратификации составляет анаэробная деструкция ОВ (50-79%). В зоне выклинивания подпора (с небольшими глубинами) значительный вклад вносит аэробная деструкция ОВ. Выход  $\text{CH}_4$  наиболее значим в общем выходе С из ДО в нижнем и приплотинном районах (30-47%) во второй половине лета.

Оценить суммарный поток гидрокарбонатного углерода можно по таким параметрам гидрологической структуры водной толщи как средний градиент температур и толщина однородного гипolimниона, а его составляющие – по глубине станции, содержанию  $\text{O}_2$  и температуры в придонной воде и толщине аноксидной зоны.

### Библиографический список

1. Дзюбан А.Н. Опыт оценки эмиссии метана на водных объектах урбанизированных территорий в бассейне рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 4. С. 502-504.
2. Кременецкая Е.Р. Оценка скорости потребления кислорода в толще воды Можайского и Иваньковского водохранилищ // Водные ресурсы. 2007. Т.34. №3. С.310-317.
3. Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1979. Вып. 3. Можайское водохранилище. 400 с.

4. Ломова Д.В., Кременецкая Е.Р., Вишневская Г.Н. Смена факторов, контролирующая потребление кислорода донными отложениями, в различных районах водохранилища долинного типа (на примере Можайского водохранилища) // Вода: химия и экология. 2015. №8. С.83-88.
5. Ломова Д.В., Кременецкая Е.Р., Гречушникова М.Г., Ефимова Л.Е., Ломов В.А. О связи потока гидрокарбонатного углерода со дна долинного водохранилища с гидрологической структурой водной толщи // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 66(1). doi: 10.21638 / spbu.07.2021.104.
6. Мартынова, М.В. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М.: Наука, 2010. 243 с.
7. Мартынова М.В. Железо и марганец в пресноводных отложениях. М., 2014. 214 с.
8. Фёдоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах. Ростов-на-Дону – Москва: Копицентр, 2005. 329с.
9. Bastviken D., Cole J., Pace M., Tranvik L. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate – Global Biogeochemical Cycles, 2004. Vol.18. No.4. [http://dx.doi.org /10.1029/2004GB002238](http://dx.doi.org/10.1029/2004GB002238).
10. Elrod V.A., Berelson W.M., Coale K.N., Johnson K.S. The flux of iron from continental shelf sediments: a missing source of global budgets //Geophys.Res.Lett. 2004. V.31.P.L 12307/1-12307/4
11. Golterman H.L. Physiological limnology: an approach to the physiology of lake ecosystems. Amsterdam: Elsevier, 1975. 488 p.

УДК 556.551

И.Л. Григорьева, [Irina\\_Grigorieva@list.ru](mailto:Irina_Grigorieva@list.ru)  
Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия  
Иваньковская НИС, г. Конаково, Россия

## **ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД**

Проведен сравнительный анализ концентраций биогенных элементов и значений показателей органического вещества (цветность, перманганатная окисляемость) в воде Иваньковского водохранилища в первые годы существования (1938, 1944–1945) и в период с 2013 по 2019 г. Установлено, что за годы эксплуатации в воде водохранилища увеличились концентрации аммонийного и нитратного азота. Диапазон изменения значений перманганатной окисляемости в многолетнем аспекте остался практически тем же.

*Ключевые слова:* Иваньковское водохранилище, нитратный и аммонийный азот, минеральный и общий фосфор, перманганатная окисляемость, цветность воды, многолетний период.

I.L. Grigorieva, [Irina\\_Grigorieva@list.ru](mailto:Irina_Grigorieva@list.ru)  
*Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia*  
*Ivankovskaya Research Station, Konakovo, Russia*

## **CHANGES IN THE CONTENT OF BIOGENIC ELEMENTS AND INDICATORS OF ORGANIC MATTER IN THE WATER OF THE IVANKOVO RESERVOIR OVER A LONG-TERM PERIOD**

A comparative analysis of the concentrations of biogenic elements and the values of organic matter indicators (chromaticity, permanganate oxidability) in the water of the Ivankovo Reservoir in the first years of its existence (1938, 1944-1945) and in the period from 2013 to 2019 was carried out. It was found that over the years of operation, the concentration of ammonium and nitrate nitrogen in the water of the reservoir increased. The range of changes in the values of permanganate oxidability in the long-term aspect remained almost the same.

*Keywords:* Ivankovo Reservoir, nitrate and ammonium nitrogen, mineral and total phosphorus, permanganate oxidability, water chromaticity, long-term period.

### ***Введение***

К биогенным элементам, как известно, относятся минеральные вещества наиболее активно участвующие в жизнедеятельности водных организмов. Это соединения азота, фосфора и кремния. Недостаточное содержание железа может быть одним из лимитирующих факторов развития фитопланктона, поэтому часто железо так же включают в группу биогенных элементов состава вод [6].

Органические вещества в природных водах – это соединения углерода с другими элементами. Наиболее простым и распространенным способом характеристики содержания органического вещества является метод определения окисляемости воды по количеству кислорода, расходуемого на окисление этого вещества. В зависимости от применяемого окислителя различают перманганатную и бихроматную окисляемость (ХПК – химическое потребление кислорода). Количественную оценку легкоокисляющихся органических веществ по количеству кислорода оценивают величиной БПК (биохимическое потребление кислорода) [6].

Содержание биогенных элементов и органического вещества в воде водохранилищ являются важными характеристиками экологического состояния водоема, поэтому исследование этих показателей входит в обязательную программу мониторинговых исследований.

Для показателей содержания органического вещества и биогенных элементов характерна пространственно-временная изменчивость под влиянием изменения водности и антропогенной нагрузки.

Целью наших исследований явилось изучение изменения концентраций биогенных элементов и значений показателей органического вещества в воде Иваньковского водохранилища, источника питьевого водоснабжения г. Москвы, за многолетний период.

### ***Материалы и методы исследования***

Для оценки многолетних тенденций использовались как литературные данные, так и материалы собственных наблюдений.

Химический анализ отобранных проб воды производился в химической лаборатории Ивановской НИС ИВП РАН по аттестованным методикам.

Результаты химического анализа исследуемых показателей, осредненных за период с 2013 по 2019 г., представлены в табл. 1 и 2.

### ***Анализ результатов***

Предыдущие исследования показали, что для Ивановского водохранилища характерны относительно высокие концентрации нитратов и фосфатов, что обусловлено антропогенной нагрузкой на водоем и его водосбор [1–5]. Изменение антропогенной нагрузки приводит к изменению содержания биогенных элементов в воде водных объектов. Поскольку наибольшее сельскохозяйственное использование территории, примыкающей к Ивановскому водохранилищу, приходится на 80-е гг. прошлого столетия, то именно в этот период отмечались наибольшие концентрации фосфатов в воде водоема [2]. Для нитратов в многолетнем разрезе отмечается незначительный тренд на увеличение [2].

Характеристики химического состава воды Ивановского водохранилища во входном (г. Тверь, 100 м ниже впадения р. Тверцы) и замыкающем (верхний бьеф Ивановской ГЭС) створах в первые годы после создания водохранилища (1938, 1944–1945 гг.) приведены в работе Д.Д. Кудрявцева [5].

Концентрации железа общего в 1944–1945 гг. во входном створе в поверхностном горизонте изменялись от 0,12 до 0,60 мг/л, в воде замыкающего створа (г. Дубна) они были несколько ниже (0,06–0,40 мг/л). Концентрации аммонийного азота изменялись в диапазоне от 0,04 до 0,23 мгN/л. Максимальные концентрации нитратов не превышали 0,16 мгN/л.

В 1938 г. значения окисляемости в воде водохранилища изменялись от 9,9 (сентябрь) до 15,8 мг/л (июнь), а в 1944 г. – от 11,2 до 17,1 мг/л.

Исследование современного состояния качества поверхностных вод в бассейне верхней Волги позволяет оценить существующие уровни загрязнения, тенденции изменения и возможности его восстановления. Для того чтобы оценить возможность восстановления качества вод необходимо определить концентрации загрязняющих веществ, которые безопасны для экосистемы. Биогенные элементы, и прежде всего нитраты и фосфаты, являются лимитирующими факторами «цветения» воды, которое характерно для мелководных водоемов замедленного водообмена, в частности Ивановского водохранилища. Предыдущие исследования [3] показали, что ПДК по фосфору, при котором биомасса фитопланктона не превышает своего фонового значения (0,81 мг/дм<sup>3</sup>), составляет 0,07 мг/дм<sup>3</sup>, а азота – 1,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрации аммонийного азота в воде Ивановского водохранилища, в период с 2013 по 2019 гг. в среднем изменялись в диапазоне 0,22–0,59 мгN/дм<sup>3</sup> и были выше, чем в первые годы существования [5]. Зимой и осенью в замыкающем створе (Дубна) были ниже, чем во входном (Городня). Весной и летом они были примерно равны.

Концентрации нитратного азота в воде водохранилища в последние годы колебались в диапазоне 0,20–0,64 мгN/дм<sup>3</sup> и были выше, чем в первые годы существования водохранилища [5], но ниже предела, при котором значения фитопланктона превышают фоновые значения [3].

Таблица 1

**Среднесезонные значения биогенных элементов в створах Иваньковского водохранилища за 2013-2019 гг.**

№ п/п	Точка отбора	Сезоны	$P_{мин.},$ мгP/дм <sup>3</sup>	$P_{общ.},$ мгP/дм <sup>3</sup>	$NH_4^+,$ мгN/дм <sup>3</sup>	$NO_2^-,$ мгN/дм <sup>3</sup>	$NO_3^-,$ мгN/дм <sup>3</sup>	$SiO_2,$ мг/дм <sup>3</sup>	$F_{еобщ.},$ мг/дм <sup>3</sup>
1	Выше Твери	Зима	0,024	0,059	0,46	0,004	0,65	3,8	0,29
		Весна	0,014	0,056	0,26	0,004	0,56	2,4	0,20
		Лето	0,010	0,055	0,26	0,005	0,18	1,8	0,09
		Осень	0,022	0,050	0,51	0,004	0,34	1,7	0,14
2	Городня	Зима	0,052	0,092	0,59	0,005	0,64	3,5	0,32
		Весна	0,042	0,074	0,35	0,006	0,59	2,7	0,26
		Лето	0,032	0,077	0,26	0,003	0,27	1,3	0,12
		Осень	0,047	0,056	0,27	0,005	0,46	1,9	0,17
3	Безбородово	Зима	0,032	0,074	0,47	0,007	0,55	4,7	0,40
		Весна	0,017	0,060	0,32	0,005	0,41	1,8	0,29
		Лето	0,020	0,065	0,22	0,003	0,23	1,2	0,13
		Осень	0,032	0,087	0,27	0,003	0,46	1,2	0,12
4	Конаково	Зима	0,050	0,089	0,41	0,005	0,59	3,8	0,33
		Весна	0,025	0,077	0,33	0,005	0,55	3,0	0,23
		Лето	0,025	0,066	0,27	0,004	0,20	1,8	0,10
		Осень	0,042	0,093	0,31	0,007	0,38	1,4	0,12
5	Верхний бьеф Иваньковско й ГЭС (Дубна)	Зима	0,047	0,080	0,39	0,005	0,61	3,3	0,28
		Весна	0,024	0,056	0,36	0,007	0,51	2,0	0,19
		Лето	0,023	0,063	0,30	0,007	0,20	0,7	0,09
		Осень	0,033	0,088	0,22	0,003	0,30	1,1	0,11

Концентрации железа общего в период с 2013 по 2019 г. в среднем колебались в интервале 0,09–0,40 мгN/дм<sup>3</sup>. Максимальные концентрации отмечались зимой в створе Безбородово. Диапазон изменения их в сравнении с первыми годами существования водохранилища [5] практически не изменился.

Максимальные значения цветности и перманганатной окисляемости в последние годы во всех створах наблюдений отмечались весной (табл. 2). Диапазон значений колебался соответственно от 32 до 74 град. Pt-Co шкалы и от 8,5 до 16 мгО/дм<sup>3</sup>.

Диапазон изменения значений перманганатной окисляемости в последние годы в среднем остался тем же, что и в первые годы существования водохранилища. Но минимальные и максимальные наблюдаемые значения в отдельные годы отличались от наблюдаемых в первые годы существования.

**Среднесезонные значения показателей органического вещества в створах  
Иваньковского водохранилища за 2013-2019 гг.**

<i>№ п/п</i>	<i>Точка отбора</i>	<i>Сезоны</i>	<i>БПК<sub>5</sub>, мгО/дм<sup>3</sup></i>	<i>Цветность, град.</i>	<i>ПО, мгО/дм<sup>3</sup></i>
1	Выше г. Тверь	Зима	0,8	46	10,6
		Весна	2,0	60	12,3
		Лето	1,9	29	7,4
		Осень	0,8	37	8,4
2	Городня	Зима	1,3	46	10,0
		Весна	1,8	74	16,0
		Лето	2,5	43	10,8
		Осень	1,5	42	9,8
3	Безбородово	Зима	1,3	46	11,7
		Весна	2,8	60	14,6
		Лето	4,5	41	12,4
		Осень	1,5	32	8,5
4	Конаково	Зима	1,0	45	10,7
		Весна	2,2	68	12,4
		Лето	3,0	49	11,4
		Осень	1,4	36	9,2
5	Верхний бьеф Иваньковской ГЭС (Дубна)	Зима	1,2	56	10,6
		Весна	2,3	63	13,0
		Лето	2,5	42	12,0
		Осень	1,5	36	9,7

### ***Выводы***

Анализ литературных источников [1–5] и данных собственных натурных исследований показал, что за многолетний период в воде Иваньковского водохранилища возросли концентрации аммонийного и нитратного азота. Концентрации железа общего и значения перманганатной окисляемости в среднем изменяются в тех же диапазонах, что и в первые годы существования водохранилища.

По-прежнему отмечается внутри- и межгодовая изменчивость всех анализируемых показателей. Максимальные концентрации нитратов в воде Иваньковского водохранилища в последние годы практически всегда ниже установленных ранее величин, при превышении которых биомасса фитопланктона может превышать фоновые значения. При этом наблюдается интенсивное цветение фитопланктона, биомасса его превышает фоновые значения. В связи с этим необходимо уточнение пороговых концентраций нитратов, при которых биомасса фитопланктона не превышала бы фоновых значений.

*Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) Государственного задания ИВП РАН.*



## Библиографический список

1. Григорьева И.Л. Пространственно-временная изменчивость содержания биогенных элементов в воде водохранилищ Верхней Волги // Матер. V Всерос. симпозиума с межд. участ. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. С. 137–140.
2. Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Трансформация качества воды Иваньковского водохранилища и его малых притоков за многолетний период под воздействием природных и антропогенных факторов // Вопросы географии. 2018. №145. С. 337–346.
3. Дебольский В.К., Кочарян А.Г., Григорьева И.Л., Лебедева И.П., Толкачев Г.Ю. Проблемы формирования качества воды в поверхностных источниках водоснабжения и пути их решения на примере Иваньковского водохранилища // Вода: химия и экология. 2009. №7(13). С. 2–11.
4. Иваньковское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. 304 с.
5. Кудрявцев Д.Д. Сравнительная характеристика гидрохимического режима водохранилищ Верхней Волги: Иваньковского, Угличского и Рыбинского // Труды биологической станции Борок. Л., 1950. Вып. 1. С.80–96.
6. Никаноров А.М. Гидрохимия. Ростов-на-Дону: НОК. 2008. 462 с.

УДК 556.55.561

Ю.С. Даценко, В.В. Пуклаков, [yuri0548@mail.ru](mailto:yuri0548@mail.ru)  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ ЭКОСИСТЕМЫ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ИЗМЕНЕНИЕ ВНЕШНЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

С помощью двумерной гидроэкологической модели проанализированы изменения показателей качества воды в нижнем бьефе Иваньковского водохранилища, обусловленные откликом водохранилища на заданное в модели удвоение их концентраций в основных притоках водохранилища в средний по водности год.

*Ключевые слов:* качество воды, Иваньковское водохранилище, гидроэкологическое моделирование.

Yu.S. Datsenko, V. V. Puklakov, [yuri0548@mail.ru](mailto:yuri0548@mail.ru)  
Lomonosov Moscow state University, Moscow, Russia

### MODELING THE RESPONSE OF THE IVANKOVO RESERVOIR ECOSYSTEM TO CHANGES IN THE EXTERNAL CHEMICAL LOAD

A two-dimensional hydroecological model is used to analyze changes in water quality indicators in the Ivankovo reservoir due to the response of the reservoir to the doubling of their

concentrations in the main tributaries of the reservoir set in the model in the average water content year.

*Keywords:* water quality, Ivankovo reservoir, hydroecological modeling.

### **Введение**

Особенности формирования качества воды в водохранилищах в значительной степени зависят от характера взаимодействия водохранилища и его водосборной территории. Водосбор определяет химическую нагрузку на водохранилище, формирование которой зависит от совокупного действия природных и антропогенных факторов.

Для головного в Волжско-Камском каскаде Иваньковского водохранилища характерна относительно высокая хозяйственная освоенность водосборного бассейна, что способствует увеличению поступления химических веществ в водохранилище по сравнению с естественными неосвоенными ландшафтами. В результате в водохранилище отмечаются явно выраженные признаки антропогенного эвтрофирования и прогрессирующее ухудшение качества воды [1; 2]. В связи с этим при обосновании оптимального регулирования качества воды в бассейне Волги чрезвычайно важно предвидеть реакцию экосистемы водохранилища на поступление антропогенных загрязнений в притоки водохранилища. Эту задачу очень сложно решать многолетним мониторингом характеристик качества воды и состояния экосистем водохранилищ, поэтому подобная проблема обычно решается моделированием качества воды водохранилища, при котором сценарными расчетами можно количественно оценить роль отдельных факторов функционирования экосистем. Для сценарных расчетов нами использована успешно адаптированная к Иваньковскому водохранилищу гидроэкологическая модель ГМВ-МГУ, позволяющая с суточным шагом рассчитывать пространственно-временное распределение параметров качества воды [3].

Разнообразие расчетных сценариев при моделировании обусловлено различиями в режимах действия антропогенной внешней нагрузки: распределение загрязнений по территории водосбора, длительности действия источника загрязнения, интенсивности загрязнения и т.д. К наиболее простым сценариям следует отнести прямое увеличение концентраций в питающих его реках, предполагая, что основная причина этого увеличения – действие разнообразных источников антропогенного загрязнения водосбора.

В Иваньковском водохранилище ведущую роль в формировании как водного притока, так и химической нагрузки играют рр. Волга и Тверца, вклад которых в приточную составляющую водного баланса в среднем составляет 50 и 25% соответственно [4]. В модели рассчитывались изменения концентраций следующих характеристик качества воды в этих реках (ХКВ): химическое потребление кислорода (ХПК), аммонийный азот ( $\text{NH}_4$ ), нитратный азот ( $\text{NO}_3$ ), фосфаты ( $\text{PO}_4$ ), железо общее ( $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ), марганец общий ( $\text{Mn}_{\text{общ}}$ ). Сценарными расчетами предусматривалось провести также оценку изменений в водохранилище растворенного кислорода ( $\text{O}_2$ ) и биомассы синезеленых водорослей (цианобактерий) при изменении фосфорной нагрузки на водохранилище.

### ***Материалы и методы исследования***

Расчеты по модели для среднего по водности 1984 года, проводились по трем сценариям.

Сценарий 1. Последовательные расчеты по модели при двукратном изменении концентраций каждого из рассмотренных показателей в р. Волга в течение всего года (Волга–2). Сценарий 2. Последовательные расчеты по модели при двукратном изменении концентраций каждого из рассмотренных показателей в р. Тверца в течение всего года (Тверца–2). Сценарий 3. Последовательные расчеты по модели при двукратном изменении концентраций каждого из рассмотренных показателей в р. Волга в течение периода половодья (Волга. Половодье–2).

Реакция экосистемы водохранилища на заданные изменения химического притока рассматривалась, как изменение среднегодовых значений показателей и коэффициентов их вариации в нижнем бьефе Ивановской ГЭС (и соответственно в головном участке канала им. Москвы – источнике водоснабжения г.Москвы), а также как изменение продольно-вертикального распределения по водохранилищу рассмотренных показателей в конце вегетационного периода (15 августа).

### ***Анализ результатов***

Результаты расчетов изменений среднегодовых концентраций характеристик качества воды сведены в таблицу. При этом под нулевым сценарием понимаются результаты расчетов, проведенных без внесения изменений во входные файлы модели.

#### **Результаты сценарных расчетов качества воды Ивановского водохранилища**

Сценарий	Значения характеристик качества воды	$XPK$ , мгО/л	$NH_4$ , мгN/л	$NO_3$ , мгN/л	$PO_4$ , мгP/л	$Fe_{общ}$ , мг/л	$Mn$ , мг/л
Нулевой	Среднее	20,7	0,31	0,44	0,045	0,125	0,072
	Коэффициент вариации	0,24	0,26	0,84	0,49	0,56	0,79
Волга -2	Среднее	25,4	0,35	0,54	0,063	0,163	0,083
	Коэффициент вариации	0,28	0,29	0,76	0,43	0,26	0,60
	Относительное изменение среднего, %	23	13	23	40	30	15
Тверца -2	Среднее	22,1	0,33	0,51	0,053	0,147	0,072
	Коэффициент вариации	0,31	0,39	0,78	0,47	0,33	0,57
	Относительное изменение среднего, %	7	6	16	17	18	0
Волга Половодье 2	Среднее	23,4	0,31	0,47	0,057	0,139	0,072
	Коэффициент вариации	0,29	0,29	0,89	0,053	0,35	0,65
	Относительное изменение среднего, %	13	0	7	27	11	0

Как видно из результатов расчетов, двукратному увеличению концентраций в притоках водохранилища соответствуют величины ХПК (изменение в нижнем бьефе – 23%) и нитратов (23%), в то время как среднегодовые концентрации аммонийного иона в сбросе из водохранилища увеличились всего на 13%. Увеличение концентраций фосфатов в нижнем бьефе составило 40%. При двукратном увеличении концентраций аммонийного иона в притоке отмечено небольшое увеличение тесно связанного с ним нитратного азота. Внутригодовая изменчивость показателей, характеризуемая коэффициентами вариации, колебалась в больших пределах и для большинства показателей отмечено снижение изменчивости концентраций.

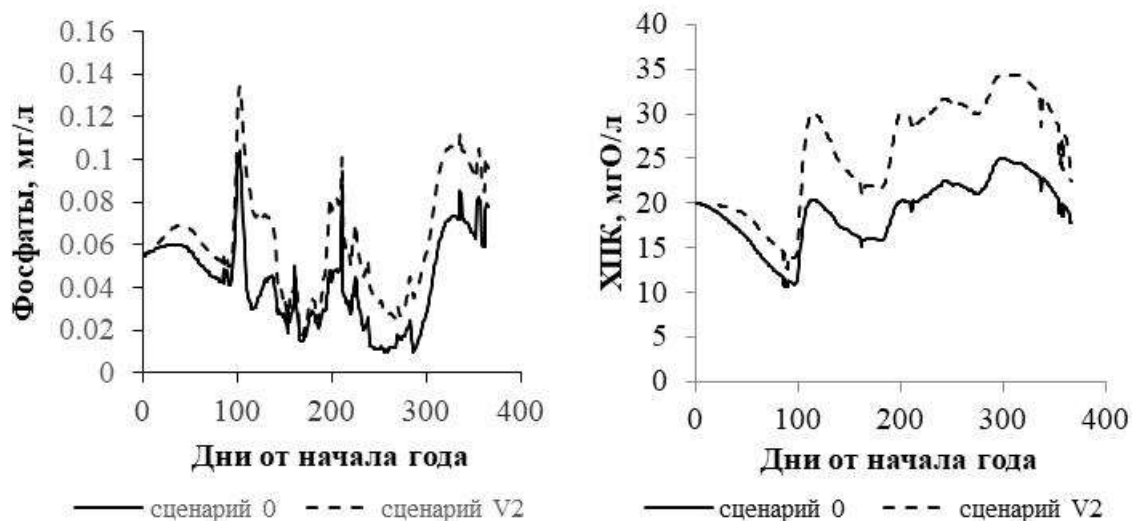
Увеличение концентраций химических веществ в Тверце оказывает значительно меньшее влияние на режим и величины концентраций этих показателей в водохранилище по сравнению с Волгой, при этом отмеченные особенности влияния водохранилища на трансформацию химического стока, также как оценки их изменчивости в целом сохраняются.

Третий сценарий был продиктован необходимостью провести оценку влияния диффузных загрязнений в наиболее важную для их проявления фазу гидрологического режима – половодье. Рассчитывались изменения только по загрязнению Волги в период половодья. Заметное увеличение притока химических веществ в этот период проявляется только в изменении величин ХПК, фосфатов и железа. Именно эти показатели наиболее тесно связаны с водным стоком, поэтому для них период половодья может заметно влиять и на среднегодовые значения показателей качества воды в нижнем бьефе водохранилища.

Отдельное внимание было уделено изменениям растворенного кислорода и биомассы синезеленых водорослей в нижнем бьефе при расчете по сценарному увеличению концентраций фосфатов (сценарий Волга–2). Расчеты показывают, что если изменения концентраций растворенного кислорода сравнительно мало изменяются при возрастании биогенной (фосфорной) нагрузки, то увеличение биомассы водорослей в первом сценарии достигает 13%, что свидетельствует о существенном увеличении продуктивности экосистемы водохранилища.

Для анализа внутригодового режима показателей качества воды в нижнем бьефе водохранилища построены графики сезонных изменений показателей для реализованных сценариев. Примеры графиков для фосфатов и величины ХПК по нулевому сценарию и сценарию Волга–2 представлены на рисунке.

Внутригодовой ход рассмотренных показателей качества воды изменяется незначительно в сценарных расчетах загрязнения Волги и Тверцы. Общее отклонение концентраций качества воды от нулевого сценария хорошо соответствует среднегодовым данным, приведенным в таблице. Наиболее близко соответствует нулевому сценарию распределение концентраций марганца, железа и показателей содержания органического вещества. Более изменчивы в водохранилище биогенные вещества – фосфаты, нитраты и аммонийный ион. В разные сезоны отклонения расчетов по сценариям от нулевого варианта проявляются по-разному, что обусловлено сложными связями биогенных веществ с продукционно-деструкционными процессами.



Изменение концентраций фосфатов (а) и величины ХПК (б) в нижнем бьефе  
Иваньковского гидроузла по сценарным расчетам

Обращают на себя внимание непропорционально высокие отклонения фосфатов в сценарии с загрязнением в половодье. Это объясняется тесной связью фосфатов с расходами воды, поэтому повышение расходов Волги в половодье приводит к резкому увеличению концентраций фосфатов. Это повышение в период наиболее интенсивного водообмена прослеживается вплоть до нижнего бьефа водохранилища. Для анализа пространственных изменений показателей экологического состояния водоема были проанализированы изменения их концентраций вдоль водохранилища по сценарию Волга-2. В качестве характерной даты для анализа нами выбрана дата 15 августа, соответствующая середине вегетационного периода. Как показали расчеты, не связанные с продукционными процессами показатели, распределяются почти идентично с нулевым вариантом расчета, поскольку главным фактором их распределения в водохранилище являются особенности внутреннего водообмена в рассматриваемый период времени. Распределение биогенных веществ в конце вегетационного периода существенно отличается от нулевого варианта – градиенты изменений их концентраций по сценарным расчетам с загрязнениями резко возрастают.

### **Выводы**

Проведенный анализ сценарных расчетов демонстрирует возможности модельных оценок последствий увеличения внешней химической нагрузки на водохранилище, поскольку при этом учитываются проявляющиеся в водохранилищах изменения состояния экосистем и интенсивность продукционно-деструкционных процессов. Важно, что с помощью расчетов можно определять количественные характеристики этих изменений и при наличии надежных оценок диффузного загрязнения в бассейне водохранилища определять степень изменений качества воды с учетом моделируемых внутриводоемных процессов в водохранилищах.

## Библиографический список

1. *Иваньковское водохранилище и его жизнь* / под ред. Н.В. Буторина. Л.: Наука, 1978. 304 с.
2. *Иваньковское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны.* (2000). М.: Наука. 344 с.
3. *Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз)* / под ред. К.К. Эдельштейна. М.: Изд-во «Перо», 2015. 286 с.
4. *Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги.* Л.: Гидрометеиздат, 1975. 292 с.

УДК 556.535.8

О.Н. Ерина<sup>1,2</sup>, М.А. Терешина<sup>1</sup>, Г.Л. Шинкарева<sup>1</sup>, Д.И. Соколов<sup>1</sup>  
[oxana.erina@geogr.msu.ru](mailto:oxana.erina@geogr.msu.ru)

<sup>1</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства  
и океанографии, г. Москва, Россия*

## ПРОДОЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОГО ФОНОВОГО КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ МОСКВЫ

По результатам исследований 2019-2020 гг. проанализированы продольные изменения ряда гидрохимических характеристик р. Москвы по всей ее длине и дана количественная оценка их изменчивости в разных районах по сравнению с единственным фоновым участком реки выше Можайского водохранилища. Показано, что влияние на качество воды городской застройки на территории г. Москвы сопоставимо, а в некоторых случаях – во много раз ниже по сравнению с воздействием загрязненных сточных вод Люберецких и Курьяновских очистных сооружений.

*Ключевые слова:* качество воды, загрязнение, река Москва, антропогенное воздействие.

O.N. Erina<sup>1,2</sup>, M.A. Tereshina<sup>1</sup>, G.L. Shinkareva<sup>1</sup>, D.I. Sokolov<sup>1</sup>  
[oxana.erina@geogr.msu.ru](mailto:oxana.erina@geogr.msu.ru)

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia*

## TRANSFORMATION OF NATURAL WATER QUALITY ALONG THE MOSKVA RIVER

The analysis of changes in several hydrochemical characteristics along the Moskva River and evaluating their variability in different areas to the only part of the river with baseline water quality above the Mozhaysk reservoir is conducted according to the results of 2019-2020 studies. It is shown that the impact of urban Moscow areas on water quality is relatively similar, and in some cases, many

times lower compared to the effect of polluted sewage from the Lyubertsy and Kuryanovo wastewater treatment plants.

*Keywords:* water quality, pollution, Moskva river, human impact.

### ***Введение***

В настоящее время на территории Российской Федерации очень остро стоит вопрос установления природных фоновых концентраций различных веществ двойного генезиса в водных объектах. Принципы нормирования в соответствии с нормативами ПДК часто требуют от водопользователей очистки воды от повышенных концентраций различных компонентов, имеющих природное происхождение. В первую очередь это касается металлов, прежде всего железа, меди, марганца и др. Ввиду отсутствия методических основ определения природных фоновых концентраций химических веществ в водных объектах, а также отсутствия заинтересованности и кадровых ресурсов у Росгидромета для проведения подобной разработки, данный вопрос в ближайшие годы, вероятно, не будет решен. При этом единственным используемым механизмом при разработке нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ для водопользователей будет оставаться расчет условно-фоновых концентраций в соответствии с руководящими документами Росгидромета, позволяющий определить статистическими методами лишь сформировавшееся фоновое качество воды в водном объекте выше выпуска сточных вод водопользователя [1].

В таких условиях все чаще встает вопрос о возможности установления природного фона для водных объектов, особенно для серьезно трансформированных рек. Возникают ситуации, в которых антропогенно обусловленные концентрации, в том числе металлов, а также других веществ, ошибочно или намеренно выдаются за имеющие природное происхождение. Таким образом, в отсутствие реальных методических подходов для определения природного фона создается высокий риск нормализации антропогенного фона, что неизбежно приведет к дальнейшему нарастанию загрязнения и деградации экосистем водотоков.

Поэтому целью работы стал анализ реального уровня трансформации природного химического состава воды под воздействием различных видов антропогенного преобразования на примере реки Москвы.

### ***Материалы и методы исследования***

В основу настоящей работы легли результаты детальных исследований продольной изменчивости химического состава р. Москвы и устьевых участков ее притоков, проведенных в 2019-2020 гг. Работы проводились по подробной сетке станций, включающей 43 пункта наблюдений на самой р. Москве и еще 19 – на крупных и сильно загрязненных притоках (рис. 1).

В каждый из рассматриваемых лет отбор проб проводился во время активного снеготаяния весной, а также в период летней межени. В черте г. Москвы подробные исследования изменения показателей химического состава воды р. Москвы были проведены только в 2020 г.

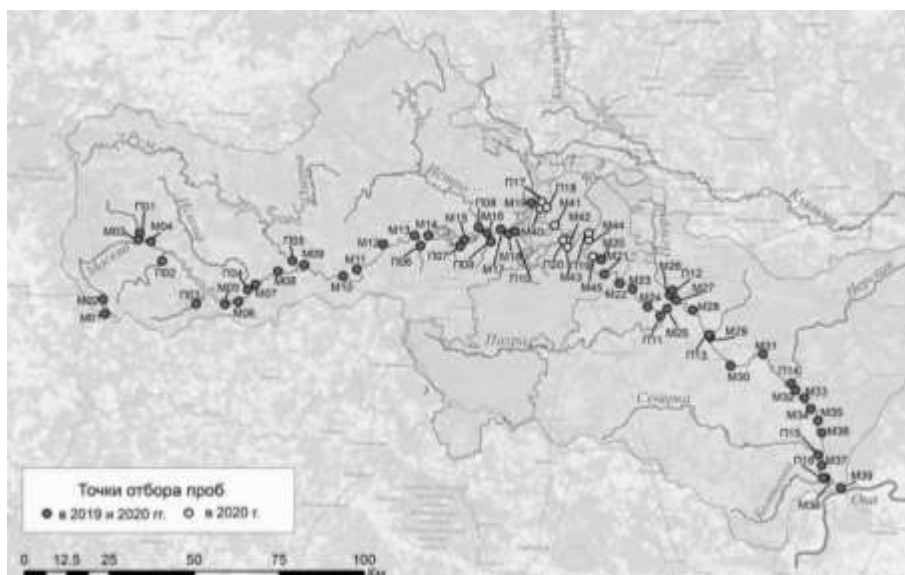


Рис. 1. Карта пунктов мониторинга химического состава воды р. Москвы в 2019-2020 гг.

В качестве природного фонового участка р. Москвы было выбрано ее верхнее течение выше Можайского водохранилища – единственный участок реки с сохранившимся естественным гидрохимическим режимом. Показатели химического состава в истоке реки не использовались ввиду его расположения в болоте с преобладанием атмосферного питания. Фоновые значения принимались равными среднему из наблюдений в трех пунктах мониторинга в верховье реки (рис. 1, пункты М2-М4).

Трансформация показателей качества воды оценивалась на основе кратности превышения фоновых значений, отдельно рассчитывались средние значения и вариабельность концентраций отдельных показателей на четырех ключевых участках: от Можайского до Рублевского гидроузла, от МКАД до выпуска Курьяновских очистных сооружений (ОС), ниже выпуска Курьяновских ОС до выпуска Люберецких ОС; ниже выпуска Люберецких ОС до устья р. Москвы.

В данном исследовании рассматривались только растворенные формы различных веществ в соответствии с тем, что нормативы ПДК, применяемые в России для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение [2], к числу которых относится р. Москва, разрабатываются только для растворенных форм химических элементов и их соединений.

### ***Результаты и обсуждение***

Река Москва на участке с естественным режимом водного и химического стока характеризуется типичным для водных объектов данной природной зоны весенним половодьем с увеличением в данную фазу водного режима содержания органических и биогенных веществ, снижением минерализации. В фазу летней межени на фоне снижения концентрации биогенных и органических веществ за счет грунтового питания в воде р. Москвы на фоновом участке повышается содержание марганца в растворенной форме. Так, в 2020 г. от половодья к межени концентрация марганца в воде увеличилась в 2,6 раза – от 36,7 до 97 мкг/л. Межсезонная изменчивость содержания других металлов на данном



участке не характеризуется значительным диапазоном, лишь для железа обнаруживаются существенные колебания с увеличением концентраций в половодье (в среднем – до 61,5 мкг/л) и снижением в межень (до 13,5 мкг/л).

Таким образом, для естественных условий характерны невысокие концентрации биогенных и органических веществ, а также металлов, укладываемые в значения рыбохозяйственных нормативов ПДК, за исключением железа и марганца, содержание которых в реке значительно колеблется в зависимости от фазы водного режима.

Ниже по течению фоновые характеристики химического состава воды р. Москвы претерпевают существенные изменения. Наименьшим уровнем трансформации характеризуется участок от Можайского до Рублевского гидроузла. Основная причина трансформации характеристик речной воды здесь – гидротехнические сооружения. При этом, несмотря на осуществление многолетнего регулирования стока более, чем с половины площади водосбора р. Москвы в створе Рублевского гидроузла и нарастающую антропогенную нагрузку на притоки р. Москвы ввиду расширяющейся застройки, трансформация фоновых показателей химического состава воды реки в среднем не превышает двукратной.

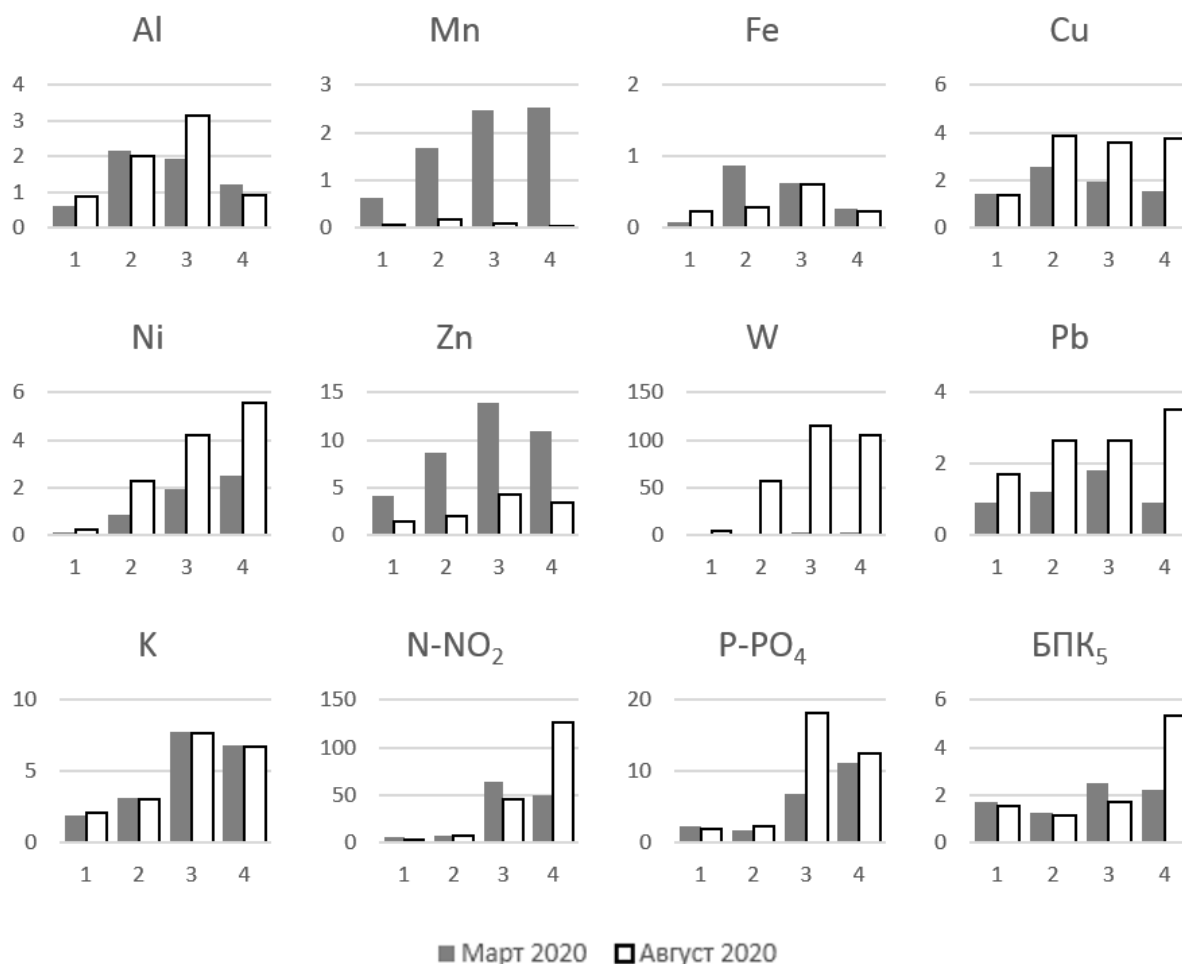


Рис. 2. Кратность превышения фоновых значений некоторых показателей химического состава воды р. Москвы на различных участках по ее длине (1 – от Можайского до Рублевского гидроузла; 2 – от МКАД до выпуска Курьяновских ОС; 3 – Ниже Курьяновских ОС до выпуска Люберецких ОС; 4 – Ниже Люберецких ОС до устья)

Намного более значительные изменения качества воды реки происходят под воздействием городской инфраструктуры, и в особенности – очистных сооружений коммунально-бытовых стоков г. Москвы. При этом можно выделить две группы показателей. Первая группа – это компоненты солевого состава и биогенные вещества, содержание которых практически не меняется под влиянием ливневых стоков и диффузного загрязнения с площадей городской застройки, однако в несколько раз и даже десятков раз (для нитритов) возрастает под воздействием выпусков коммунально-бытовых стоков. Вторая группа веществ, в которую входят преимущественно тяжелые металлы и металлоиды (ТММ), характеризуется последовательным увеличением и на городском участке выше коммунальных очистных сооружений, и в результате поступления коммунальных стоков Курьяновских и Люберецких ОС. В фазу снеготаяния, сопровождающегося активным смывом веществ с городских участков водосбора, происходит более интенсивное увеличение концентрацией отдельных элементов, например, марганца и цинка.

Последний из рассматриваемых участков – ниже выпуска Люберецких ОС – характеризуется дальнейшим увеличением концентрацией некоторых веществ (нитритный азот, легкоокисляемое органическое веществ (по БПК<sub>5</sub>), никель и свинец), но для большинства загрязняющих веществ характерна стабилизация или незначительное снижение концентраций по сравнению с городским участком. Это свидетельствует о решающей роли столичного мегаполиса в трансформации природных фоновых концентраций большинства рассматриваемых химических веществ в воде р. Москвы.

### **Выводы**

В результате анализа продольной трансформации фоновых характеристик химического состава воды р. Москвы выявлено, что природные концентрации большинства веществ не выходят за рамки рыбохозяйственных нормативов, хотя и подвержены сезонной изменчивости. В то же время именно антропогенная трансформация, главным образом под воздействием городской застройки и сбросов сточных вод, приводит к многократному увеличению содержания загрязняющих веществ в речной воде.

Выводы данной работы свидетельствуют о необходимости проведения дополнительных мониторинговых наблюдений для установления региональных фоновых значений на более подробной сетке станций по сравнению с ныне существующими пунктами наблюдений Росгидромета.

*Работы по определению влияния городской застройки на химический состав воды р. Москвы выполнялись при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта 19-77-30004. Анализ закономерностей сезонной изменчивости трансформации фонового качества воды проводился в рамках проекта РФФИ 21-55-53039 ГФЕН-а.*

### **Библиографический список**

РД 52.24.622-2019. Порядок проведения расчета условных фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов для установления нормативов допустимых сбросов сточных вод. Ростов-на-Дону, 2019. 95 с.

Приказ Минсельхоза РФ от 13 декабря 2016 года № 552 (с изменениями на 10 марта 2020 года) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». М., 2020.

УДК 628.3 (282.247.36)

А.П. Демин, А.В. Зайцева, [yew-tree@mail.ru](mailto:yew-tree@mail.ru)  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **СТОЧНЫЕ ВОДЫ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ДОН (1995-2018 ГГ.)**

Показано сокращение водопотребления и водоотведения в бассейне р. Дон в результате трансформации экономики и социальной сферы, ухудшение структуры сбрасываемых сточных вод. Представлены данные по существенному сокращению сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод. Выявлено, что в большинстве речных бассейнов состояние качества воды остается неудовлетворительным.

*Ключевые слова:* водопотребление, структура сточных вод, загрязняющие вещества, качество воды, бассейн реки Дон.

A.P. Demin, A.V. Zaitseva, [yew-tree@mail.ru](mailto:yew-tree@mail.ru)  
*Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia*

## **WASTE WATER AND POLLUTION OF WATER BODIES IN THE DON RIVER BASIN (1995-2018)**

The reduction of water consumption and water disposal in the Don River basin is shown. It happens as the result of transformation of the economy and social sphere, deterioration of the structure of discharged wastewater. The data on a significant reduction in the discharge of pollutants in wastewater is presented. It was revealed that in most river basins water quality remains unsatisfactory.

*Keywords:* water consumption, sewage structure, pollutants, water quality, Don river basin.

### ***Введение***

Территория бассейна р.Дон – важный в экономическом отношении регион России, где проживает более 12 млн человек, а плотность населения в 4,5 раза превышает среднероссийскую. В этом бассейне остра проблема обеспечения населения и объектов экономики водными ресурсами надлежащего качества и в требуемом режиме. Дальнейшее поступательное развитие региона тормозит нарастающий дефицит водных ресурсов [4]. Характеристика поверхностных водных объектов бассейна р. Дон по классам качества воды подробно

рассмотрена в [3; 5], где показана достаточно напряженная ситуация, особенно в низовьях Дона.

### ***Материалы и методы исследования***

Для анализа изменения объемов отводимых в поверхностные водные объекты бассейна р. Дон сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод, а также сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод, использовались данные государственной статистической отчетности, собранные по форме 2-ТП (водхоз) за период 1995–2018 гг. Анализ динамики качества поверхностных вод выполнен на основе данных гидрохимической сети Росгидромета, опубликованных в государственных докладах о состоянии и использовании водных ресурсов в Российской Федерации и ряде исследований.

### ***Анализ результатов***

В 1995 г. забор пресной воды из водных объектов бассейна Дона составлял 8,89 км<sup>3</sup>, но к 2018 г. в результате трансформации социально-экономических условий в России он снизился до 4,8 км<sup>3</sup> или в 1,9 раза [1; 2]. Среди отраслей экономики бассейна наиболее водозатратна промышленность. В 2018 г. на ее долю приходилось 58,5% общего водопотребления, хотя в середине 1990-х гг. этот показатель составлял 66%.

Из-за неисправности оросительных систем, отсутствия поливной техники, дороговизны услуг водохозяйственных организаций площадь фактически политых земель в бассейне Дона существенно снизилась. Заметно снизились и объемы воды, используемой на орошение. Если в 1995 г. на нужды регулярного и лиманного орошения расходовалось 1,71 км<sup>3</sup>, то в 2018 г. было использовано 0,84 км<sup>3</sup> воды, или в 2 раза меньше. В большинстве регионов бассейна с 2000 по 2018 г. среднесуточное водопотребление 1 жителя (городского и сельского) из централизованных систем водоснабжения на хозяйственно-питьевые нужды снизилось на 15-45%, а в Пензенской и Саратовской областях – в два раза и более [4].

В результате сокращения водопотребления в жилищно-коммунальном, сельском хозяйстве и промышленности сброс сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод в поверхностные водные объекты в целом по бассейну Дона сократился за 23 года с 4,40 до 3,21 км<sup>3</sup> (на 27%). Доля загрязненных сточных вод в общем объеме отводимых сточных вод поступательно снижалась с 30,4% в 1995 г. до 16,7 % в 2018 г.

Темпы сокращения сброса сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод в поверхностные водные объекты по различным притокам р. Дон существенно отличаются. В бассейне р. Воронеж за 1995–2018 гг. общий сброс сточных вод сократился в 2,7 раза, в бассейне р. Северский Донец – в 1,7 раза, а в бассейне р. Маныч – только на 15%. Естественно, что сброс загрязненных сточных вод также заметно сократился. Однако на притоках Дона, расположенных в регионах с развитой промышленностью, наблюдается неблагоприятное соотношение загрязненных и нормативно-чистых вод. Так, в бассейне р. Воронеж удельный вес загрязненных сточных вод за 23 года вырос с 64,5 до 72,4%, а в бассейне р. Северский Донец – с 31,6 до 57,4% (рис.1). В бассейне р. Маныч основной объем отводимых вод приходится на объекты

энергетики, которые сбрасывают в водные объекты нормативно-чистые воды после охлаждения энергоблоков. Кроме того, здесь резко сократился сброс коллекторно-дренажных вод в результате снижения объемов орошения. В результате низкая доля загрязненной воды в бассейне р. Маныч в 1995 г. (12,9%) к 2018 г. упала до 3,6%.

В настоящее время большая часть загрязненных сточных вод сбрасывается в водоприемники без очистки или недостаточно очищенными. В целом по бассейну Дона объем сбрасываемых загрязненных сточных вод с 1995 по 2018 гг. снизился с 1338 до 536 млн м<sup>3</sup>, или в 2,5 раза. Казалось бы, можно улучшить качество очистки при столь существенном сокращении сбрасываемых стоков.

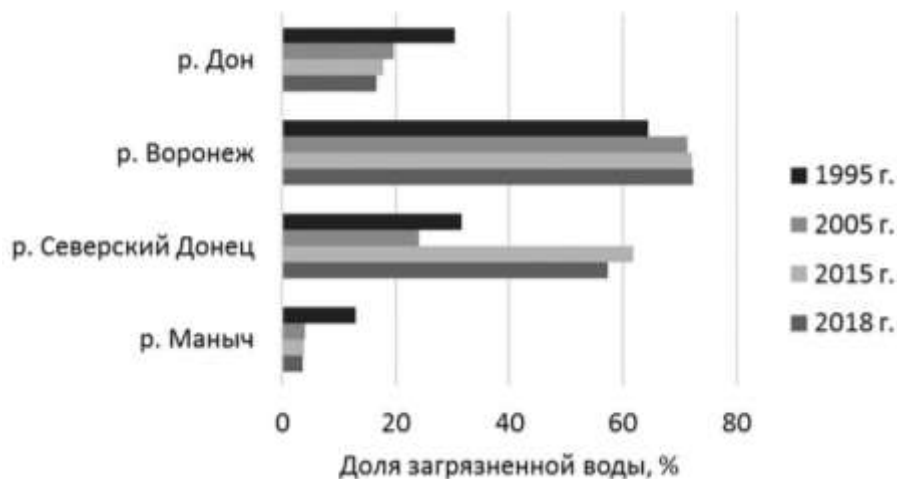


Рис. 1. Доля загрязненной воды в общем объеме сточной воды

Однако объем нормативно очищенных сточных вод на сооружениях очистки за этот период также сократился – с 221,5 до 74 млн. м<sup>3</sup>, или в 3 раза. В результате доля нормативно очищенной воды в общем объеме сточных вод, требующих очистки, за 23 года в бассейне Дона даже снизилась – с 14,2 до 12,1%, то есть до нормативов сейчас очищается только каждый восьмой кубометр загрязненной воды (рис. 2).

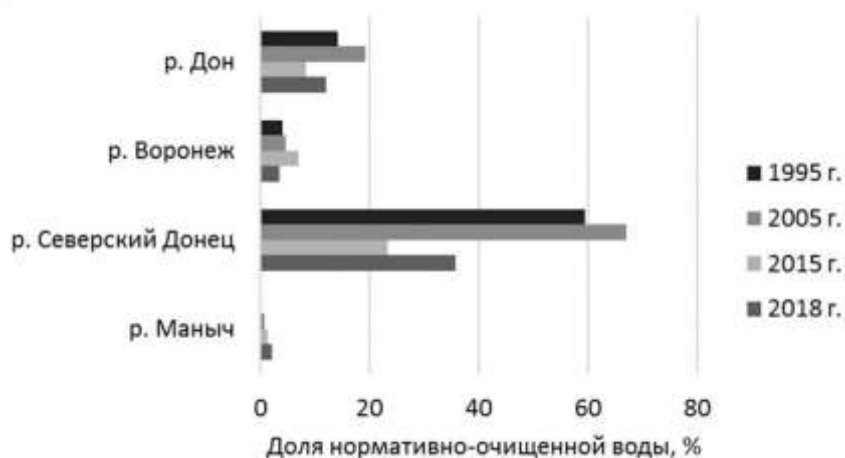


Рис. 2. Доля нормативно-очищенной воды в общем объеме сточных вод, требующих очистки

Лучшее положение наблюдается в бассейне Северского Донца, где до нормативов в 2018 г. очищался почти каждый четвертый кубометр загрязненной воды. Однако в 1995 г. ситуация была намного лучше – тогда до нормативов очищалось 60% загрязненной воды. Крайне неблагоприятная ситуация сложилась в бассейнах рр. Воронеж и Маныч, где в 2018 г. очищалось до нормативов только 3,5 и 2,2% загрязненных сточных вод.

В связи со снижением объемов отводимых сточных вод, изменением их структуры значительный интерес представляет анализ динамики сбросов загрязняющих веществ (ЗВ). По большинству ЗВ отмечается существенное снижение их сброса в водные объекты в 2018 г. по сравнению с 1995 г. [1; 2]. Наибольший эффект достигнут в снижении сброса нефтепродуктов и меди. В целом по бассейну Дона, а также в бассейне р. Северский Донец количество сброшенных нефтепродуктов в составе сточных вод снизилось за этот период в 8 раз, в бассейне р. Воронеж – в 4,3 раза. Количество меди в составе сточных вод сократилось за 23 года в бассейне Дона в 4,2 раза, в том числе в бассейне Северского Донца в 6,7 раза, а в бассейне рр. Воронеж и Маныч – в 2,5 раза. Сброс аммонийного азота в бассейне Дона остался на прежнем уровне. Биохимическое потребление кислорода (БПК), являющееся одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами, сократилось в бассейне Дона за этот период в 2,8 раза, а масса сухого остатка – в 3 раза. Единственное вещество, по которому отмечается рост – это нитраты. В целом по бассейну Дона их сброс в составе сточных вод увеличился в 3 раза, причем в бассейнах рр. Воронеж и Северский Донец он вырос в 6 и 11 раз, а в бассейне р. Маныч остался на прежнем уровне.

Исходя из приведенных выше данных о снижении объема загрязненных сточных вод и сброса ЗВ в водные источники можно было бы ожидать ощутимого улучшения их качества. Однако на большинстве участков и притоков Дона состояние качества воды остается неудовлетворительным и по-прежнему не отвечает нормативным требованиям. Этот эффект вызван действием ряда неконтролируемых (рассредоточенных) источников загрязнения, а также источников вторичных (накопленных) загрязнений. По многим оценкам именно они вносят основной вклад в загрязнение водных объектов.

Анализ динамики качества поверхностных вод выполнен на основе статистической обработки данных гидрохимической сети Росгидромета по наиболее характерным для каждого водного объекта показателям [3]. Качество воды в течение ряда лет колеблется от «слабо загрязненной» (только в одном створе р. Дон – выше г. Лиски) до «грязной». Качество воды остальных створов верхнего течения Дона на участке г. Воронеж – с. Новая Калитва, а также среднего течения (ст. Казанская – г. Калач-на-Дону) стабильно оценивается как «загрязненная».

В многолетнем плане наиболее загрязненной и оцениваемой как «грязная» сохраняется вода р. Дон в верхнем течении в районе г. Донской и в нижнем течении на участке г. Ростов-на-Дону – г. Азов. Для воды нижнего участка реки характерными ЗВ являются органические вещества (по БПК<sub>5</sub> и ХПК),

нефтепродукты, сульфаты, соединения железа. Здесь же отмечается и максимальная минерализация воды.

Существенное негативное влияние на качество воды р. Дон оказывает р. Северский Донец. Вода притоков ее верхнего течения (рр. Оскол и Осколец), а также в Белгородском водохранилище в течение многих лет характеризуется как «грязная». Вода р. Северский Донец на территории Ростовской области и всех ее притоков в нижнем течении (рр. Б. Каменка, Глубокая Калитва, Быстрая, Кундрючья) также устойчиво относится к категории «грязная». Согласно [5] наиболее загрязнены воды р. Дон на участке от г. Калач-на-Дону до устья реки; р. Северский Донец от границы Ростовской области с Украиной до устья реки; р. Маныч от плотины Пролетарского водохранилища до устья реки; р. Сал от х.Комиссаровский (309 км) до устья реки; р. Егорлык в устье.

### **Выводы**

Практически все водные объекты бассейна Дона подвержены антропогенному воздействию. В сельской местности значительный ущерб малым рекам наносится из-за нарушения режима хозяйственной деятельности в водоохраных зонах и смыва в водотоки органических и минеральных веществ, пестицидов, частиц почвы в результате водной эрозии. Экономические инструменты регулирования водопользования недостаточно мотивируют водопользователей к проведению водоохраных мероприятий. Несмотря на снижение контролируемой массы поступающих загрязняющих веществ в несколько раз, улучшения качества поверхностных вод в целом не наблюдается, что говорит о росте загрязнений, поступающих от диффузных источников и донных отложений.

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

### **Библиографический список**

1. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2009 году (Статистический сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского и А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа, 2010. 272 с.
2. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2018 году (Статистический сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко. М.: НИА-Природа, 2019. 274 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
4. 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.
5. Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 2017. 205 с.

Т.П. Жежеря, В.А. Жежеря, [tanyadyka@ukr.net](mailto:tanyadyka@ukr.net)  
*Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев, Украина*

## **БИОГЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РЕТРОСПЕКТИВЕ И СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Рассмотрены результаты исследований биогенных веществ (неорганический азот, неорганический фосфор и растворенный кремний) в воде среднего Днестра и Каневского водохранилища на протяжении 1951–2020 гг. Установлено, что в современных условиях концентрация неорганического азота снизилась до значений 1951–1964 гг., когда она в среднем находилась в пределах 0,399–0,455 мг N/дм<sup>3</sup>. Концентрация неорганического фосфора увеличилась в среднем от 0,030 до 0,197 мг P/дм<sup>3</sup>. Массовая доля аммонийного азота снизилась от 90,2 до 55,5% N<sub>неорг.</sub>, а нитратного азота увеличилась от 7,5 до 42,2% N<sub>неорг.</sub>. Соотношение N:P находилось в среднем в пределах 2,1–19,2, достигая минимума в 2014–2020 гг., что свидетельствует об усилении загрязнения воды неорганическим фосфором. Концентрация растворенного кремния находилась в среднем в пределах 4,0–5,2 мг/дм<sup>3</sup>.

*Ключевые слова:* биогенные вещества, аммонийный азот, нитритный азот, нитратный азот, неорганический фосфор, кремний.

T.P. Zhezherya, V.A. Zhezherya, [tanyadyka@ukr.net](mailto:tanyadyka@ukr.net)  
*Institute of hydrobiology NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine*

## **BIOGENIC SUBSTANCES IN THE WATER OF THE KANEV RESERVOIR IN RETROSPECTIVE AND MODERN STATE**

The results of studies of biogenic substances (inorganic nitrogen, inorganic phosphorus and dissolved silicon) in the water of the middle Dnieper and the Kanev reservoir during 1951–2020 were considered. It was found that the concentration of inorganic nitrogen in modern conditions decreased to the values of 1951–1964, when its concentration on average was in the range of 0.399–0.455 mg N/dm<sup>3</sup>. The inorganic phosphorus concentration increased on average from 0.030 to 0.197 mg P/dm<sup>3</sup>. The share of ammonium nitrogen decreased from 90.2 to 55.5% N<sub>inorg.</sub>, and that of nitrate nitrogen increased from 7.5 to 42.2% N<sub>inorg.</sub>. The N:P ratio was in the range of 2.1–19.2 on average, which reached its minimum in 2014–2020. This indicates an increase in water pollution with inorganic phosphorus. The dissolved silicon concentration was on average in the range of 4.0–5.2 mg/dm<sup>3</sup>.

*Keywords:* biogenic substances, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, inorganic phosphorus, silicon.

### ***Введение***

Среди множества компонентов химического состава природных вод важное место занимают биогенные вещества – соединения азота, фосфора и кремния. Они определяют интенсивность развития и жизнедеятельность гидробионтов, трофический статус водных объектов, а также в той или иной мере уровень их загрязнения. Как известно, избыточное поступление соединений азота и фосфора в поверхностные воды за счет точечных и диффузных



источников приводит к их эвтрофированию, негативными последствиями которого являются «цветение» воды, замор рыбы, дефицит растворенного кислорода, ухудшение качества воды. В значительной мере этому процессу подвержены не только небольшие лимнические экосистемы, но и крупные водохранилища, особенно находящиеся в черте больших населенных пунктов.

Каневское водохранилище – второе по счету в каскаде днепровских водохранилищ, расположено на территории Киевской и Черкасской областей. Среди водохранилищ Днестра оно заполнялось водой самым последним в течение 1974–1976 гг. Площадь водного зеркала водохранилища составляет 581 км<sup>2</sup>, площадь водосбора – 336 тыс. км<sup>2</sup>, полный объем – 2,48 км<sup>3</sup>, полезный объем – 0,28 км<sup>3</sup>, средняя глубина – 3,9 м, а максимальная – 21 м. Водообмен в водохранилище происходит 16–18 раз в год, колебания уровня воды не превышают 0,5 м, достигая своего максимума весной. По гидроморфометрическим показателям акваторию Каневского водохранилища разделяют на три части: верхнюю, длиной 63 км, простирающуюся с северо-запада на юго-восток, среднюю, длиной 30 км, которая частично ориентирована на восток, и нижнюю, длиной 30 км, расположенную в направлении с севера на юг. Учитывая значительную антропогенную нагрузку на водоем со стороны г. Киева, в верхней части Каневского водохранилища выделяют киевский участок водохранилища длиной 43 км [1; 3; 9; 10].

Целью наших исследований было установление многолетних изменений содержания соединений неорганического азота, неорганического фосфора и растворенного кремния в воде среднего Днестра и Каневского водохранилища.

### ***Материалы и методы исследования***

Для анализа содержания биогенных веществ в ретроспективе использовали многолетние результаты исследований за период 1951–2013 гг., которые освещены в следующих публикациях [2–5; 7; 8; 11; 12]. Результаты наших исследований охватывают период с 2014 по 2020 гг. и были отнесены к современному этапу формирования гидрохимического режима биогенных веществ Каневского водохранилища. Исследования проводили на верхнем, в черте г. Киева (заливы Собачье Гырло и Оболонь, вблизи Северного моста, залива Осокорки, в районе впадения р. Лыбедь и Конча-Заспы) и среднем (г. Ржищев, Киевская обл.) участках Каневского водохранилища. Пробы воды отбирали преимущественно с поверхностного слоя (0,5 м), используя батометр Рутнера или модифицированный батометр-бутылку. Взвешенные вещества извлекали путем фильтрации воды объемом 1,0–1,5 дм<sup>3</sup> через нитроцеллюлозные мембранные фильтры “Synpor” (Чехия) или “Fioroni” (КНР) с диаметром пор 0,4 и 0,45 мкм соответственно. Концентрацию неорганических форм азота и фосфора, а также кремния измеряли фотометрически в фильтрах природной воды [6]. Аммонийный азот определяли с реактивом Несслера, нитриты – с реактивом Грисса, нитраты – с салицилатом натрия, неорганический фосфор – по реакции взаимодействия ортофосфатов с молибдатом аммония в кислой среде при наличии аскорбиновой кислоты, кремний – в виде синей (восстановленной) формы кремниймолибденовой гетерополиокислоты с использованием в качестве восстановителя метол-сульфитной смеси.

### Результаты исследования и их обсуждение

В воде среднего Днепра и Каневского водохранилища за весь период исследований 1951–2020 гг. среди неорганических соединений азота доминировала аммонийная форма, относительное содержание которой в среднем снижалось от 90,2% (1951–1954 гг.) до 55,5%  $N_{\text{неорг}}$  (2014–2020 гг.). В то же время для нитратной формы азота было характерно увеличение ее массовой доли в среднем от 7,5 до 42,2%  $N_{\text{неорг}}$ . Относительное содержание нитритной формы азота сильно не изменялось и в среднем составляло 1,4–4,4%  $N_{\text{неорг}}$ . Увеличение массовой доли нитратного азота было отмечено с 1970–1972 гг., когда она составляла 30,8%  $N_{\text{неорг}}$ . В период с 1978 по 2013 г. относительное содержание этой формы азота возросло от 29,3 до 34,7%  $N_{\text{неорг}}$ , а в современных условиях (2014–2020 гг.) составило 42,2%  $N_{\text{неорг}}$ . Анализируя усредненные величины концентрации неорганических форм азота, следует отметить, что их максимальное содержание было установлено в течение 1970–1972 гг. и 1978–1985 гг. (рис. 1). В это время концентрация аммонийного, нитритного и нитратного азота составляла соответственно 0,695–0,800, 0,016–0,024 и 0,320–0,338 мг  $N/\text{дм}^3$ . В указанные периоды характерно также максимальное содержание неорганического азота, которое составляло 1,039–1,152 мг  $N/\text{дм}^3$ . Концентрация неорганического азота в дальнейшем снижалась и уже в 2014–2020 гг. в среднем составляла 0,422 мг  $N/\text{дм}^3$ . В современных условиях вода Каневского водохранилища по содержанию неорганического азота начала соответствовать периоду 1951–1964 гг., когда его концентрация в среднем находилась в пределах 0,399–0,455 мг  $N/\text{дм}^3$ . Согласно результатам исследований, концентрация аммонийного, нитритного и нитратного азота до 2014 г. находилась в пределах 0,1–2,5, 0–0,328 и 0–1,38 мг  $N/\text{дм}^3$ , а в современных условиях – 0,055–1,21, 0,001–0,032 и 0,014–0,736 мг  $N/\text{дм}^3$ .

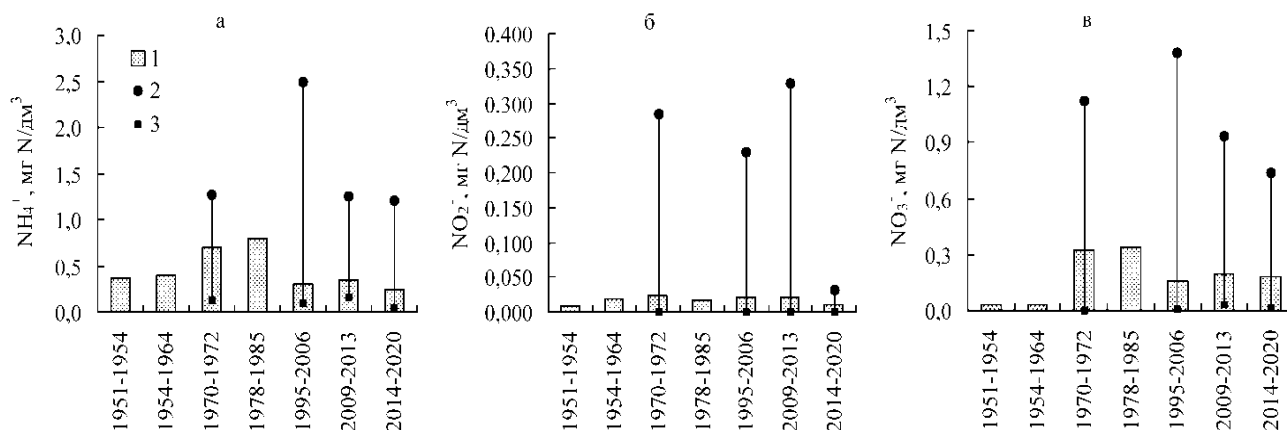


Рис. 1. Многолетние изменения концентрации аммонийного азота (а), нитритного азота (б) и нитратного азота в воде среднего Днепра (до 1974 г.) и Каневского водохранилища. Здесь и на рис. 2: 1 – средние, 2 и 3 – предельные величины

В период с 1951 по 1985 г. концентрация неорганического фосфора в среднем колебалась в пределах 0,030–0,075 мг  $P/\text{дм}^3$ , достигая минимальных величин в 1951–1954 гг. (рис. 2). В дальнейшем его содержание возрастает в

среднем до 0,135 мг Р/дм<sup>3</sup> в 1995–2006 гг., но максимальная величина по усредненным данным 0,197 мг Р/дм<sup>3</sup> наблюдалась в течение 2014–2020 гг. Для неорганического фосфора, по сравнению с неорганическим азотом, наоборот, характерно возрастание его концентрации в современных условиях. Упомянутые изменения содержания неорганического азота и фосфора повлияли на соотношение N:P, которое в течение 1951–2020 гг. по усредненным величинам изменялось в широких пределах 2,1–19,2. Если с 1951 по 1995 г. соотношение N:P составляло 6,1–19,2, то позже (1995–2013 гг.) оно находилось в пределах 3,5–11,5, а в современных условиях (2014–2020 гг.) это соотношение достигло минимальной величины 2,1. Исходя из выше сказанного, можно говорить о возрастании загрязнения воды Каневского водохранилища соединениями неорганического фосфора. Вообще, концентрация неорганического фосфора до 2014 г. составляла 0–0,880 мг Р/дм<sup>3</sup>, а в течение 2014–2020 гг. она находилась в пределах 0,020–0,779 мг Р/дм<sup>3</sup>.

Концентрация растворенного кремния в течение 1951–2020 гг., исходя из средних величин, мало изменилась и составляет 4,0–5,2 мг/дм<sup>3</sup>. По имеющимся результатам исследований, его концентрация находилась в пределах 0,4–13,8 мг/дм<sup>3</sup>, достигая минимальных величин весной во время интенсивного развития диатомовых водорослей, которые трансформируют кремний из растворенного состояния во взвешенную форму в результате его использования для построения кремнеземных панцирей. Такие сезонные изменения содержания растворенной и взвешенной форм кремния нами были установлены в воде Каневского водохранилища в 2012–2013 гг. [13].

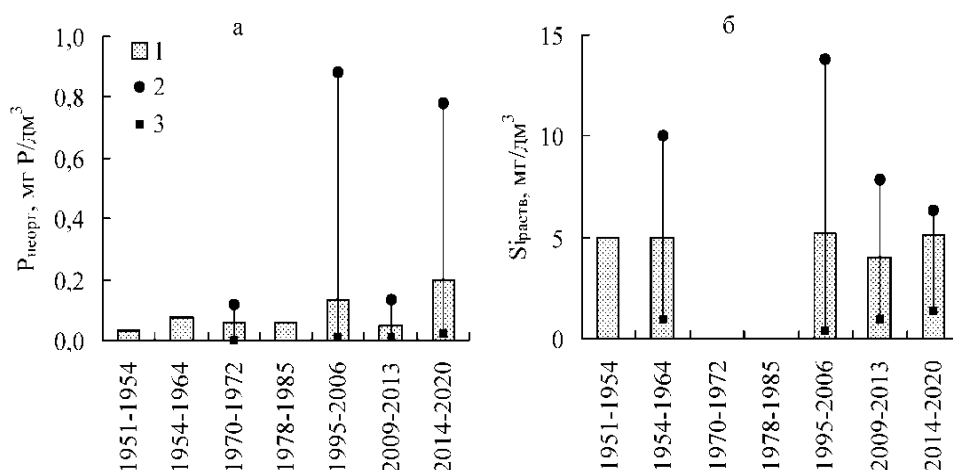


Рис. 2. Многолетние изменения концентрации неорганического фосфора (а) и растворенного кремния (б) в воде среднего Днепра (до 1972 г.) и Каневского водохранилища

### Выводы

За многолетний период исследований 1951–2020 гг. установлено, что концентрация неорганического азота по усредненным результатам достигала максимальных величин 1,039–1,152 мг N/дм<sup>3</sup> в течение 1970–1972 гг. и 1978–1985 гг. В современных условиях (2014–2020 гг.) концентрация неорганического азота снизилась до величин 1951–1964 гг., когда его концентрация в среднем

находилась в пределах 0,399–0,455 мг N/дм<sup>3</sup>. Массовая доля аммонийного азота в среднем уменьшилась от 90,2 до 55,5% N<sub>неорг</sub>, а нитратного азота, наоборот, увеличилась от 7,5 до 42,2% N<sub>неорг</sub>. Для неорганического фосфора, по сравнению с неорганическим азотом, наоборот, характерно возрастание его концентрации в среднем от 0,030 мг P/дм<sup>3</sup> в 1951–1954 гг. до 0,197 мг P/дм<sup>3</sup> в современных условиях. Это повлияло на соотношение N:P, которое в течение 1951–2020 гг. по усредненным величинам изменялось в широких пределах от 2,1 до 19,2. В современных условиях оно достигло минимальной величины 2,1, что свидетельствует об усилении загрязнения воды верхней части Каневского водохранилища соединениями неорганического фосфора. Концентрация растворенного кремния в течение 1951–2020 гг., исходя из средних величин, мало изменилась и составляет 4,0–5,2 мг/дм<sup>3</sup>. Минимальные концентрации растворенного кремния наблюдаются весной во время интенсивного развития диатомовых водорослей.

*Работа выполнена в рамках бюджетной программы "Поддержка развития приоритетных направлений научных исследований" (КПКВК 6541230).*

### Библиографический список

1. Географічна енциклопедія України: в 3-х т. / редкол.: О.М. Маринич (відповід. ред.) та ін. Київ: Українська енциклопедія ім. М.П. Бажана, 1990. Т. 2: 3–О. 480 с.
2. Денисова А.И., Майстренко Ю.Г. Влияние зарегулирования Днепра на сток биогенных и органических веществ в нижние бьефы водохранилищ // Гидробиол. журн. 1966. Т. 2. № 1. С. 36–42.
3. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1989. 216 с.
4. Кошелева С.И. Гидрохимический режим р. Днепр в районе Трипольской ГРЭС // Гидробиол. журн. 1976. Т. 12. № 1. С. 20–25.
5. Морозова А.А. К вопросу об изменении основных гидрохимических показателей экологического состояния киевского участка Каневского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. V Междунар. науч.-практ. конф. Пермь. 2015. Т. 2. С. 127–134.
6. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ: Наукова думка, 2007. 456 с.
7. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник: поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Київ: Ніка-Центр, 2008. 656 с.
8. Романишин Г.М., Якушин В.М., Каленіченко К.П., Лінчук М.І. Сучасний стан Київської ділянки Канівського водосховища за деякими гідрохімічними і мікробіологічними показниками // Наук. зап. Терноп. Нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. 2013. № 1(54). С. 38–44.
9. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины. Киев: Наук. думка, 2006. 384 с.

10. Тимченко В.М. Экологическая гидрология Днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. 2006. Т. 42. № 3. С. 81–96.

11. Щербак В.И., Якушин В.М., Задорожная Г.М. и др. Сезонная и межгодовая динамика фитопланктона, фитоэпифитона и биогенных элементов на речном участке Каневского водохранилища // Гидробиол. журн. 2015. Т. 51. № 5. С. 52–66.

12. Kureyshevich A.V., Nezbyrskaya I.N., Guseynova V.P., Morozova A.A. Influence of water temperature on the content of photosynthetic pigments in phytoplankton of Obolon bay of the Kanev Reservoir // Hydrobiol. J. 2016. Vol. 52, N 5. P. 44–55.

13. Zhezhera T.P., Zadorozhnaya A.M., Linnik P.N. The content and forms of silicon occurrence in the water of the Kanev reservoir and their dependence on phytoplankton development // Hydrobiol. J. 2014. Vol. 50. N 4. P. 100–109.

УДК 556.551

С.Г. Захаров, [s\\_zakcharov5@mail.ru](mailto:s_zakcharov5@mail.ru)

*Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический  
университет, г. Челябинск, Россия*

## **АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОЗЕР ТУРГОЯК И БОЛЬШОЙ КИСЕГАЧ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ**

Рассматривается многолетняя динамика трех основных показателей трофического состояния водоемов (прозрачности, концентрации фосфора общего и кислородного режима) для природно олиготрофных озер Южного Урала: Тургойак и Большой Кисегач. Эти озера имеют близкую историю антропогенного развития (водозабор и рекреационное природопользование), но различную степень антропогенной трансформации в связи с различными объемами поступающих биогенных веществ, влияющих на качество озерных вод и природно-рекреационный потенциал.

*Ключевые слова:* антропогенная трансформация озер, прозрачность воды, кислородный режим, фосфор общий, эвтрофикация.

S.G. Zakharov, [s\\_zakcharov5@mail.ru](mailto:s_zakcharov5@mail.ru)

*South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia*

## **ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF LAKES TURGOYAK AND BOLSHOI KISEGACH IN THE SOUTH URALS**

The article examines the long-term dynamics of three main indicators of the trophic state of water bodies (transparency, phosphorus concentration and oxygen regime) for the naturally oligotrophic lakes of the Southern Urals: Turgoyak and Bolshoi Kisekach. These lakes have a similar history of anthropogenic development (water intake and recreation). At the same time, the lakes have

a different degree of anthropogenic transformation in connection with different volumes of incoming nutrients, which affect the quality of lake waters and natural recreational potential.

*Keywords:* anthropogenic transformation of lakes, water transparency, oxygen regime, total phosphorus, eutrophication.

В 1967 г. Л.Л. Россолимо и Е.И. Федорова по результатам экспедиции Института географии АН СССР 1965 г. в числе олиготрофных озер Южного Урала назвали Тургояк и Большой Кисегач [6]. Эти живописные озера расположены к западу (оз. Тургояк) и востоку (оз. Б. Кисегач) относительно Ильменского хребта и территории Ильменского государственного заповедника; западное побережье оз. Б. Кисегач входит в состав земель ИГЗ. Это одни из самых емких и глубоких озер Челябинской области, с максимальными глубинами, превышающими 30 м (табл. 1). Общий объем воды только этих двух озер составляет около 10% суммарного «запаса» вод всех озер Челябинской области, вместе взятых (число которых по разным оценкам составляет от 1890 до 3170).

Таблица 1

### Морфометрические параметры озер Тургояк и Б. Кисегач [1;2]

<i>Озеро</i>	<i>Площадь зеркала, км<sup>2</sup></i>	<i>Площадь водосбора, км<sup>2</sup></i>	<i>Объем водной массы, млн м<sup>3</sup></i>	<i>Глубина макс., м</i>	<i>Глубина средн., м</i>
Тургояк	26,4	49	507	32,5	19,2
Б. Кисегач	14,1	114	202	32	14,6

Озеро Тургояк с 1969 г. является памятником природы; в 2007 г. статус памятника природы был подтвержден с дополнительным охраняемым участком прибрежных ландшафтов. Озеро Б. Кисегач с 1969 по 2008 г. также являлись памятником природы. Но в 2008 г. охранный статус памятника природы с озера Б. Кисегач по неизвестной нам причине был снят.

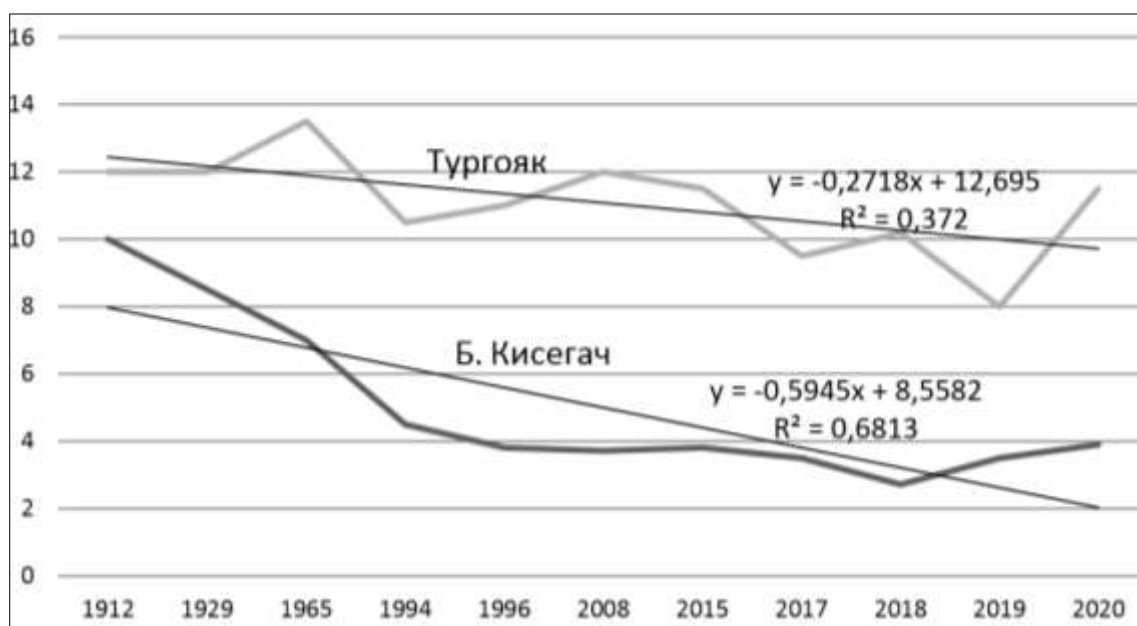
В 1930-е – 1950-е гг. Озера все активнее используются в хозяйственной деятельности (водозабор и рекреация).

Озера Б. Кисегач и Тургояк – популярные места пляжно-купального и санаторно-курортного отдыха. Количество отдыхающих (большей частью – неорганизованных) на акватории и побережье каждого из этих озер составляет порядка 50–100 тыс. чел./год. Максимальная рекреационная посещаемость в отдельные дни достигает 2000–2500 чел./час, а с учетом неравномерности отдыха – до 7000 чел./сут. [2; 3; 4].

На оз. Тургояк с 1952 по начало 1990-х гг. производился водозабор, превышающий среднегодовое водное хозяйство озера (т.е. более 5–6 млн м<sup>3</sup>/год). В настоящее время водозабор существенно уменьшен, и не угрожает вековой массе озерных вод [4]. Водозабор из оз. Б.Кисегач (в 1970-1990 гг. суммарно – около 2 млн м<sup>3</sup>/год) [2], в 2010-е гг. был существенно увеличен (ориентировочно до 3 млн м<sup>3</sup>/год, возможно и более). В сочетании с локальными изменениями на водосборе и засушливыми годами это в настоящее время (2017 – 2020 гг.) приводит к значимому понижению уровня оз. Б. Кисегач.

За годы активного вовлечения оз. Тургояк и оз. Б. Кисегач в хозяйственный цикл на озерах наблюдаются не только циклические, но и направленные негативные изменения озерных экосистем. Ведущими элементами загрязнения для олиготрофных озер являются биогенные вещества – соединения азота и фосфора. Они поступают в озера со сточными канализационными водами, со стоком с нарушенных почвогрунтов, смывом с неблагоустроенных пляжей и непосредственно от купающихся. Повышенные концентрации биогенных соединений ускоряют эвтрофикацию водоема.

Нами были прослежены долговременные изменения в ведущих показателях состояния озерной экосистемы: прозрачность по белому диску в летний период, концентрация фосфора общего в поверхностных и придонных водах, концентрации растворенного кислорода по глубинной вертикали.



Динамика изменения прозрачности вод оз. Тургояк и Б. Кисегач в июле-августе по белому диску, м (по данным [2-8] и ранее не опубликованным данным автора)

В многолетнем развитии озерных экосистем отмечается устойчивое снижение прозрачности вод (рисунок). С 2015 по 2019 г. отмечается прогрессирующее уменьшение прозрачности вод оз. Тургояк и Б.Кисегач в центральной зоне – с 11,5 м до 8 м у оз. Тургояк (падение на 70%) и с 3,8 м до 2,7 м (2018 г.) у озера Б. Кисегач (падение на 71%). В 2020 г. прозрачность водоемов практически возвращается к уровню 2015 г.; здесь можно говорить о некотором природном циклическом процессе, т.к. водоемы не связаны между собой и принципиального изменения в интенсивности или характере антропогенной нагрузки за данный период не было. Минимальная прозрачность вод олиготрофных озер – 6-8 м, с конца 1970-х гг. такая прозрачность уже не характерна для оз. Б. Кисегач.

Одним из показателей растущей эвтрофии является устойчивое повышение содержания фосфора общего; в 2020 г. отмечено некоторое снижение концентраций в поверхностных водах (табл. 2).

**Концентрация фосфора общего (мг/дм<sup>3</sup>) в поверхностных водах  
центральной части водоема (лето)**

<i>Озеро</i>	<i>1965 г.*</i>	<i>2016 г.</i>	<i>2019 г.</i>	<i>2020 г.</i>
Тургояк	0,003	0,011	0,018	0,006
Б. Кисегач	0,006	0,036	0,082	0,03

\* -- по данным [6]

В придонных слоях (на глубинах 28-30 м) современное содержание фосфора общего на оз. Тургояк не претерпело существенных изменений по сравнению с серединой 1960-х гг. (от 0,027 мг/дм<sup>3</sup> в 1965 г. до 0,032 мг/дм<sup>3</sup> в 2018 г.). Напротив, на оз. Б. Кисегач отмечено значимое изменение концентраций фосфора общего в не только в поверхностных, но и в придонных водах (от 0,011 мг/дм<sup>3</sup> в 1965 г. до 0,047 мг/дм<sup>3</sup> в 2016 г.).

Изучение содержания кислорода по глубинной вертикали в озерах за период с 1965 по 2020 г. показало, что в озерах произошли изменения: отмечаемое в 2020 г. насыщение кислородом в оз. Тургояк является следствием начальных этапов эвтрофикации, но распределение кислорода по глубине в целом характерно для олиготрофного водоема. В озере Б. Кисегач наблюдается кислородное перенасыщение верхних слоев (связано с активным размножением фитопланктонных водорослей) и дефицит кислорода в толще воды и у дна (поглощение в процессах окисления органики). Такой тип (без образования анаэробной зоны в придонных слоях) характерен для мезотрофных озер (табл. 3).

**Распределение растворенного кислорода по глубине в озерах  
в летний период, (мгО/дм<sup>3</sup> ( %))**

<i>Горизонты измерения</i>	<i>Тургояк</i>		<i>Б. Кисегач</i>	
	<i>1965</i>	<i>2020</i>	<i>1965*</i>	<i>2020</i>
Поверхность	9,1 (94%)	9,8 (105%)	8,1	10,2 (112%)
10 м	10,0 (99%)	10,8 (110%)	8,9	5,7 (53%)
20-25 м	9,8 (82%)	11,8 (109%)	8,3	5,6 (52%)
Придонные воды (28-30 м)	9,6 (80%)	10,1 (85%)	5,3	4,0 (36%)

\*- Данных по температуре и % содержания кислорода в оз. Б. Кисегач в работе [6] нет.

Оценивая динамику ведущих (критичных) гидрофизических и гидрохимических показателей состояния озерных экосистем (рисунок; табл.2, табл.3), можно сделать вывод, что с 1970-х гг. по сегодняшний день одно из олиготрофных озер (оз. Б. Кисегач) перешло на мезотрофный уровень трофии (в отдельных случаях – слабоэвтрофный уровень) и восстановления начальных природных характеристик за истекшие 50 лет так и не произошло.

Основная причина ухудшения качества вод и интенсивной эвтрофикации оз. Б. Кисегач – продолжительное (с 1929 г.) поступление хозяйственно-бытовых стоков санатория «Кисегач» в соседние, вышерасположенные относительно оз.



Б. Кисегач озера М. Теренкуль и Табанкуль. За считанные десятилетия озера Табанкуль и М. Теренкуль были существенно загрязнены биогенными веществами и изменили свой трофический статус (до политрофного; эпизодически – до гипертрофного). Продолжительный сток с этих загрязненных озер существенно изменил экосистему оз. Б. Кисегач. Из олиготрофного озера превратилось в мезотрофно-слабоэвтрофный водоем.

В оз. Тургояк значимую роль в повышении трофического статуса играет рекреация и утечки сточных вод канализации; в последние 4 года наблюдается резкое снижение прозрачности, регистрируется «цветение» вод, ранее совершенно для озера не характерное. Улучшение состояния в 2020 г., конечно, радует, но многолетняя тенденция говорит о повышении трофического статуса водоема. Озеро Тургояк на наших глазах из олиготрофного становится олиго-мезотрофным.

Для восстановления оз. Б. Кисегач необходимо сочетание восстановительных и профилактических мероприятий в системе озера Табанкуль – М. Теренкуль – Б. Кисегач. В настоящее время их можно разбить на этапы.

Первый этап: отсечение загрязненного стока из оз. М. Теренкуль в оз. Б.Кисегач; строительство в районе протоки М. Теренкуль – Б. Кисегач биопруда (возможно – на части прибрежной акватории оз. М. Теренкуль) и внедрение системы очистки по соединениям фосфора и биологическому стоку (задержка клеток цианобактерий) непосредственно в протоке между озерами.

Второй этап: комплексные восстановительные мероприятия в системе озера Табанкуль – М. Теренкуль, состоящие из отдельных взаимосвязанных мероприятий (подробно описаны в [3]).

Способность к самовосстановлению для оз. Тургояк сохраняется. Важным направлением является учет и, в перспективе, регулирование рекреационной нагрузки (стихийный туризм на побережье и водосборе, пляжно-купальный отдых). Также необходимо решить проблему канализации баз отдыха, расположенных по берегам оз. Тургояк.

Для оз. Тургояк рекомендуется усилить выполнение природозащитных мер, предусмотренных существующим статусом озера как памятника природы. Озеро Тургояк по характеристикам своих вод остается последним олиготрофным озером Южного Урала; желательно перевести озеро в статус ООПТ более высокого ранга.

### **Библиографический список**

1. Андреева М.А. Озера Среднего и Южного Урала. Челябинск, 1973. 270с.
2. Захаров С.Г. Озеро Большой Кисегач. Челябинск, 2002. 48 с.
3. Захаров С.Г. Антропогенная эвтрофикация и пути восстановления озера Кисегачской курортной зоны // Теория и практика восстановления внутренних водоемов / Отв. ред. В.А. Румянцев, С.А. Кондратьев. СПб.: ЛЕМА, 2007. С. 127-134.
4. Захаров С.Г. Динамика экологического состояния озера Тургояк // Известия Русского географического общества. 2020. Т. 152. № 1. С. 56-65. doi: 10.31857/s869607200010085.

5. Подлесный А.В., Троицкая В.И. Ильменские озера и их рыбохозяйственная оценка // Труды УралВНИИОРХ. 1941. Т.3. С.121-174.
6. Россолимо Л.Л., Федорова Е.И. Олиготрофия озер Южного Урала // Антропогенный фактор в развитии озер. М., 1967. С. 5-63.
7. Сементовский В.Н. Горные озера Урала // Известия И.Р.Г.О. Том 50. Вып. 5-6. Петроград, 1914. С.277-340.
8. Экология озера Тургой / Под ред. В.А. Ткачева, А.Г. Рогозина. Миасс, 1998. 154 с.

УДК 556

А.С. Казанцева, О.И. Кадебская, [kazanalena@bk.ru](mailto:kazanalena@bk.ru)  
*Горный институт УрО РАН ПФИЦ, г. Пермь, Россия*

## **ГИДРОХИМИЯ РЕК БАСЕЙНА КАМЫ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА**

Проанализированы гидрохимические показатели четырех рек бассейна Камы (Колва, Сытва, Шаква и Кишертка), протекающих на территории Северного и Среднего Урала в пределах Пермского края. Показано, что речные воды обоих регионов характеризуются общими условиями питания. Данные макро- и микроэлементного анализа позволили провести современную оценку качества речного стока, а также провести сравнительный анализ гидрохимических параметров вод поверхностного руслового стока двух географических регионов.

*Ключевые слова:* химический состав, микроэлементный состав, Северный Урал, Средний Урал, бассейн Камы.

A.S. Kazantseva, O.I. Kadebskaya, [kazanalena@bk.ru](mailto:kazanalena@bk.ru)  
*Mining Institute of the Ural Branch of the RAS, Perm, Russia*

## **HYDROCHEMISTRY OF THE RIVERS OF THE KAMA BASIN IN THE NORTHERN AND MIDDLE URALS**

The hydrochemical indicators of four rivers of the Kama basin (Kolva, Sylva, Shakva and Kishertka), flowing in the territory of the Northern and Middle Urals within the Perm region, have been analyzed. It is shown that the river waters of both regions are characterized by common feeding conditions. The data of macro- and microelement analysis made it possible to carry out a modern assessment of the quality of river runoff, as well as to carry out a comparative analysis of the hydrochemical parameters of the waters of the surface runoff of two geographical regions.

*Keywords:* chemical composition, trace element composition, Northern Urals, Middle Urals, Kama basin.

### ***Введение***

Территория Пермского края имеет хорошо развитую речную сеть. Реки края относятся к бассейну р. Камы, крупнейшего притока р. Волги и имеют смешанное питание, что определяется климатическими и геолого-геоморфологическими условиями.

Поверхностные воды, в том числе воды руслового стока, являются важным элементом гидрологического цикла. Речные воды из-за низкой минерализации и нехватки водных ресурсов часто используются населением в хозяйственно-бытовых целях. Из-за высокой нагрузки на них в результате оросительных работ, внесения удобрений и сбросов отходов, воды поверхностного стока теряют ценность и становятся ненадлежащего качества. Гидрохимическое исследование (макро- и микроэлементный анализ) основных водных артерий позволяет оценить качество речного стока и сравнить гидрохимические параметры вод поверхностного руслового стока Северного и Среднего Урала в пределах Пермского края.

Для исследований выбраны две крупнейшие реки бассейна Камы (Колва и Сылва), имеющие почти одинаковую протяженность и идентичные условия питания. Долины рек сложены растворимыми породами раннепермского возраста, что обусловило широкое развитие здесь карста.

### ***Материалы и методы исследования***

Качество и состояние поверхностных вод Северного и Среднего Урала оценивалось по материалам, полученными авторами в процессе работы, выполненной в 2017-2018 гг. Всего за исследуемый период из крупных поверхностных водотоков Северного Урала (р. Колва) и Среднего Урала (р. Сылва и ее притоки – р. Шаква и р. Кишертка) отобрано 46 проб. Река Колва опробована у с. Камгорт, что в 18 км севернее г.Чердыни. Пробы из р. Сылвы отобраны в г. Кунгуре у гидропоста в 100 м от входа в Кунгурскую Ледяную пещеру и в с. Усть-Кишерт. Дополнительно опробованы притоки р. Сылвы – Шаква в с. Плеханово и Кишертка в с. Усть-Кишерт и в д. Низкое.

Отбор и анализ водных проб проводились в соответствии с требованиями контроля качества [1; 2]. Аналитические исследования химического состава вод проводилось согласно стандартным методам и ГОСТам (ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000, РД 52.24.403-2007, ПНД Ф 14.1:2:4.157-99, ГОСТ 31957-2012 п.5.4, ГОСТ Р 56219-2014) в аккредитованной гидрохимической лаборатории Пермского государственного национального исследовательского университета. Макрокомпонентный состав определен лабораторными методами (потенциометрическим, фотометрическим, титриметрическим и др.), микрокомпонентный – методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Aurora M90 фирмы Bruker.

### ***Анализ результатов и выводы***

Река Колва является крупнейшим притоком р. Вишеры и четвертой по длине рекой Пермского края (бассейн р. Камы). Бассейн р. Колвы лежит в зоне умеренно континентального климата и характеризуется избыточным увлажнением (ежегодно выпадает от 700 до 1000 мм осадков). Река имеет восточноевропейский тип водного режима, с высоким весенним половодьем, низкой летней и зимней меженью, и несколько повышенным стоком осенью [6; 7].

Одной из крупных рек на территории Среднего Урала является Сылва – левый приток р. Чусовой (бассейн р. Камы). Бассейн р. Сылвы также относится к области избыточного увлажнения (ежегодно здесь выпадает от 650 мм до 800

мм осадков) и к восточноевропейскому типу с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и длительной устойчивой зимней меженью [5; 8]. Наиболее крупными притоками реки, которые проанализированы в статье, являются рр. Шаква и Кишертка.

Состав вод в исследуемых географических регионах заметно отличается (таблица). Речные воды Северного Урала менее минерализованы ( $249,8 \pm 58,5$  мг/дм<sup>3</sup>), имеют пониженные значения  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и ионов Ca по сравнению с водами Среднего Урала ( $712,4 \pm 72,2$  мг/дм<sup>3</sup>), что связано с геологией районов и составом пород, слагающих водосборную площадь. На территории Северного Урала преимущественно развиты карбонатно-терригенные отложения, Среднего Урала – карбонатно-сульфатные. Воды р. Колвы имеют преимущественно  $\text{HCO}_3^-$ -Ca состав, но в летний и зимний периоды в составе вод появляется ион Na, а в осенний и зимний – несколько повышается содержание ионов Cl и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Воды р. Сылвы и ее притоки имеют постоянный  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ -Ca и  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ -Ca-Mg состав.

#### Средние гидрохимические показатели вод поверхностного руслового стока Северного и Среднего Урала

	<i>pH</i>	<i>Минерализация мг/дм<sup>3</sup></i>	<i>Жесткость °Ж</i>	<i><math>\text{HCO}_3^-</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i><math>\text{SO}_4^{2-}</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i>Cl<sup>-</sup>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i><math>\text{NO}_3^-</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>
Северный Урал	$7,0 \pm 0,3$	$249,8 \pm 58,5$	$2,1 \pm 0,5$	$132,3 \pm 33,9$	$24,5 \pm 11,1$	$23,9 \pm 13,3$	$1,7 \pm 1,0$
Средний Урал	$7,5 \pm 0,08$	$712,4 \pm 72,2$	$9,2 \pm 1,1$	$269,4 \pm 15,3$	$237,4 \pm 44,1$	$16,1 \pm 3,0$	$3,3 \pm 0,5$
Элементы	<i><math>\text{NO}_2^-</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i><math>\text{Ca}^{2+}</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i><math>\text{Mg}^{2+}</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i><math>\text{Na}^+</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i><math>\text{K}^+</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i><math>\text{NH}_4^+</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i><math>\text{KMnO}_4</math>, мг/дм<sup>3</sup></i>
Северный Урал	$0,4 \pm 0,2$	$32,8 \pm 8,0$	$6,2 \pm 1,7$	$25,2 \pm 8,9$	$1,4 \pm 0,7$	0,5	$3,7 \pm 1,3$
Средний Урал	$0,2 \pm 0,01$	$141,0 \pm 17,7$	$25,4 \pm 2,3$	$11,9 \pm 2,2$	$0,9 \pm 0,2$	0,5	$2,5 \pm 0,4$

При этом по сравнению с южным регионом, где  $\text{pH} = 7,0-8,2$ , на севере речные воды нейтрально-слабокислые ( $\text{pH} = 6,5-7,9$ ) и имеют повышенную перманганатную окисляемость ( $3,7 \pm 1,3$  мгО/дм<sup>3</sup>). Вероятно, это связано с поступлением в речные воды органических веществ из заболоченных участков долин р. Колвы и ее притоков. Как известно, в основном болота на территории Пермского края расположены на севере, северо-западе и западе края. Стоит отметить, что содержания  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  в речных водах Северного Урала превышает значения Среднего Урала. Очевидно, для севера региона характерен интенсивный подток подземных вод по трещинным зонам из нижележащих сульфатных и соленосных отложений Соликамской впадины, приводящий к увеличению сульфатов, хлоридов в осенний и зимний месяцы, а натрия еще и в летний период.

Речные воды северного района меняют свой состав в зависимости от сезона и преобладающей доли различных источников питания, воды южного района имеют постоянный состав [3; 4]. В зимний период, когда поверхностный сток почти отсутствует, доминирующая роль в питании рек принадлежит разгрузке

подземных вод. По содержанию ионов р. Колва в зимний период несёт значительно больший набор основных ионов, чем воды источников, опробованных ниже по течению у сел Вильгорт, Покча и Салтаново. Расхождение в составе главных ионов указывает на то, что значительная часть стока реки в створе опробования формируется за счёт подземных вод, питающих реку выше по течению. Для вод р. Сылвы таких различий не обнаружено, подпитка осуществляется подземными водами иренского и филипповского горизонтов.

Анализ и сравнение микроэлементного состава речных вод показывает, что в целом содержание микроэлементов (Li, Be, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Mo, Cd, Pb, Sn, Cs, Ba, W, Tl, Bi) на территории Северного и Среднего Урала характеризуется невысокими значениями и не превышает ПДК. При этом содержания Mn, Cu, Zn, Rb, Mo, Sn преобладают в речных водах Северного Урала, Li, Co, Ni, Sr, Ba, W, Pb – Среднего Урала. Эти различия в концентрациях незначительны для оценки качественного состава вод, поскольку не вызывают угрозу для живых организмов. Концентрации Be, Zr, Cd, Cs, Tl, Bi идентичны для речных вод обоих регионов. Стоит отметить, что в летне-осенний период в р. Колве, в весенний период на территории г. Кунгура в р. Сылве и осенью в р. Сылве на территории с. Усть-Кишерть содержание Fe в водах превышает в 2-3 раза (до 0,7-0,9 мг/дм<sup>3</sup>) их средние значения. Поступление поверхностно-склоновых вод богатых органическим веществом в весенний период, приток вод из заболоченных участков или процессы заболачивания рек в летне-осеннее время обусловили повышенные значения Fe в водах поверхностного руслового стока. В весенний период для большинства микроэлементов характерно уменьшение содержаний за счет низкой минерализации снеговых вод.

Таким образом, речные воды исследуемых регионов имеет удовлетворительное качество при минерализации в пределах 100-1000 мг/дм<sup>3</sup>, перманганатной окисляемости 0,3-6,3 мгО/дм<sup>3</sup>, при величине общей жесткости до 9°Ж и количестве вредных примесей, не превышающем санитарные нормы. Исключением является р. Кишертка в с. Усть-Кишерть, где минерализация (>1000 мг/дм<sup>3</sup>) и жесткость (до 19°Ж) превышает ПДК. Стоит отметить, что химический состав вод р. Кишертки изменяется вниз по течению: в верхнем течении у д. Низкое имеет низкую минерализацию (497,0-535,0 мг/дм<sup>3</sup>) за счет разбавления более пресными водами, поступающими из карбонатных отложений. Вблизи устья минерализация повышается до 1408,0 мг/дм<sup>3</sup>, что связано с разгрузкой сульфатных вод в этой части района исследования.

*Исследование выполнено в рамках Программы ФНИ, проект № 0422-2019-0144-С-02 «Геохимическая и минералогическая эволюция осадконакопления в Соликамском палеобассейне».*

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору».
2. ГОСТ 2874-82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.

3. Казанцева А.С. Гидрохимия и изотопный состав реки Колвы // XXII симпозиум по геохимии изотопов имени академика А.П. Виноградова. М.: Акварель, 2019. С. 205-210.

4. Казанцева А. С. Изотопная и геохимическая характеристика вод р. Сылта // Горное эхо. Пермь, 2020. №1(78). С. 3-7.

5. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т.2: Вопросы гидрогеологии карста, реки и озера карстовых районов, карст мела, гидротермокарст: учеб. пособие / Геогр. о-во СССР; Ин-т карстоведения и спелеологии; Перм. ун-т. Пермь, 1969. 529 с.

6. Пермский край: путеводитель и энцикл. справ. / под ред. О. Б. Андрияшкина. 3-е изд., доп. и испр. Пермь: Стиль-МГ, 2007. С. 849-850.

7. [https://water-rf.ru/Водные\\_объекты/1501/Колва](https://water-rf.ru/Водные_объекты/1501/Колва).

8. [https://water-rf.ru/Водные\\_объекты/619/Сылва](https://water-rf.ru/Водные_объекты/619/Сылва).

УДК 502.57

Л.А. Камалетдинова, А.Р. Хафизов, И.З. Гайсин, Р.А. Низамова

[chafizov@mail.ru](mailto:chafizov@mail.ru)

*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Башкирский филиал, г. Уфа, Россия*

## **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ В АКВАТОРИИ ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Рассмотрены результаты исследований многолетней динамики химического состава воды (концентрации химических веществ) в акватории Павловского водохранилища. В многолетней динамике тренд снижения химических показателей в воде показывают Fe, Mn, нефтепродукты, фенолы (во входном створе), ХПК; тренд повышения –  $R_{общий}$ , Cu, Zn, фенолы (в выходном створе). Установлена связь среднегодовых концентраций химических показателей в воде Павловского водохранилища со среднегодовым притоком.

*Ключевые слова:* водохранилище, химический состав воды, концентрация химических веществ, ПДК, акватория, многолетняя динамика, водосборная площадь.

L.A. Kamaletdinova, A.R. Khafizov, I.Z. Gaysin, R.A. Nizamova

[chafizov@mail.ru](mailto:chafizov@mail.ru)

*Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection  
Bashkir Branch, Ufa, Russia*

## **LONG-TERM DYNAMICS AND CURRENT TREND OF CHANGE OF WATER CHEMICAL COMPOSITION IN THE WATER AREA OF PAVLOVSK RESERVOIR**

The results of studies of long-term dynamics of chemical composition of water (concentration of chemicals) in the water area of Pavlovsk reservoir are considered. In many years dynamics, the trend of decreasing chemical indicators in water is shown by Fe, Mn, petroleum products, phenols (in the inlet solution), COD; upward trend –  $R_{total}$ , Cu, Zn, phenols (in output solution). An average

annual concentration of chemical indicators in the water of the Pavlovsk reservoir was established with an average annual influx.

*Keywords:* reservoir, chemical composition of water, concentration of chemicals, maximum permissible concentration of substances, water area, long-term dynamics, catchment area.

### ***Введение***

Первые комплексные исследования водохранилища были проведены Башкирским отделом УралНИИВХ в 1986-1988 гг. по теме «Влияние хозяйственной деятельности на качество водных ресурсов Павловского водохранилища». В перечень работ входило: наблюдение за химическим составом воды, оценка антропогенного загрязнения водохранилища, определение объемов переработки берегов [1; 2].

В 2000 г. ФГУП РосНИИВХ во время выполнения работ по теме «Провести предпроектные исследования и разработать прогноз гидрохимического и гидробиологического состояния проектируемого Юмагузинского водохранилища с учетом режимов его эксплуатации, и водохозяйственный прогноз на участке до г. Стерлитамака», проводил и комплексные изыскания Павловского водохранилища. В составе данной работы было выполнено исследование качества воды и фитопланктона.

На сегодняшний день в рамках государственной статистической отчетности Государственное учреждение «Башкирское территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ФГБУ «Башкирское УГМС») ведет учет содержания ряда химических элементов в двух створах водохранилища (с. Караидель и с. Павловка).

Собственные полевые исследования, выполненные Башкирским филиалом РосНИИВХ, проводились в весенний предпаводный, осенний и летний межень периоды 2018-2019 гг. [1;3;4;5]. Работы были направлены на исследование химического состава и качества воды водохранилища.

Целью данной работы – исследование многолетней динамики изменения химического состава воды в акватории Павловского водохранилища.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проанализированы имеющиеся фондовые материалы по ранее проведенным исследованиям химического состава воды;
- проведены полевые исследования химического состава воды водохранилища в 2018-2019 гг. в весенний и осенний периоды (до паводков), в летнюю межень;
- установлены за многолетний период притоки и сбросы воды водохранилища;
- построены графики изменения концентрации химических показателей в воде Павловского водохранилища: на входном створе (с. Караидель) и на выходном створе (в районе верхнего бьефа плотины) за период с 1986 по 2019 г.

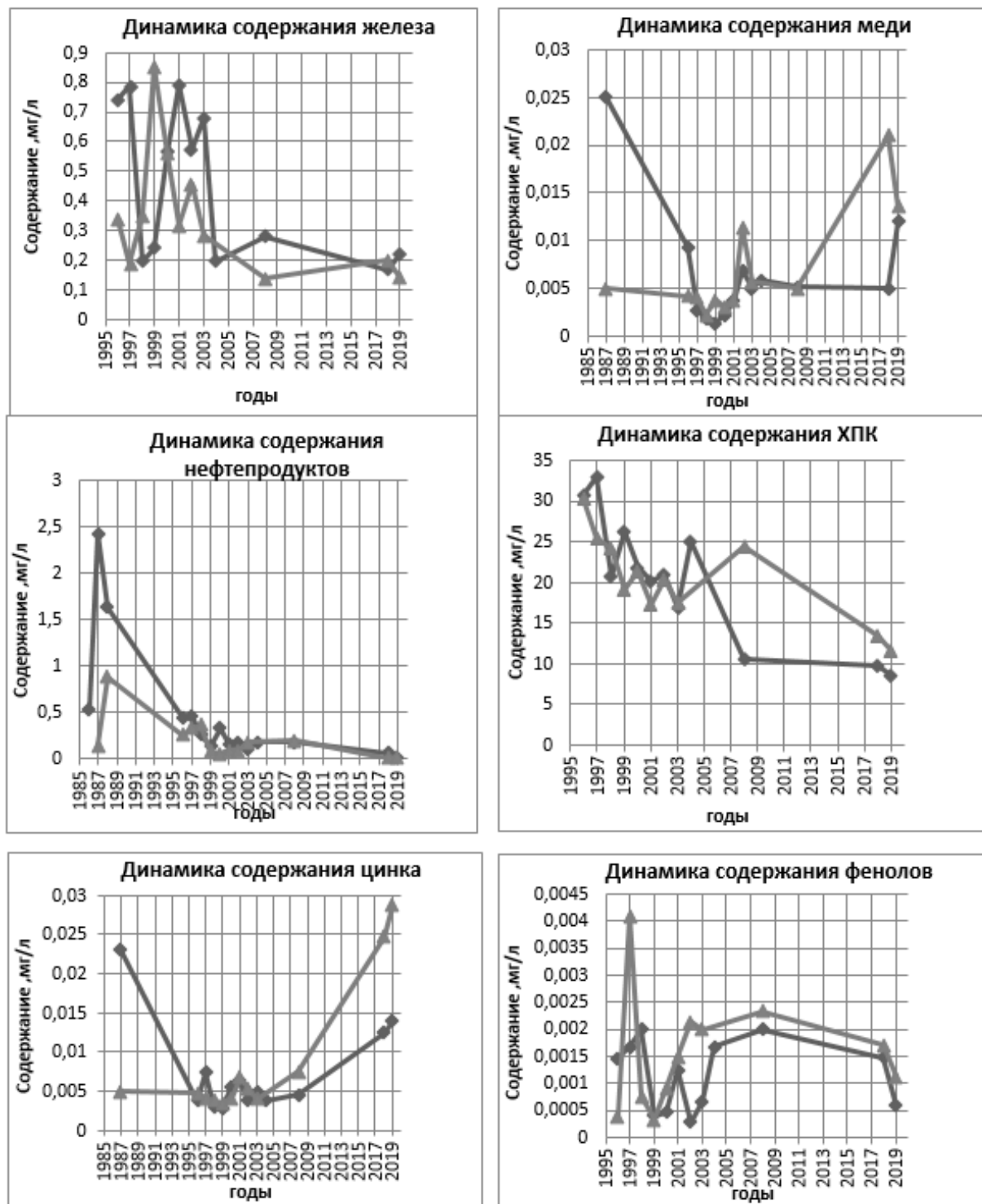
### ***Материалы и методы исследования***

Для анализа многолетней динамики химического состава воды Павловского водохранилища были изучены исследования УралНИИВХ и БСХИ – 1986- 1987 гг., УралНИИВХ – 1989 г., РосНИИВХ – 2000 г., а также

собственные исследования 2018-2019 гг. и данные государственной статистической отчетности ФГБУ «Башкирское УГМС» в 1996-2004 гг. и 2008 г.

### Анализ результатов

Изменения среднегодовой концентрации химических показателей в воде Павловского водохранилища по годам для верхнего створа (с. Караидель) и нижнего створа (ВБ) показаны на рис. 1.



◆ Караидель, ■ ВБ

Рис. 1. Изменения концентрации химических показателей в воде по створам от верховьев водохранилища к верхнему бьефу плотины и притока воды в водохранилище



Связь многолетней динамики химического состава воды со среднегодовым притоком установлена по графикам годовой динамики среднегодового притока и химических показателей в воде Павловского водохранилища [1;3;4] и из рис.1.

### Многолетняя динамика химического состава воды Павловского водохранилища и ее связь со среднегодовым притоком

Хими- ческие показа- тели	Многолетняя динамика химического состава воды					Связь с притоком воды
	за период, годы	Створ				
		Караидель		ВБ (верхний бьеф)		
		направление тренда*	среднегодовая величина тренда**, %	направление тренда*	среднегодо- вая величина тренда**, %	
Feобщий	1996-2004, 2008, 2018- 2019	снижение	3,5	снижение	3,2	прямая
Pобщий	1986-1987, 1996-2004, 2008, 2018- 2019	повышение	1,3	повышение	0,7	обратная
Mn	1999-2004, 2008, 2018- 2019	снижение	3,1	снижение	3,5	прямая
Cu	1987, 1996- 2004, 2008, 2018-2019	снижение	1,8	повышение	3,1	обратная
Нефтепр одукты	1986-1988, 1996-2004, 2008, 2018- 2019	снижение	2,4	снижение	2,6	нет связи
Zn	1987, 1996- 2004, 2008, 2018-2019	повышение	0,1	повышение	2,4	обратная
Фенол	1996-2004, 2008, 2018- 2019	снижение	0,3	повышение	0,5	обратная
ХПК	1996-2004, 2008, 2018- 2019	снижение	3,2	снижение	2,1	обратная

Примечание: \* линия тренда – линейная; \*\* величина тренда определена в % по отношению к наибольшему значению тренда.

### Выводы

Сопоставление многолетней динамики среднегодовых концентраций химических показателей в воде Павловского водохранилища со среднегодовым притоком показало, что между ними, кроме нефтепродуктов, имеется прямая (при увеличении притока концентрация химического показателя увеличивается) или обратная (при увеличении притока концентрация химического показателя

уменьшается) связь. Так,  $Fe_{общий}$  и  $Mn$  имеют прямую связь, а  $P_{общий}$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ , фенолы и ХПК – обратную связь.

В многолетней динамике тренд снижения показывают  $Fe_{общий}$ ,  $Mn$ , нефтепродукты, фенолы (во входном створе), ХПК. Максимальное среднегодовое снижение в выходном створе (ВБ) у  $Mn$  (3,5 %), минимальное – у органических загрязнений (2,1 %). Тренд повышения наблюдается у  $P_{общий}$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ , фенолов (в выходном створе). Максимальное среднегодовое повышение в выходном створе (ВБ) у  $Cu$  (3,1 %), минимальное – у фенолов (0,5%).

### Библиографический список

1. Хафизов А.Р., Валитов С.А., Камалетдинова Л.А., Низамова Р.А., Гайсин И.З. Многолетняя динамика и современные тенденции изменения химического состава воды в акватории Павловского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. №4. С. 19–34.

2. Пособие по выбору приоритетных действий, направленных на реабилитацию водоемов (озера, водохранилища). Екатеринбург: ФГБУ РосНИИВХ, 2017. 73 с.

3. Хафизов А.Р., Кутляров А.Н., Шарафеева А.В. Динамика загрязнения Павловского водохранилища коммунально-бытовыми и животноводческими стоками // Наука молодых – инновационному развитию АПК: материалы XI Национальной научно-практической конференции молодых ученых. Башкирский государственный аграрный университет. 2018. С. 248-252.

4. Хафизов А.Р., Недосеко И.В., Валитов С.А., Камалетдинова Л.А., Низамова Р.А. Современный гидрологический режим и русловые процессы нижнего течения реки Уфа в районе водозаборов города Уфа // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. №5. С.4-20

5. Хафизов А.Р., Полева А.О., Валитов С.А., Шарафеева А.Б., Камалетдинова Л.А., Гайсин И.З. Оценка биогенного загрязнения воды Павловского водохранилища на реке Уфа // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. №4. С. 196-207.

УДК 556.011

М.А. Козлова<sup>1</sup>, Н.М. Щеголькова<sup>1,2</sup>, [mb1shok@mail.ru](mailto:mb1shok@mail.ru)

<sup>1</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

### ПУТИ МИГРАЦИИ И ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Рассмотрены пути миграции и трансформации лекарственных веществ в водной среде. Показано, что основным источником загрязнения являются недостаточно очищенные

коммунально-бытовые сточные воды. Встречаемость лекарственных веществ характеризуется пространственной и временной изменчивостью. Представлены некоторые закономерности в распределении некоторых групп лекарств между водой, донными отложениями и взвесями.

*Ключевые слова:* водная среда, лекарственное загрязнение, миграция, распределение вода – донные отложения.

M.A. Kozlova<sup>1</sup>, N.M. Shchegolkova<sup>1,2</sup>, [mb1shok@mail.ru](mailto:mb1shok@mail.ru)

<sup>1</sup> *Water Problems Institute of RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

## **MIGRATION AND TRANSFORMATION ROUTES OF PHARMACEUTICAL SUBSTANCES IN THE AQUATIC ENVIRONMENT**

The paper considers the ways of migration and transformation of pharmaceutical substances in the aquatic environment. It is shown that the main source of pollution is insufficiently treated wastewater. The occurrence of pharmaceutical substances is characterized by spatial and temporal variability. Some regularities in the distribution of certain groups of drugs between water, sediments and suspensions are presented.

*Keywords:* aquatic environment, pharmaceutical pollution, migration, water-sediment distribution.

### ***Введение***

В последнее время в зарубежных исследованиях значительно расширились возможности определения лекарственного загрязнения водных объектов. Это в первую очередь связано с успехами и активным развитием аналитической химии, которая позволила определять более низкие концентрации веществ в значительно загрязненных матрицах.

В настоящее время в медицине и ветеринарии используется около 4000 фармацевтически активных соединений, которые присутствуют во многих объектах окружающей среды благодаря их широкому и длительному использованию [3]. Ежегодное потребление антибиотиков во всем мире оценивается в 100-200 тыс. т, и их использование увеличивается во всех странах мира, в том числе и в развивающихся [6]. Только в России объем фармацевтического рынка в 2020 г. достиг 2 005 млрд рублей, что на 6,1% выше, чем годом ранее [1].

Основными источниками поступления лекарственных веществ в водную среду являются коммунально-бытовые сточные воды и стоки от сельскохозяйственных предприятий (животноводство, птицеводство и рыбные фермы), поскольку от 30 до 90% лекарств выводятся с продуктами жизнедеятельности, в основном, в неметаболизированном виде. При этом наиболее распространенные очистные сооружения с активным илом не удаляют эти соединения с достаточной эффективностью [2]. Помимо лекарственных веществ, используемых в медицине, ветеринарные препараты несут значительный экологический риск, поскольку активные агенты и продукты их разложения попадают в окружающую среду напрямую, практически не проходя через системы очистки сточных вод [7].

Знание концентраций различных лекарственных веществ в окружающей среде необходимо для понимания их распространения и возможных экологических рисков.

Однако исследований, касающихся распределения лекарственных веществ между водной средой, донными отложениями, взвесями и пр., всё еще недостаточно. При этом донные отложения при определенных условиях могут являться источником вторичного загрязнения. В настоящее время этой проблеме посвящены лишь некоторые отдельные научные работы, в которых проводится попытка определения закономерностей между многофакторными процессами: свойствами водной среды (температура, соленость, pH воды и пр.), свойствами донных отложений (структура, состав, плотность и пр.), химическими свойствами самих лекарственных веществ и пр. Целью нашей работой являлся анализ имеющихся закономерностей миграции и трансформации лекарственных веществ в водной среде и оценка роли взвешенных веществ и донных отложений в распространении этих соединений.

### *Анализ результатов*

Рассмотрим некоторые факторы, которые могут влиять на миграцию лекарственных веществ между водой, донными отложениями и взвесью.

В работе [7] было показано, что встречаемость целого ряда антибиотиков характеризуется пространственной и временной изменчивостью. Концентрация веществ может расти в осенне-зимний и весенний период, т.е. в месяцы эпидемиологически неблагоприятные, а также в некоторые летние месяцы (в засушливый период), когда естественным путем уменьшается разбавление недостаточно очищенных сточных вод в водном объекте. Противоположная картина наблюдается в паводки и в половодье – большие водные массы способны достаточно сильно уменьшить содержание лекарственных веществ в водных объектах за счет разбавления. Таким образом, гидрологический фактор зон с выраженным половодьем в данном исследовании был обозначен как один из базовых, который изменяет концентрацию препаратов в водных объектах.

Исследованию роли гидрологических факторов и сорбционных процессов посвящена также работа [8]. В этой работе рассматривался процесс накопления лекарственных веществ в донных отложениях выше, ниже и в самом месте сброса коммунальных сточных вод на реке Медуэ (Кент, Великобритания). Пробы отбирались регулярно в период с декабря 2009 г. по декабрь 2010 г., определялось содержание 9 лекарственных препаратов (пропранолол, сульфаметоксазол, мебеверин, тиоридазин, карбамазепин, тамоксифен, индометацин, диклофенак и меклофенамовая кислота). Было отмечено, что все соединения, за исключением сульфаметоксазола, показали 100% обнаружение, что указывает на широко распространенное присутствие таких соединений в воде и в донных отложениях в районе исследования и их потенциальную стойкость. В водной толще самые высокие концентрации были обнаружены в зоне сброса сточных вод, что согласуется с тем, что они являются точечным источником, причем наиболее распространенными являются диклофенак, карбамазепин и меклофенамовая кислота. В поверхностных донных отложениях самые высокие концентрации наблюдались на участке сброса сточных вод, за

исключением февраля 2010 г., когда участок ниже по течению был наиболее насыщен фармацевтическими препаратами. Это было вызвано большой скоростью течения в данный период, что свидетельствует о переносе лекарственных веществ с водой и об их относительно медленном накоплении. Кроме того, отмечалось, что гидрофобные вещества сильнее притягиваются к донным отложениям особенно с высоким содержанием органического углерода. При этом, чем больше взвешенных веществ было в воде, тем больше лекарств осаждалось и накапливалось в поверхностном слое осадка [8].

В работе [4], в которой анализировались пробы в устье р. Жемчужной (Южный Китай), концентрации антибиотики показали большие сезонные колебания в самой толще воды, но не в донных отложениях. Содержание общего органического углерода (ТОС) донных отложений и pH воды оказались наиболее важными факторами, влияющими на динамическое распределение норфлоксацина и эритромицина между водой и отложениями соответственно. Таким образом, авторы продемонстрировали, что эстуарные отложения могут быть потенциальным вторичным источником загрязнения при изменении условий окружающей среды.

Интересный эффект анализировался в работе [5]: влияние ветро-волновых возмущений на адсорбцию и десорбцию тетрациклина и сульфадимидина в системах вода – донные отложения. При ветровом волнении частицы наносов часто рассеиваются в приповерхностном слое воды, что способствует адсорбции и десорбции загрязняющих веществ в водных экосистемах. В этом исследовании использовались микрокосмы, включающие отложения и воду из оз. Тайху (Китай), для изучения адсорбции и десорбции веществ при различных ветро-волновых возмущениях в среде мелкого озера. Анализ процесса адсорбции показал, что концентрация тетрациклина в приповерхностном слое воды быстро снижалась, в то время как концентрация сульфадимидина оставалась практически постоянной. В экспериментах по десорбции веществ из донных отложений показано, что сульфадимидин лучше высвобождается, чем тетрациклин. Эти результаты показывают, что частицы осадка сильно адсорбируют тетрациклин, но слабо адсорбируют сульфадимидин. По сравнению с фоновыми условиями (штиль), сильные ветровые волнения привели к более высоким концентрациям тетрациклина и сульфадимидина в отложениях и облегчили их миграцию в более глубокие слои донных отложений во время адсорбции, и, соответственно, способствовали большему выделению анализируемых веществ из частиц отложений в воду во время десорбции.

### **Выводы**

Проблема лекарственного загрязнения окружающей среды всё еще остается актуальной и не до конца изученной. Вместе с тем для оценки экологических рисков необходимо знать не только содержание лекарств в воде, но и их судьбу (пути миграции, процессы трансформации, возможность естественной дегградации и пр.). Несомненно, абиотические факторы сильно влияют на поведение веществ в среде: способствуют адсорбции или наоборот десорбции, приводят к фотодегградации и пр. Природа самих веществ, их физико-химические свойства зачастую позволяют предсказать их распределения в среде.

Можно констатировать, что для получения целостной картины распространения этих не до конца изученных потенциально опасных загрязняющих веществ необходима классификация препаратов по их сорбционной способности, а также по способности к деградации в разных условиях: аэробных и анаэробных, в растворенном или сорбированном виде, в присутствии/отсутствии тех или иных бактериальных групп. Выяснения названных закономерностей требует проведения специальных лабораторных исследований и создания общедоступной специальной базы данных, где будут собраны и классифицированы такие закономерности.

Можно уверенно говорить, что понимание подобных процессов имеет и большую практическую значимость. Знания такого рода позволят рекомендовать разные технологические схемы для очистки коммунально-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод, с учетом имеющихся природных и техногенных условий в водоприемнике данных стоков.

*Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0004 (№ государственной регистрации АААА-А19-119040990079-3) Государственного задания ИВП РАН и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-29-25027).*

### **Библиографический список**

1. Фарма: Итоги года 2020. Отчет DMS Group, Москва – <https://dsm.ru/news-reports/>
2. *Carvalho I.T., Santos L.* Antibiotics in the aquatic environments: a review of the European scenario // *Environment International*. 2016. V. 94. P. 736–757.
3. *Kümmerer K.* Pharmaceuticals in the environment — a brief summary. In: *Kümmerer K. (Ed.), Pharmaceuticals in the Environment: Sources, Fate, Effects and Risk*. Springer, Berlin, 2008. P. 3–22.
4. *Liang X., Chen B., Nie X. et al.* The distribution and partitioning of common antibiotics in water and sediment of the Pearl River Estuary, South China // *Chemosphere*. 2013. V. 92. P. 1410–1416.
5. *Liao Q., Huang Z., Li S.* Effects of wind–wave disturbances on adsorption and desorption of tetracycline and sulfadimidine in water–sediment systems // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. V. 25. P. 22561–22570.
6. *Shi H., Yang Y., Liu M., et al.* Occurrence and distribution of antibiotics in the surface sediments of the Yangtze Estuary and nearby coastal areas // *Marine Pollution Bulletin*. 2014. V. 83. P. 317–323.
7. *Siedlewicz G., Białk-Bielińska A., Borecka M.* Presence, concentrations and risk assessment of selected antibiotic residues in sediments and near-bottom waters collected from the Polish coastal zone in the southern Baltic Sea — Summary of 3 years of studies // *Marine Pollution Bulletin*. 2018. V. 129. P. 787–801.
8. *Zhou J., Broodbank N.* Sediment-water interactions of pharmaceutical residues in the river environment // *Water research*. 2014. V. 48. P. 61–70.

К.Д. Коробченкова<sup>1</sup>, А.А. Ершова<sup>2</sup>, [korobchenkova14@mail.ru](mailto:korobchenkova14@mail.ru)

<sup>1</sup>*Институт озерадения Российской академии наук СПб ФИЦ РАН,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Российский государственный гидрометеорологический университет  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВОДОСБОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

Рассмотрена возможность построения ГИС-модели на основе инструмента SWAT для оценки выноса биогенных элементов для водосбора р. Селезнёвка в Ленинградской области. Представлены этапы подготовки исходных данных для модели, построения SWAT-модели и потенциальные возможности её использования для управления качеством водных объектов. Также рассмотрены основные трудности применения SWAT-модели для водосбора Финского залива.

*Ключевые слова:* ГИС-моделирование, SWAT, биогенная нагрузка, трансграничные реки, водосбор Финского залива.

K.D. Korobchenkova<sup>1</sup>, A.A. Ershova<sup>2</sup>, [korobchenkova14@mail.ru](mailto:korobchenkova14@mail.ru)

<sup>1</sup>*Institute of Limnology of RAS*

<sup>2</sup>*Russian State Hydrometeorological University  
St. Petersburg, Russia*

## **CONSTRUCTION OF A MODEL OF NUTRIENT EXPORT FROM THE CATCHMENT USING GIS-TECHNOLOGIES**

The possibility of constructing of a GIS-model based on SWAT tool for assessing the nutrient export for the catchment area of the Seleznevka transboundary river in the Leningrad oblast is considered. The study presents the processes of preparation of initial data, building a SWAT model and the possibility of its use for management of water quality. The main difficulties of using the SWAT model for the catchment area of the Gulf of Finland are also discussed.

*Keywords:* GIS-modeling, SWAT, nutrient load, transboundary rivers, catchment of the Gulf of Finland.

### ***Введение***

Одна из главных экологических проблем Балтийского моря и, в частности, Финского залива – эвтрофикация. Для ее решения в 2007 г. Хельсинской комиссией (ХЕЛКОМ) был принят План действий по Балтийскому морю, согласно которому одной из первостепенных целей стран, расположенных на водосборной территории моря, является разработка мероприятий по снижению поступления в морскую экосистему биогенных элементов, которые ускоряют процессы эвтрофикации [3]. Наличие достоверной информации об объемах биогенных элементов, поступающих с водосборных территорий рек, является ключевым элементом для достижения данной цели.

Для оценки биогенной нагрузки с водосбора Финского залива необходимы данные регулярного мониторинга. Однако, при недостаточном количестве



регулярных постов наблюдений на реках Ленинградской области и ограниченности рядов данных является перспективным использование методов математического моделирования, в том числе применение ГИС-технологий [1].

В данной работе для оценки биогенной нагрузки для условий прибрежной зоны Финского залива рассматривается возможность использования модели SWAT (Soil and Water Assessment Tool) [4; 5], которая в настоящий момент является наиболее разработанной и апробированной в мире геоинформационной системой комплексного прогнозного моделирования потоков биогенных веществ на речном водосборе.

Успешная реализация модели SWAT с правильно заданными исходными данными позволяет получать модельные оценки нагрузки всех форм биогенных элементов, поступающих с водосбора, определять источники поступления избыточного количества биогенных веществ, и является мощным инструментом для прогнозирования влияния хозяйственной деятельности на водосбор, в том числе с учетом климатических изменений.

### ***Материалы и методы исследования***

Модель SWAT разработана Службой сельскохозяйственных исследований Департамента сельского хозяйства США (USDA) для количественной оценки воздействия методов управления земельными ресурсами в крупных и сложных водосборных бассейнах. Модель широко используется для исследования воздействия изменения землепользования и погодных условий в границах исследуемых модельных бассейнов [2; 4; 5].

В данном исследовании модель SWAT применялась на платформе геоинформационной системы Quantum GIS. Временной шаг модели одни сутки.

Объект исследования – трансграничная р. Селезневка, которая берет начало в Финляндии и впадает в Выборгский залив Финского залива на территории России. Это сравнительно небольшая река длиной 33 км, имеет площадь водосбора 215 км<sup>2</sup>, территория которого преимущественно покрыта лесами, в меньшей степени сельскохозяйственными угодьями, урбанизированными территориями, водными объектами и болотами. Для территории данного водосбора характерны следующие типы почв: горные породы, морены, крупнозёмы, глины, торфяные почвы. Самым крупным точечным источником загрязнения реки является финский город Лаппеенранта с количеством жителей 72 тыс. человек.

На р. Селезневка начиная с ноября 2018 г. проводятся регулярные гидрологические и гидрохимические наблюдения в рамках Программы приграничного сотрудничества «Россия-Юго-Восточная Финляндия 2014-2020». На двух станциях мониторинга раз в месяц производится отбор проб воды на определение физических свойств, главных ионов, газового состава, органических и загрязняющих веществ, биогенных компонентов и загрязняющих веществ неорганического происхождения.

Данные мониторинга позволили подготовить необходимые исходные данные, которые с высокой степенью детализации описывают разные характеристики системы в границах водосбора. Их использование позволило выделить соответствующие суббассейны, и далее – элементарные



гидрологические единицы (HRUs), каждая из которых однородна по почвенному покрову, элементу рельефа, типу землепользования или растительного покрова. Исходные данные в виде карт с высокой степенью детализации позволили идентифицировать каждую элементарную гидрологическую единицу, а затем рассчитать биогенную нагрузку для каждой HRU, учитывая объемы внесения удобрений, поверхностный сток, произрастающие культуры, погодные условия и другие факторы. На следующем этапе в модель включается база данных погодных условий, созданной на основе ежедневных данных гидрометеорологического мониторинга. В конечном итоге результаты моделирования были визуализированы.

Таким образом, было произведено тестирование модели SWAT для условий Ленинградской области, а также выявлены ограничения применения модели и создания файлов с исходными данными, которые соответствуют требованиям модели. На следующем этапе производилась верификация и калибровка модели и сценарные расчёты.

### *Анализ результатов*

В рамках работы с моделью SWAT для водосборной территории р.Селезнёвка были подготовлены исходные данные с необходимыми расширениями, которые использовались при запуске модели. На рис. 1 представлен водосбор р.Селезнёвка, разделенный на 11 суббассейнов и на 278 HRU.

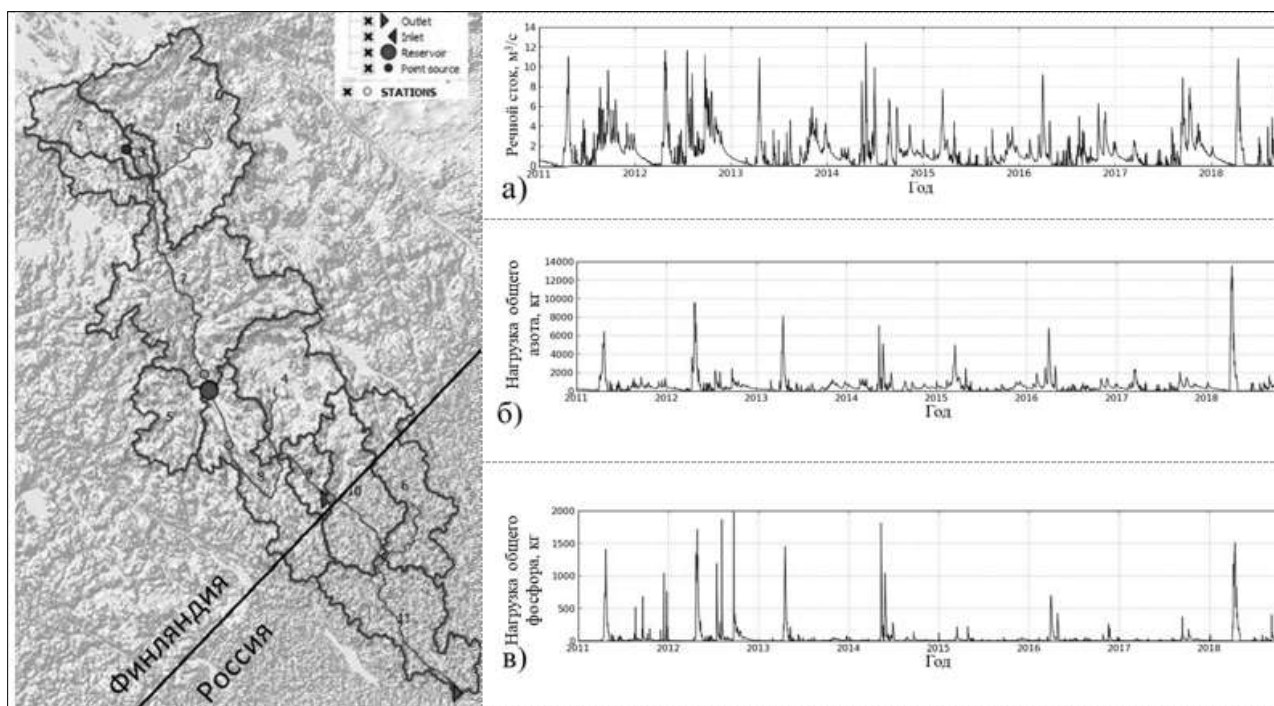


Рис. 1. Водосбор р.Селезнёвка

Рис.2. Рассчитанные с помощью модели SWAT значения параметров за период 01.01.2011-31.12.2018 гг.: а) значения речного стока ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), б) нагрузка общего азота (кг), в) нагрузка общего фосфора (кг)

Одно из преимуществ модели SWAT – хорошая визуализация результатов и возможность представить полученные значения параметров, рассчитанных моделью, в виде графиков и анимированных рисунков. На рис. 2 представлен один из вариантов визуального представления рассчитанных значений параметров (значения речного стока ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), нагрузки общего азота и общего фосфора ( $\text{кг}$ )).

На этапе тестирования модели в 2020 г., при отсутствии достаточного количества данных натурных наблюдений в связи с эпидемиологическими ограничениями, для калибровки модели SWAT рассчитанные значения характеристик (значения речного стока ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), нагрузки общего азота и общего фосфора ( $\text{кг}$ )) сравнивались с значениями, полученными на финской модели Vemala, которая успешно применяется для оценки биогенной нагрузки на финских речных водосборах. При калибровке производился перебор большого количества параметров, зависящих от нагрузки точечных источников, количества внесенных удобрений, подстилающей поверхности, значения суммарного испарения и др.

Из таблицы видно, что значения параметров, рассчитанных моделью SWAT, завышены, что может быть обусловлено недостаточной изученностью и отлаженностью механизмов расчета отдельных характеристик в модели. При этом можно наблюдать реалистичную динамику изменения рассчитанных параметров. На следующем этапе, по окончании периода полевых наблюдений в 2021 г., будет производиться калибровка модели SWAT на основе натурных данных.

#### **Средние значения параметров, рассчитанных моделью SWAT, после калибровки**

<i>Модель</i>	<i>Речной сток, <math>\text{м}^3/\text{с}</math></i>	<i>Нагрузка общего азота, <math>\text{кг}/\text{га}</math></i>	<i>Нагрузка общего фосфора, <math>\text{кг}/\text{га}</math></i>
Vemala	1,4	12,6	0,3
SWAT	1,4	12,8	1,2

В ходе исследования также были произведены первые сценарные расчеты: снижение нагрузки от точечного источника на половину и полностью; наличие буферных зон; выделение новых заболоченных территорий.

#### **Выводы**

Применение модели SWAT для условий прибрежной зоны Финского залива выявило некоторые ограничения её применения.

Во-первых, это отсутствие исходных данных из-за недостаточной охваченности сетью мониторинга, что вызвало необходимость проведения дополнительных мониторинговых исследований Северо-Западным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в 2019 г.

Во-вторых, исходные данные для модели в виде цифровых карт требуют высокого разрешения, соответствующей степени детализации и задания характеристик в соответствии с кодировками модели SWAT.

На данном этапе исследования происходит доработка механизмов расчета на модели SWAT для водосбора трансграничной р. Селезнёвка, а также будет производиться калибровка модели SWAT на основе данных мониторинга, и закончены сценарные расчёты.

После всех необходимых доработок модель SWAT позволит планировать хозяйственную деятельность на трансграничном водосборе с учетом различных сценариев, отражающих изменения хозяйственной деятельности на водосборной территории и будущие климатические изменения. В конечном итоге, модель сможет стать универсальным методом планирования (управления) хозяйственной деятельности на водосборах Северо-Запада России.

*Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по теме №0154-2019-0001 (№ госрегистрации АААА-А19-119031890106-5) «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».*

### **Библиографический список**

1. Кондратьев С.А. Оценка современной биогенной нагрузки на российскую акваторию Финского залива и ее соответствие международным требованиям // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. Петрозаводск, 2015. Т. 1. С. 439-446.
2. Лычак А.И. Прогнозное моделирование геоэкологических ситуаций в Крыму с использованием SWAT-модели // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География». 2011. Т.24. № 2. С.116-121.
3. План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю/ СПб.: Диалог, 2008. 112с.
4. SWAT. 2012. Soil and Water Assessment Tool: Input/Output Documentation. College Station, Tex.: Texas A&M University. Available at. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://swat.tamu.edu/media/69296/swat-io-documentation-2012.pdf>. (Дата обращения: 10 декабря 2019).
5. SWAT. 2009. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2009. College Station, Tex.: Texas A&M University. Available at. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>. (Дата обращения: 16 ноября 2020).

Т.И. Кутявина<sup>1</sup>, Т.Я. Ашихмина<sup>1, 2</sup>, [kutyavinati@gmail.com](mailto:kutyavinati@gmail.com)

<sup>1</sup>Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ОМУТНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗА ПЕРИОД С 2011 ПО 2020 ГОД**

Определены общие и суммарные показатели качества воды в воде Омутнинского водохранилища Кировской области. По содержанию аммонийного азота и величине химического потребления кислорода воды в изучаемом водоёме характеризуются как загрязнённые. За период с 2011 по 2020 гг. отмечена тенденция к накоплению органических веществ в водохранилище. По величине индекса трофического состояния в настоящее время водоём относится к эвтрофному типу. Необходимы регулярные наблюдения за качеством воды в водохранилище.

*Ключевые слова:* водохранилище, качество воды, трофическое состояние.

T.I. Kutyavina<sup>1</sup>, T.Ya. Ashikhmina<sup>1, 2</sup>, [kutyavinati@gmail.com](mailto:kutyavinati@gmail.com)

<sup>1</sup>Vyatka State University, Kirov, Russia

<sup>2</sup>Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the RAS,  
Syktyvkar, Russia

## **ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF OMUTNINSKY RESERVOIR BY HYDROCHEMICAL INDICATORS FOR THE PERIOD FROM 2011 TO 2020**

The general and total indicators of water quality in the water of the Omutninsky reservoir have been determined. According to the content of ammonium nitrogen and the value of the chemical consumption of oxygen, the waters in the studied reservoir are characterized as polluted. For the period from 2011 to 2020, a tendency towards the accumulation of organic matter in the reservoir was noted. According to the value of the trophic state index, the water body currently belongs to the eutrophic type. Regular monitoring of the water quality in the reservoir is required.

*Keywords:* reservoir, water quality, trophic state.

### **Введение**

Омутнинское водохранилище (пруд) создано на реке Омутной в 1773 г. для водоснабжения металлургического завода. Это второе по объёму воды и площади зеркала водохранилище в Кировской области. Полный объём водоёма составляет 32,5 млн. м<sup>3</sup>, площадь зеркала при нормальном подпорном уровне – 9,5 км<sup>2</sup>, длина – 10 км, средняя ширина – 1,1 км. Распределение глубин в Омутнинском водохранилище не отличается от распределения глубин большинства русловых водохранилищ. Глубина увеличивается постепенно, достигает максимальной (11 м.) в приплотинной части водоема. Наибольшие глубины соответствуют прохождению русла р. Омутной. Велика доля

мелководий в водохранилище, она составляет около 30% общей площади водного зеркала. В настоящее время вода из водоёма используется для водоснабжения металлургического завода, для рекреационного и культурно-бытового водопользования жителями г. Омутнинска. В связи с этим, важно проводить постоянные наблюдения за качеством воды в данном водоёме.

Цель работы – оценить качество воды в Омутнинском водохранилище по гидрохимическим показателям и индексу трофического состояния водоёма за период наблюдений с 2011 по 2020 г.

### ***Материалы и методы исследования***

Для оценки качества воды Омутнинского пруда проводили отбор проб воды с глубины 0,3 м в период с июня по сентябрь 2011–2020 гг. с помощью пробоотборной системы СП-БАК. Условно акваторию водохранилища поделили на три участка: верховье, центральный и приплотинный, которые отличаются между собой по уровню антропогенной нагрузки. На каждом участке отбирали несколько точечных проб (от 3 до 6).

Гидрохимический анализ проб проводили по аттестованным методикам измерений в аккредитованной научно-исследовательской экоаналитической лаборатории Вятского государственного университета.

В ходе выполнения работ определяли общие и суммарные показатели качества воды: органолептические показатели (запах, цветность, мутность), водородный показатель (рН), растворённый кислород, химическое потребление кислорода (ХПК), перманганатную окисляемость, общую минерализацию, минеральные соединения азота и фосфора, тяжёлые металлы.

Полученные результаты сравнивали с предельно-допустимыми концентрациями для водоёмов культурно-бытового назначения (ПДК<sub>к-б.</sub>) согласно ГН 2.1.5.1315-03 и СанПиН 2.1.5.980-00.

По рН и степени насыщения воды кислородом рассчитывали индекс трофического состояния (ИТС) Омутнинского водохранилища. Индекс представляет собой интегральный показатель, основанный на линейной зависимости величины рН от насыщения воды кислородом [3; 4]. Для дистрофных водоёмов величина ИТС составляет менее 6,0 ед.; ультраолиготрофных – 6,0–6,7; олиготрофных – 6,7–7,3; мезотрофных – 7,3–8,0; эвтрофных – более 8,0.

### ***Анализ результатов***

В 2011 г. пробы воды, отобранные на разных участках водохранилища, имели запах естественного происхождения очень слабой и слабой интенсивности (менее 2 баллов). Цветность воды изменялась от 59 до 179 град. Более высокие значения цветности отмечали в верховье водоёма и на приплотинном участке. Вероятно, на цветность воды в верховье пруда могли оказать влияние гумусовые вещества, поступающие в воду из болот, расположенных в бассейне р. Омутной. Мутность воды возрастала в направлении от верховья пруда (2 ЕМФ) к его приплотинному участку (более 8 ЕМФ). Подобная закономерность выявлена и по содержанию в воде соединений железа. Кроме того, в пробах воды на приплотинном участке пруда было выявлено высокое содержание водорослей, что также могло оказать влияние на величину мутности воды.

По большинству определяемых гидрохимических показателей воды Омутнинского водохранилища относились к категории чистых, за исключением ХПК и аммонийного азота. Превышение ПДК<sub>к-б</sub> были отмечены только по двум показателям: содержание общего железа и ХПК (в 1,7 и 1,2 раза соответственно). Высокое содержание общего железа в воде, вероятно, связано с физико-географическими особенностями изучаемой территории, на которой в XVIII-XIX вв. велась добыча и разработка железных руд [2]. Согласно классификации качества поверхностных вод с экологических позиций [1, см. табл. Б1], по величине ХПК воды в изучаемом водоёме в 2011 г. относились к III классу качества – загрязнённые воды. Повышение значений ХПК наблюдали в августе 2011 г., в период интенсивного «цветения» воды. Возможно, причиной высоких значений ХПК стало появление большого количества органических веществ, образующихся в ходе жизнедеятельности водорослей.

Содержание растворённого в воде кислорода было довольно высоким на всей акватории (около 9,0 мг/дм<sup>3</sup>). Перманганатная окисляемость составляла в среднем 9,8 мгО/дм<sup>3</sup>.

По показателю рН вода в верховье водоёма относилась к группе нейтральных (рН = 7,3 ед.), а на центральном и приплотинном участках – к группе слабощелочных (рН = 7,6–8,3 ед.). Общая минерализация воды в 2011 г. составляла 73,7 мг/дм<sup>3</sup>.

Среди минеральных соединений азота преобладал аммонийный азот. На разных участках водохранилища его концентрация варьировала в пределах 0,38–0,82 мг/дм<sup>3</sup>, что не превышает установленные нормативы, тем не менее, согласно классификации по химическим показателям состояния водоёмов [5, см. табл. 3.8], по содержанию ионов аммония воды Омутнинского водохранилища относились к классу загрязнённые. Вероятным источником аммонийного азота в водоёме являются дождевые, талые воды, стекающие с водосбора. На берегах Омутнинского водохранилища в его центральной части находятся садоводческие общества, а в приплотинной части – городская застройка.

Содержание соединений фосфора в воде Омутнинского пруда в 2011 г. было низким (менее 0,2 мг/дм<sup>3</sup>), что, по-видимому, лимитировало более массовые вспышки численности водорослей и «цветение» водоёма.

Концентрации тяжёлых металлов (меди, цинка, кадмия, свинца, марганца) на разных участках акватории водохранилища изменялись незначительно, были намного ниже ПДК<sub>к-б</sub>.

В 2012–2020 гг. изменения по органолептическим показателям, общей минерализации, содержанию соединений азота и фосфора, тяжёлых металлов были небольшие.

По показателям рН и содержанию растворённого в воде кислорода с 2012 по 2016 г. наблюдали снижение значений (до 7,2 ед. рН и 6,1 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> соответственно). В последующие годы (до 2019 г.) рН и концентрация кислорода в воде начали возрастать (до 8,6 ед. рН, 10,4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), а в 2020 г. снова снизились до уровня 2011 г. Коэффициент корреляции между показателями рН и содержанием растворённого кислорода в воде составил 0,90.

С 2011 по 2020 г. отмечена тенденция к увеличению содержания в воде органических веществ, о чём свидетельствовали значения показателей ХПК (35–55 мгО/дм<sup>3</sup>) и перманганатной окисляемости (8,8–13,0 мгО/дм<sup>3</sup>). Также за этот период зафиксирован рост значений ИТС, который позволяет оценить трофическое состояние водоёма. Минимальное значение индекса (7,1 ед.) было отмечено в 2012 г., а максимальное (8,8 ед.) – в 2013 г. В дальнейшем величина индекса несколько снизилась, и в 2020 г. составляла 8,1 ед., соответствовала эвтрофному типу водоёма.

### **Выводы**

В период с 2011 по 2020 г. на акватории Омутнинского водохранилища наиболее стабильными значениями характеризовались показатели: общая минерализация, содержание соединений азота и фосфора, тяжёлых металлов. Значения перечисленных показателей были намного ниже ПДК<sub>к-б</sub>. На качество воды в водоёме в большей степени оказало влияние содержание органических веществ, определяемое по показателям ХПК, перманганатной окисляемости и содержанию растворённого в воде кислорода. Отмечена тенденция к накоплению органических веществ в воде Омутнинского водохранилища в период с 2011 по 2020 г. Кроме того, во время наблюдений были зафиксированы существенные изменения рН – от 7,0 до 8,6 ед. в разные годы исследования. Трофическое состояние Омутнинского водохранилища, определённое по гидрохимическим показателям и ИТС, в настоящее время может быть оценено как эвтрофное. Для эвтрофных водоёмов характерны обильное поступление биогенных веществ и высокие темпы биологического продуцирования, что может привести к интенсивному «цветению» воды, зарастанию прибрежной зоны макрофитами, уменьшению прозрачности воды и содержания в ней кислорода, заморам рыб и других гидробионтов. В настоящее время в Омутнинском водохранилище содержание биогенных элементов (азота и фосфора) небольшое, интенсивное «цветение» воды наблюдается довольно редко. Однако, для оценки и прогнозирования состояния водоёма и качества воды в нём, необходимо продолжать мониторинговые исследования на акватории водоёма.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-5830.2021.1.5).*

### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 58556–2019 Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций. Москва: Стандартинформ, 2019. 16 с.
2. *Кутявина Т.И., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В.* Применение комплекса наземных методов исследования для диагностики загрязнения и процессов эвтрофирования водохранилищ Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 44–52. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-044-052.

3. Неверова-Дзионак Е.В., Цветкова Л.И., Макарова С.В., Киселев А. В. Об экологической безопасности водных объектов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 136 URL: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/3/229.pdf> (дата обращения 13.02.2020).

4. Цветкова Л.И., Неверова-Дзионак Е.В. Как оценить опасный уровень антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (77). С. 262-270.

5. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

УДК 556.314

Е.Е. Лапина, В.В. Кудряшова, [shtriter\\_elena@rambler.ru](mailto:shtriter_elena@rambler.ru)  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ГРУНТОВЫХ ВОД ВОКРУГ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЗА 20 ЛЕТ**

Проанализирована сезонная динамика химического состава грунтовых вод вокруг Иваньковского водохранилища – основного питьевого источника г. Москвы. Сравнивались одни и те же колодцы за периоды 1999–2001 и 2018–2019 гг. Число данных составило 47 (зимой) и 62 (летом). Установлено, что солевой состав грунтовых вод с начала XXI в. по настоящее время изменился. 20 лет назад в летнюю межень воды  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  типа выявлены лишь в 25% обследованных колодцев, в 2019 г. – уже в 57%. Средняя общая минерализация по всей изученной территории уменьшилась на 11 % летом и на 23 % – зимой. Выявленные тенденции могут быть связаны как с климатическими изменениями, так и с возрастанием антропогенной нагрузки.

*Ключевые слова:* Иваньковское водохранилище, грунтовые воды, солевой состав.

E.E. Lapina, V.V. Kudryashova, [shtriter\\_elena@rambler.ru](mailto:shtriter_elena@rambler.ru)  
*Institute of Water Problems of RAS, Moscow, Russia*

## **TENDENCIES OF GROUNDWATER QUALITY CHANGES AROUND IVANKOVO RESERVOIR OVER 20 YEARS**

Seasonal dynamics of groundwater chemical composition around the Ivankovo reservoir, the main drinking source in Moscow, was analyzed. The same wells were compared for the periods 1999–2001 and 2018–2019. The number of data was 47 (in winter) and 62 (in summer). It has been established that the salt composition of groundwater has changed since the beginning of the 21st century. 20 years ago, during the summer low-water period,  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  type waters were detected only in 25% of sampled wells, in 2019 – already in 57%. The average total mineralization of groundwater throughout the study area decreased by 11% in summer and by 23% – in winter. The identified trends can be associated with both climatic changes and an increase in anthropogenic load.

*Keywords:* Ivankovo reservoir, groundwater, salt composition.



## ***Введение***

Иваньковское водохранилище расположено в Верхневолжье, на отрезке Волги от Твери до Дубны. Водоем находится в юго-восточной части Тверской области, является источником питьевого водоснабжения Москвы. В географическом отношении он приурочен к Верхневолжской низине, занимающей глубокий дочетвертичный прогиб, заполненный четвертичными отложениями. Под ними залегают юрские глины, дальше – каменноугольные породы, представленные чередованием известняков и доломитов с прослоями глин и мергелей. Четвертичные отложения в основном выполнены московскими водно-ледниковыми песками и моренными суглинками, мощностью от 40 до 100 м. Водоносные пески разделяются мореной на несколько горизонтов [4]. В пределах надпойменных террас Волги четвертичные водоносные горизонты гидравлически тесно связаны между собой, а при небольшой мощности подстилающих юрских глин или их размыве наблюдается подпитывание четвертичных водоносных горизонтов водами верхнего карбона. Рельеф территории слаборасчлененный, абсолютные отметки поверхности меняются в пределах 124–149 м, минимальные отметки наблюдаются близ уреза р. Волги.

Климат региона – умеренно-континентальный, среднемесячная температура самого теплого месяца +17,8, холодного (–9,8°C). За последние 30 лет отмечается рост температур воздуха, особенно в зимние месяцы; годовая сумма осадков составляет 550–700 мм [1]. На отрезке Волги по линии Тверь – Дубна доля подземного притока в реки от среднемноголетнего стока в устье составляет в среднем 32% [2]. При сработке уровня водохранилища объем подземного притока в чашу растет; региональный поток грунтовых вод направлен к самой крупной дрене – р. Волге.

Цель работ – получить ответ на вопрос, изменился ли за два десятка лет химический состав грунтовых вод на примыкающей к Иваньковскому водохранилищу территории, какого рода изменения произошли и связаны ли они с потеплением климата.

## ***Материалы и методы исследования***

В основу положены данные площадных съемок химического состава грунтовых вод в одних и тех же шахтных колодцах. Съемки выполнены авторами в составе полевых экспедиций ИВП РАН в зимние и летние периоды 1999–2001 и 2018–2019 гг. вокруг Иваньковского водохранилища, в пределах надпойменных террас, на селитебных участках. Сравнивались одни и те же колодцы, число данных равняется 47 в зимнюю межень и 62 – в летнюю. Глубины колодцев в среднем составляют 4,0–8,0 м. Опробованы аллювиальные, аллювиально-флювиогляциальные и флювиогляциальные водоносные горизонты. Сопоставление обосновано отбором проб грунтовых вод только с террасовым режимом и аналогичностью хода увлажненности предшествующих лет сравниваемых периодов [5].

Химические анализы колодезных вод выполнены в аккредитованной химической лаборатории Иваньковской научно-исследовательской станции ИВП РАН на следующий день после отбора. Концентрации  $\text{Cl}^-$  – иона

определены аргентометрически, ионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  – титриметрически, иона  $\text{SO}_4^{2-}$  – турбидиметрически с  $\text{BaCl}_2$ .

### **Анализ результатов**

Исследованные грунтовые воды относятся преимущественно к классу гидрокарбонатных (по О.А. Алекину), с общей минерализацией в среднем 0,4 – 0,8 мг/дм<sup>3</sup>. В табл. 1 показано распределение грунтовых вод по классам в зимнюю и летнюю межень в начале XXI в. и 20 лет спустя (количество опробованных колодцев указано в скобках в первом столбце).

В зимнюю межень вод сульфатного класса не обнаружено. Доля вод хлоридного класса за 20 лет снизилась с 12% до 2 %, гидрокарбонатного – увеличилась с 88% до 96 %. В начале нашего века доля вод сульфатного класса в летнюю межень равнялась 4%; в настоящее время воды гидрокарбонатного класса составляют 97% всего количества опробованных колодцев, а остальные относятся к хлоридному классу.

Таблица 1

### **Распределение вод колодцев по классам, годам и сезонам**

Сезон	Классы грунтовых вод (по О.А. Алекину)					
	гидрокарбонатный		сульфатный		хлоридный	
годы	1999-2001	2019	1999-2001	2019	1999-2001	2019
Зима (47)	88 %	96%	0	0	12%	2%
Лето (62)	92%	97%	4%	0	4%	3%

Нашими предыдущими исследованиями установлено, что уменьшение концентраций сульфатов и хлоридов в грунтовых водах обусловлено упадком промышленности и сельского хозяйства в регионе [5].

Трансформация химического состава грунтовых вод наиболее хорошо просматривается, когда результаты анализов представлены в виде формулы М.Г. Курлова (наименование грунтовых вод – по мере убывания содержания ионов) [3]. 20 лет назад в летнюю межень среди опробованных колодцев почти в равной мере преобладали воды гидрокарбонатного кальциевого (27 %) и кальциево-магниевого (25%) состава. Летом 2019 г. соотношение изменилось в пользу вод  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  типа вплоть до 57 % от всего числа опробованных колодцев, а доля вод  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  типа снизилась до 19%. Зимой 2018/2019 гг. среди колодезных проб единично встречены воды гидрокарбонатного магниевого и гидрокарбонатно-хлоридного магниево-кальциевого типа, которые отсутствовали 20 лет назад.

В табл. 2 показана динамика химического состава грунтовых вод в отдельных колодцах по сезонам и годам, с учетом антропогенной нагрузки по левому и правому берегам водохранилища.

Правобережье Иваньковского водохранилища испытывает значительную антропогенную нагрузку. Здесь находятся: федеральная трасса М-10 Москва – Санкт-Петербург, Октябрьская железная дорога, г. Конаково с ГРЭС, поселки городского типа с промышленными предприятиями, крупное сельскохозяйственное объединение «Дмитрова Гора», села и садоводческие

товарищества. Левый берег оживает лишь в летние месяцы – бывшие редкие деревни стали дачными поселениями, здесь нагрузка минимальна.

Таблица 2

### Динамика химического состава грунтовых вод за 20 лет

сезон	год	Место отбора, нагрузка	Формула Курлова, ммоль %
зима	1999	деревня Каблуково, левобережье, дачи, автотрасса	$M_{0,54} \text{HCO}_3 93 / \text{Ca} 51 \text{Na} 30 \text{K} 14$
	2018		$M_{0,37} \text{HCO}_3 82 / \text{Ca} 72 \text{Mg} 24$
	1999	д. Вахромеево, автотрасса, дачи, огороды, правобережье	$M_{0,69} \text{HCO}_3 89 / \text{Ca} 83$
	2019		$M_{0,63} \text{HCO}_3 89 / \text{Ca} 79 \text{Mg} 18$
лето	2000	деревня Шумново, правобережье сельское хозяйство, болото	$M_{0,66} \text{HCO}_3 69 \text{SO}_4 26 / \text{Ca} 67 \text{Mg} 23$
	2019		$M_{0,49} \text{HCO}_3 97 / \text{Ca} 46 \text{Mg} 37 \text{Na} 13$
	1999	д. Старенькое, левобережье, дачи, автотрасса	$M_{0,49} \text{HCO}_3 76 \text{SO}_4 23 / \text{Ca} 34 \text{K} 33 \text{Na} 20 \text{Mg} 14$
	2019		$M_{0,34} \text{HCO}_3 85 / \text{Ca} 62 \text{Mg} 25$

Сопоставление химического состава грунтовых вод показало, что в настоящее время в воде большинства колодцев и в зимнюю, и в летнюю межень ион магния либо появился там, где раньше присутствовал в незначительных количествах (д. Вахромеево), либо его доля заметно возросла (д. Старенькое). Следовательно, изменение соотношения катионов произошло независимо от степени антропогенной нагрузки.

Причиной возрастания доли магния может быть хозяйственная деятельность на водосборе. Например, это бурение и последующая эксплуатация несанкционированных глубоких скважин владельцами дачных домов. Из-за отсутствия изоляционного крепления обсадных труб может происходить заколонный переток вод, насыщенных магнием (источником которого являются доломиты и мергели) из нижележащих пластов в вышележащие.

Кроме того, во время гололеда дороги иногда посыпают реагентами на основе нитратов кальция, магния и мочевины, компоненты которых при песчаном строении зоны аэрации и неглубоком залегании грунтовых вод во время оттепелей могут попасть на зеркало, а при последующей разгрузке грунтовых вод – и в Иваньковское водохранилище.

За прошедшие 20 лет и зимой, и летом в грунтовых водах произошло снижение величины общей минерализации, что хорошо видно из табл. 2. Средняя общая минерализация грунтовых вод в колодцах по всей изученной территории в летнюю межень уменьшилась на  $70 \text{ мг/дм}^3$  (11 %), а в зимнюю – на  $190 \text{ мг/дм}^3$  (23 %). Учитывая сходство водности предшествующих лет сравниваемых периодов, этот факт может свидетельствовать о возрастании инфильтрационного питания грунтовых вод в зимнюю межень в связи с ростом числа оттепелей и уменьшением глубины промерзания почвогрунтов зоны аэрации [4].

### Выводы

Полученные результаты имеют ориентировочный характер, однако позволяют заключить, что химический состав грунтовых вод вокруг

Иваньковского водохранилища с начала XXI в. трансформируется. По сравнению с периодом 1999–2001 гг. в 2018-2019 гг. макрокомпонентный состав на исследованной территории изменился практически повсеместно.

Класс исследованных вод остается по-прежнему в основном гидрокарбонатным. В наибольшей степени меняется соотношение компонентов катионного ряда; 20 лет назад в летнюю межень воды  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  типа выявлены лишь в 25% обследованных колодцев, в 2019 году – уже в 57%. Увеличение в катионном ряду доли магния носит тотальный характер, так как встречено и на левобережье водохранилища, где антропогенная нагрузка слабая, и на правобережье, где она является значительной.

Наблюдается снижение величины общей минерализации грунтовых вод, причем с наибольшей интенсивностью – в зимнюю межень, что говорит о поступлении талых снеговых вод на уровень грунтовых во время оттепелей, участвовавших из-за повышения зимних температур воздуха.

Полученные заключения относятся только к химическому составу грунтовых вод в пределах изученных нами селитебных территорий, расположенных на обоих берегах Иваньковского водохранилища: поселков городского типа, сел, деревень, дачных и садоводческих товариществ.

Выявленные тенденции могут быть связаны как с климатическими изменениями, так и с возрастанием антропогенной нагрузки.

*Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) Государственного задания ИВП РАН.*

### **Библиографический список**

1. Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Лапина Е.Е., Лапина Л.Э., Чекмарева Е.А. Предварительные результаты исследования закономерностей факторов формирования зимнего гидрохимического режима поверхностных и подземных вод Тверской области // Труды региональных научных проектов Тверской области 2018 года в сфере фундаментальных исследований / под ред. В.М. Самсонова, С.В. Жукова. Тверь, 2018. 98 с.
2. *Иваньковское водохранилище: современное состояние и проблемы охраны.* М.: Наука, 2001. 344 с.
3. Климентов П.П., Богданов Г.Я. Общая гидрогеология. М.: Недра, 1977. 357 с.
4. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
5. Лапина Е.Е., Григорьева И.Л. Ретроспективный анализ и прогнозные оценки изменения качества подземных вод вокруг Иваньковского водохранилища в зимний период // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 2. С.16–22.

П.Н. Линник, В.А. Жежеря, [peter-linnik@ukr.net](mailto:peter-linnik@ukr.net)  
*Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев, Украина*

## **СОСУЩЕСТВУЮЩИЕ ФОРМЫ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Рассмотрены результаты исследования форм нахождения Al(III), Fe(III), Mn(II), Cu(II), Cr(III), Zn(II) и Pb(II) в воде Каневского водохранилища на протяжении 2007–2020 гг. Установлено, что исследуемые металлы, кроме Al(III) и Fe(III), мигрируют преимущественно в растворенной форме. Увеличение концентрации лабильного и растворенного Mn(II) наблюдается при дефиците растворенного кислорода. Концентрация растворенной формы Fe(III), Cu(II) и Al(III) возрастала одновременно с увеличением концентрации гумусовых веществ (ГВ). Концентрация и массовая доля лабильной фракции металлов увеличивается весной и летом. Массовая доля анионных комплексов возрастает весной и летом, а нейтральных – летом и осенью, что связано с увеличением концентрации соответственно ГВ и углеводов. Массовая доля комплексов металлов с ГВ и углеводами с молекулярной массой  $\leq 5,0$  кДа увеличивается летом.

*Ключевые слова:* металлы, формы нахождения, лабильная фракция, комплексы, Каневское водохранилище.

P.N. Linnik, V.A. Zhezherya, [peter-linnik@ukr.net](mailto:peter-linnik@ukr.net)  
*Institute of hydrobiology NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine*

## **COEXISTING FORMS OF METALS IN THE WATER OF THE KANEV RESERVOIR**

The results of the investigation of the coexisting forms of Al(III), Fe(III), Mn(II), Cu(II), Cr(III), Zn(II), and Pb(II) in the water of the Kanev reservoir during 2007–2020 were considered. It was found that the studied metals, except for Al(III) and Fe(III), migrate mainly in the dissolved form. The concentration of labile and dissolved Mn(II) increases with a deficiency of dissolved oxygen. The concentration of dissolved Fe(III), Cu(II), and Al(III) increased simultaneously with the concentration of humic substances. It has been established that the concentration and share of the labile fraction of metals increases in spring and summer. The share of anionic complexes increases in spring and summer, and neutral ones – in summer and autumn, which is associated with an increase in the concentration of humic substances and carbohydrates, respectively. The share of metal complexes with humic substances and carbohydrates with a molecular weight of  $\leq 5.0$  kDa increases in summer.

*Keywords:* metals, coexisting forms, labile fraction, complexes, Kanev reservoir.

### ***Введение***

В водных объектах металлы, как и главные ионы, биогенные и органические вещества, растворенные газы, влияют на состояние водной среды как среды обитания гидробионтов. Они могут быть токсичными (Al(III), Hg(II) и другие) и эссенциальными (Cu(II), Fe(III), Mn(II), Cr(III), Zn(II) и др.). Для металлов установлены гранично-допустимые концентрации (ГДК), поскольку

даже эссенциальные металлы при концентрации, превышающей ГДК, негативно влияют на живые организмы.

В поверхностных водах металлы находятся в растворенной, коллоидной и взвешенной формах [4]. В растворенной форме миграционная подвижность и биодоступность металлов увеличивается, а во взвешенной форме, наоборот, они становятся недоступными или малодоступными для гидробионтов. В растворенном состоянии металлы находятся в виде аква- и гидроксокомплексов, комплексов с неорганическими (фторид-, фосфат-, сульфат-, силикат-ионами и другими) и органическими (гумусовые вещества, углеводы, белковоподобные вещества и другими) лигандами. В тоже время, металлы могут находиться как в лабильной или потенциально биодоступной форме, так и нелабильной или временно биологически недоступной форме. К лабильной фракции относятся аква- и гидроксокомплексы, комплексы металлов с неорганическими и органическими лигандами, которые способны к ионному обмену или диссоциации при нарушении равновесия [6], а также комплексы, молекулярная масса которых  $\leq 5 \text{ кДа}$  и, следовательно, способны проникать через биологическую мембрану [7]. Металлы в составе стойких комплексов с растворенными органическими веществами (РОВ) находятся в биологически недоступной форме. По этой причине с ГДК следует сравнивать концентрацию металла, содержащуюся именно в лабильной фракции. Например, для водных объектов рыбохозяйственного назначения допускается содержание в воде  $\text{Al(III)}$ ,  $\text{Fe(II)}$ ,  $\text{Mn(II)}$ ,  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Zn(II)}$  и  $\text{Pb(II)}$ , не превышающее соответственно 36, 5, 10, 1, 1, 10 и 100 мкг/дм<sup>3</sup> [5].

Гидрохимические исследования водохранилищ Днепровского каскада до и после их сооружения освещены в ряде монографий [1–3].

Наши исследования были направлены на изучение содержания и соотношения форм нахождения  $\text{Al(III)}$ ,  $\text{Fe(III)}$ ,  $\text{Mn(II)}$ ,  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Cr(III)}$ ,  $\text{Zn(II)}$  и  $\text{Pb(II)}$  в воде Каневского водохранилища на протяжении 2007–2019 гг. и 2020 г. Значительная часть исследований касалась изучения лабильной (потенциально биодоступной) фракции металлов, что важно с экологических позиций.

### ***Материалы и методы исследования***

Пробы воды на верхнем и среднем участках Каневского водохранилища отбирали в течение 2007–2019 гг. и 2020 г. с помощью батометра Рутнера или модифицированного батометра-бутылки. Для извлечения взвешенных веществ пробы воды объемом 0,5–1,5 дм<sup>3</sup> пропускали через нитроцеллюлозные мембранные фильтры “Synpor” (Чехия) с диаметром пор 0,4 мкм, а в последнее время – через мембранные фильтры “Fioroni” (КНР) с диаметром пор 0,45 мкм. Концентрацию металлов в лабильной фракции определяли в фильтрах природной воды без какой-либо пробоподготовки в максимально короткий промежуток времени. Общее содержание металлов в растворенной форме определяли после фотохимической деструкции РОВ. Для этого фильтрат природной воды объемом 30,0–40,0 см<sup>3</sup> подкисляли в кварцевых стаканах концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  до pH 1,0–1,5, добавляли 3–5 капель 30 %-го раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  и подвергали УФ-облучению с помощью ртутно-кварцевой лампы ДРТ–1000 в течение 2,0–2,5 ч. Концентрацию исследуемых металлов в составе взвеси

находили после “мокрого озоления” фильтров со взвесью в смеси концентрированных кислот градации “х. ч.” (соответственно 2,0 см<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub> и 1,0 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Позже начали использовать двоступенчатую обработку взвеси, которая подразумевает использование “мокрого озоления” и гидротермальной обработкой минерального остатка [8].

Исследование комплексных соединений металлов, отличающихся по знаку заряда, проводили с помощью ионообменной хроматографии. Для этого фильтрат природной воды последовательно пропускали через колонки, заполненные диэтиламиноэтилцеллюлозой и карбоксиметилцеллюлозой. Из первой колонки после элюирования 0,3 моль/дм<sup>3</sup> раствором NaOH получали анионную фракцию, которая содержит соединения металлов с отрицательным знаком заряда, главным образом комплексы с гумусовыми веществами (ГВ). Со второй колонки вымывали 0,1 моль/дм<sup>3</sup> раствором HCl катионную фракцию, в которой находятся соединения металлов с положительным знаком заряда и их комплексы с белковоподобными веществами. Фильтрат воды после прохождения обеих колонок содержал нейтральные соединения металлов и их комплексы с углеводами. Молекулярно-массовое распределение комплексов исследуемых металлов с РОВ анионной и нейтральной фракций изучали методом гель-хроматографии, используя стеклянные колонки, заполненные соответственно TSK-гелем HW-50F и HW-55F (Япония). Концентрацию металлов в составе анионной, катионной и нейтральной фракций, а также во фракциях после гель-хроматографического разделения РОВ анионной и нейтральной групп определяли после фотохимической деструкции РОВ, как описано выше.

Концентрацию алюминия и железа определяли фотометрическим методом, используя соответственно хромазурол S и о-фенантролин, меди, марганца и хрома – хемилюминесцентным методом с люминолом, цинка и свинца – методом анодной инверсионной вольтамперометрии. Содержание растворенного кислорода определяли методом Винклера, цветность воды измеряли фотометрическим методом с использованием имитационной Cr-Co-шкалы.

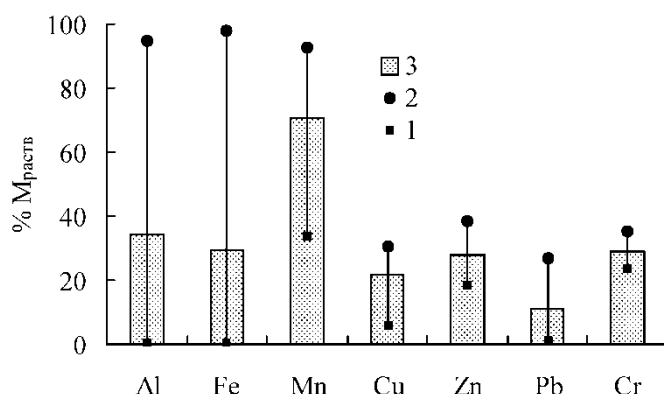
### ***Результаты исследования и их обсуждение***

В течение 2007–2019 гг. общая концентрация Al(III), Fe(III), Mn(II), Cu(II), Cr(III), Zn(II) и Pb(II) в воде Каневского водохранилища находилась в пределах соответственно 14,2–395, 68,9–1386, 16,5–506, 6,5–43,2, 3,7–26, 13,5–122 и 2,3–9,3 мкг/дм<sup>3</sup>. Содержание исследуемых металлов в растворенном состоянии составляло 4,5–189, 4,9–678, 14,8–500, 4,3–36,7, 2,9–20, 10,3–97,5, 1,5–4,9 мкг/дм<sup>3</sup>, а во взвешенной форме – 2,3–364, 39–708, 1,2–51,6, 0,2–7,7, 0,5–6,5, 4,4–31, 1,1–5,9 мкг/дм<sup>3</sup>. В осенне-зимний период 2020 г. концентрация растворенного Al(III) и Fe(III) составляла 66,2–131 и 44,0–115 мкг/дм<sup>3</sup>. Для марганца, меди, хрома, цинка и свинца характерна миграция преимущественно в растворенной форме, массовая доля которых в среднем находится в пределах 69,3–94,3, 82,5–86,6, 61,3–81,4, 52,2–76,6 и 43,3–69,6% общего содержания каждого из них. Железо мигрирует примерно 50:50% в растворенной и взвешенной формах, за исключением осени, когда преобладает его взвешенная форма (в среднем 76,8%). Взвешенная форма алюминия составляет в среднем

53,4–67,7%, поскольку он входит в состав силикатов и алюмосиликатов минеральных частиц взвеси.

При дефиците кислорода в придонном слое воды зимой и летом наблюдается увеличение концентрации растворенного и лабильного марганца. Это происходит из-за восстановления  $Mn(IV)$  до  $Mn(II)$  и растворения его оксидов и гидроксидов. Концентрация растворенной формы железа, меди и алюминия увеличивалась одновременно с возрастанием цветности воды и концентрации ГВ весной и в начале лета.

Концентрация лабильного  $Al(III)$ ,  $Fe(III)$ ,  $Mn(II)$ ,  $Cu(II)$ ,  $Zn(II)$  и  $Pb(II)$  находилась в пределах соответственно 0,4–68,0, 0,5–608, 5,4–402, 0,7–5,5, 3,2–27,3 и 0,03–1,2 мкг/дм<sup>3</sup>. Увеличение концентрации этой фракции металлов наблюдается преимущественно весной и летом. Массовая доля лабильной фракции исследуемых металлов составляет в среднем 11,3–70,6% их содержания в растворенной форме. Максимальные величины лабильной фракции характерны для марганца, а наименьшие – для свинца (рисунок). Концентрация лабильного  $Al(III)$  и  $Fe(III)$  в осенне-зимний период 2020 г. находилась в пределах 10,3–35,3 и 10,4–85,0 мкг/дм<sup>3</sup>, что составляло 8–41 и 22–74% их содержания в растворенной форме. Полученные величины не выходили за пределы предыдущего периода исследований.



Массовая доля лабильной фракции металлов в воде Каневского водохранилища, %  $M_{\text{раств}}$ , по результатам исследований 2007–2016 гг. 1, 2 – предельные, 3 – средние величины;  $M_{\text{раств}}$  – растворенная форма металлов

Комплексообразование способствует миграции металлов в растворенном состоянии при концентрациях, которые значительно выше тех, которые получаются при термодинамических расчетах. В воде Каневского водохранилища исследуемые металлы в растворенном состоянии мигрируют преимущественно в составе комплексов с ГВ, массовая доля которых колеблется в среднем в пределах 49,6–68,8%. Относительное содержание металлов в составе катионных и нейтральных комплексов находится в пределах соответственно 10,2–21,9 и 15,2–40,2% их содержания в растворенной форме. Массовая доля нейтральных комплексов  $Cu(II)$ ,  $Fe(III)$  и  $Al(III)$  возрастает летом и осенью, когда увеличивается концентрация и относительное содержание углеводов. Среди комплексных соединений металлов с ГВ доминируют соединения с



относительно невысокой молекулярной массой  $\leq 5,0$  кДа, содержание которых достигает в среднем 57,0–76,3% их общего содержания в составе анионных комплексов. Установлено, что доля анионных комплексов Cu(II), Fe(III) и Al(III) с молекулярной массой  $\leq 5,0$  кДа возрастает весной и летом. Это может быть связано как с увеличением концентрации фульвокислот, которые имеют невысокую молекулярную массу, так и с фотолизом высокомолекулярных соединений ГВ и образованием соединений с меньшей молекулярной массой. Массовая доля нейтральных комплексов Cu(II), Fe(III) и Al(III) с молекулярной массой  $\leq 5,0$  кДа достигает максимальных величин соответственно летом, осенью и зимой. В это время относительное содержание Cu(II), Fe(III) и Al(III) в составе указанных комплексов достигает соответственно 70,0, 52,4 и 64,2% концентрации каждого из металлов в составе нейтральной фракции. Увеличение относительного содержания нейтральных низкомолекулярных комплексов металлов обусловлено, вероятно, возрастанием концентрации низкомолекулярных соединений углеводов летом, химическими свойствами металлов и их конкуренцией за центры связывания в макромолекулах углеводов.

### **Выводы**

В воде Каневского водохранилища исследуемые металлы, кроме железа и алюминия, мигрируют преимущественно в растворенной форме (в среднем 43,3–94,3%). Дефицит растворенного кислорода способствует возрастанию концентрации растворенного и лабильного марганца. Увеличение концентрации ГВ приводит к возрастанию содержания растворенного железа, меди и алюминия. Массовая доля лабильной фракции исследуемых металлов составляет в среднем 11,3–70,6% их содержания в растворенной форме. Абсолютное и относительное содержание лабильной фракции металлов увеличивается весной и летом. Массовая доля исследуемых металлов в составе анионных, катионных и нейтральных комплексов составляет в среднем соответственно 49,6–68,8, 10,2–21,9 и 15,2–40,2% их содержания в растворенной форме. Возрастание доли анионных комплексов наблюдается весной и летом, а нейтральных – летом и осенью, что связано с увеличением содержания соответственно ГВ и углеводов. Массовая доля анионных и нейтральных комплексов металлов с молекулярной массой  $\leq 5,0$  кДа подвержена сезонным изменениям и чаще всего увеличивается летом.

*Работа выполнена в рамках бюджетной программы "Поддержка развития приоритетных направлений научных исследований" (КПКВК 6541230).*

### **Библиографический список**

1. Алмазов А.М., Денисова А.И., Майстренко Ю.Г., Нахшина Е.П. Гидрохимия Днепра, его водохранилищ и протоков. Киев: Наук. думка, 1967. 316 с.
2. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. Киев: Наук. думка, 1979. 292 с.
3. Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1989. 216 с.

4. *Линник П.Н., Набиванец Б.И.* Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. 270 с.

5. *Набиванец Б.И., Осадчий В.И., Осадча Н.М., Набиванец Ю.Б.* Аналітична хімія поверхневих вод. Київ: Наукова думка, 2007. 456 с.

6. *Linnik P.N.* Content of metals labile fraction in surface waters as the main element in assessing their potential toxicity // *Hydrobiol. J.* 2011. Vol. 47, N 2. P. 86–96.

7. *Rubini P., Lakatos A., Champmartin D., Kiss T.* Speciation and structural aspects of interactions of Al(III) with small biomolecules // *Coord. Chem. Reviews.* 2002. Vol. 228. P. 137–152.

8. *Zhezherya V.A., Linnik P.N., Zhezherya T.P., Skobley M.P.* Methodical peculiarities of the preparation of samples of suspended matter and bottom sediments // *Hydrobiol. J.* 2016. Vol. 52, N 2. P. 83–100.

УДК 556.55

В.А. Ломов<sup>1,2</sup>, [lomson620@mail.ru](mailto:lomson620@mail.ru)

<sup>1</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

<sup>2</sup>*Лаборатория Суперкомпьютерного моделирования природных и климатических процессов НИВЦ МГУ, г. Москва, Россия*

## **МЕТОДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОТОКА МЕТАНА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ**

Рассмотрены результаты измерений потоков метана на границах «донные отложения – вода» и «вода – атмосфера», проведенные на Можайском водохранилище в летний период, когда наблюдается наибольшая пространственно-временная изменчивость содержания и потоков метана. В ходе этих измерений выявлено влияние стратификации водоема на интенсивность потоков на примере летних сезонов 2018 и 2019 гг. Наибольший поток метана в атмосферу наблюдался в конце летнего периода перед началом осенней конвекции, и после прохождения сильных штормов, когда происходит перемешивание водоема.

*Ключевые слова:* метан, водохранилище, водная экосистема.

V.A. Lomov<sup>1,2</sup>, [lomson620@mail.ru](mailto:lomson620@mail.ru)

<sup>1</sup>*M.V.Lomonosov Moscow State University*

<sup>2</sup>*Laboratory of Supercomputer Modeling of the Earth System Processes of Research Computing Center of Moscow State University, Moscow, Russia*

## **METHODS FOR INSTRUMENTAL ASSESSMENT OF METHANE FLUXES IN RESERVOIR**

The results of methane fluxes measurements on «bottom sediments – water» and «water – atmosphere» boundaries carried out on Mozhaysk reservoir in summer period, when the highest spatial – temporary variability of the methane concentration and flux observed, are presented. These measurements showed the influence of water stratification on the rate of methane fluxes using the

examples of summer period in 2018 and 2019. The highest rate of methane flux into the atmosphere observed in the end of summer period, before the autumn convective mixing stage, and after the strong storm events, when the water body mixing is occurred.

*Keywords:* methane, reservoir, water ecosystem.

### **Введение**

Объектом исследования было выбрано Можайское водохранилище, на котором с 2015 г. ведутся наблюдения за потоками метана. Это типичное морфологически простое водохранилище долинного типа. Для изучения пространственной неоднородности потоков метана в водоеме из опорной сети станций гидрологических съемок были выбраны пять станций наблюдений над затопленным речным руслом (I – V), которые репрезентативно характеризуют гидроэкологический режим районов водоема (рис.1).



Рис.1. Схема Можайского водохранилища с опорными станциями измерений

Основной источник метана в водной экосистеме – анаэробное разложение органического вещества в донных отложениях. Метан, который поднимается от придонных слоев воды к поверхности, попадает в атмосферу двумя основными путями – пузырьковым и диффузионным [1]. Диффузионный поток подвержен окислению метанотрофами. Даже при небольших концентрациях кислорода происходит его активное окисление: около 90% метана, поступающего из гипolimниона, может быть окислено микроорганизмами [2]. Отличие пузырькового потока в том, что он достигает поверхности значительно быстрее диффузионного и он не подвержен окислению, так как молекулы метана из-за сил поверхностного натяжения недоступны для микробиологических процессов. Пузыри газа образуются только при перенасыщении воды растворенным метаном. Попадая в слои, менее насыщенные метаном, пузырьки могут растворяться [3]. Поэтому, чем меньше глубина водоема, тем больше может быть значение пузырькового потока [4].

### **Материалы и методы исследования**

Основной метод определения потока метана в атмосферу – метод «плавучих камер» [1; 5]. Герметичная камера помещается на поверхность воды, и в ней измеряется концентрация метана в начале и в конце эксперимента (время экспозиции составляет как правило около часа). По изменению концентрации определяется удельный поток метана с поверхности водоема. Такая камера позволяет определить общий поток – суммарно пузырьковый и диффузионный. Для того, чтобы отдельно определить эти составляющие потока, используются два способа определения диффузионного потока. Первый – расчетный способ

«Thin boundary layer» – основанный на параметризации потока метана в зависимости от разности его концентраций в воде и в воздухе. Второй способ – инструментальный, при котором диффузионный поток определяется с помощью «диффузионной камеры». Это плавучая камера с установленным на небольшой глубине (около 70 см) защитным экраном, который отклоняет пузырьковый поток. Так как скорость диффузионного потока намного меньше пузырькового, он не успевает преодолеть путь от экрана до камеры. Пузырьковый поток метана в атмосферу рассчитывается по разнице общего и диффузионного.

Поток метана из донных отложений измерялся методом трубок Кузнецова-Романенко [6]. С помощью дночерпателя отбирается верхний слой донных отложений и помещается в стеклянные трубки, которые сверху заполняются придонной водой. Параллельно с грунтовыми трубками заливаются холостые (без донных отложений). Трубки ставятся на экспозицию в лабораторных условиях при температуре, приближенной к *in situ*, на двое суток. После этого по разнице концентрации метана в грунтовой и холостой трубках оценивался его выход из донных отложений. Такой метод измерений имеет достаточно большое количество недостатков, главный из которых – потеря части пузырькового потока. В момент окончания эксперимента может быть определена только концентрация растворенного в трубке метана, следовательно, невозможно в полной мере определить пузырьковую составляющую потока метана.

В связи с этим в 2020 г. начал тестироваться новый метод для оценки потока из донных отложений – «донная камера». Принцип работы схож с «плавучей камерой» – поток из грунтов определяется по разности концентраций метана в начале и в конце эксперимента. На данный момент метод находится на стадии разработки, поэтому результаты оценки потока метана из дна, полученные с его помощью в работе не приводятся.

### Анализ результатов

Наиболее детальное изучение пространственно-временной изменчивости потоков было проведено в летний период 2018 (рис.2) и 2019 (рис.3) годов.

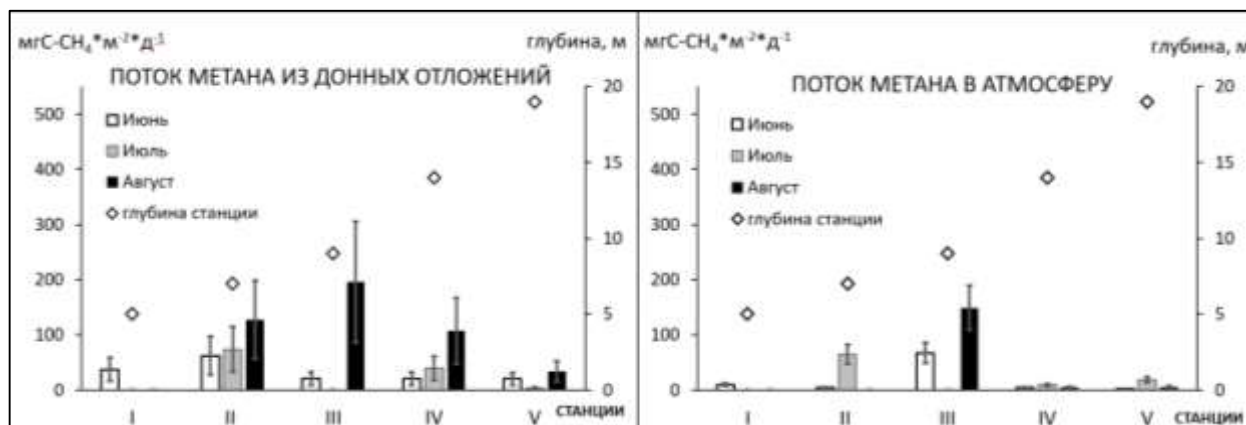


Рис.2. Пространственно-временная изменчивость потоков метана на основных станциях измерений за летний период 2018 г.

В 2018 г. наблюдалось увеличение потоков метана от июня к августу из-за его накопления в придонных горизонтах. Объясняется это наличием в водоеме плотностной стратификации, которая сохранялась в течение всего лета ( $0,14 \text{ г/м}^4$  в среднем по глубине за весь летний период).

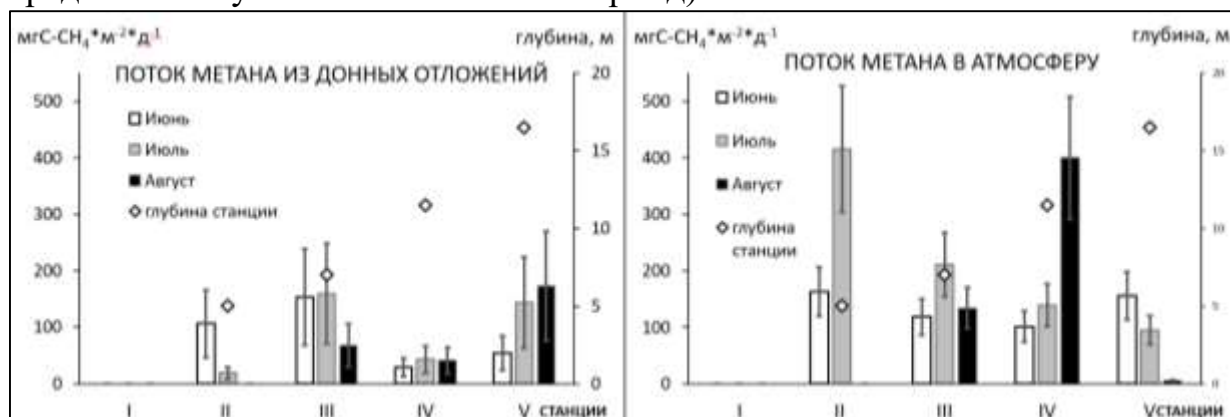


Рис.3. Пространственно-временная изменчивость потоков метана на основных станциях измерений за летний период 2019 г.

Не происходило также и значительных штормовых явлений, которые могли бы разрушить стратификацию и привести к аэрации придонных горизонтов и окислению метана. Наилучшие условия для образования метана в толще донных отложений – это достаточная для установления стратификации глубина станции, но не слишком большая для стабильного поступления органического вещества на дно и невысокого давления водной толщи, при котором пузырьковый поток будет менее интенсивен. Описанным оптимальным условиям соответствует станция III, где и наблюдались наибольшие значения потока как из донных отложений ( $195,9 \text{ мгC-CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут.}$ ), так и в атмосферу ( $149,1 \text{ мгC-CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут.}$ ) в 2018г.

Условия лета 2019 г. сильно отличались от предыдущего. В начале летнего периода произошло несколько мощных штормов (26.06 и 6.07), разрушивших температурную стратификацию, которая была слабо выраженной и в оставшуюся часть лета (после 6.07 средняя устойчивость –  $0,06 \text{ г/м}^4$ ). Также уровень водохранилища был значительно ниже, чем в 2018 году (около 4-5 м ниже НПУ).

По результатам измерений видно, что в 2019 г. наблюдается превышение потока метана в атмосферу над потоком из дна. Связано это с тем, что метод трубок, который использовался для определения потока метана из грунта, занижает значения пузырьковой составляющей потока, о чем уже говорилось ранее. Особенно заметно это проявляется в августе, при значительном потоке метана и, следовательно, высокой доле пузырьковой составляющей (по результатам измерений диффузионной камеры пузырьковая составляющая может достигать 97% общего потока в атмосферу).

Наибольшие значения потока в атмосферу в 2019 г. наблюдались на станции IV в августе ( $400,3 \text{ мгC-CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут.}$ ), что обусловлено очень низким уровнем водохранилища в этом году. Наиболее благоприятные условия, о которых говорилось ранее, сместились вниз по водоему. Также высокие

значения потока на станции II в июле ( $415,2 \text{ мгС-CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут.}$ ) из-за низкого уровня, при котором практически все пузырьки беспрепятственно могут эмиттировать в атмосферу, и активного развития макрофитной растительности, при разложения которой к донным отложениям поступает большое количество органического вещества, необходимого для образования метана.

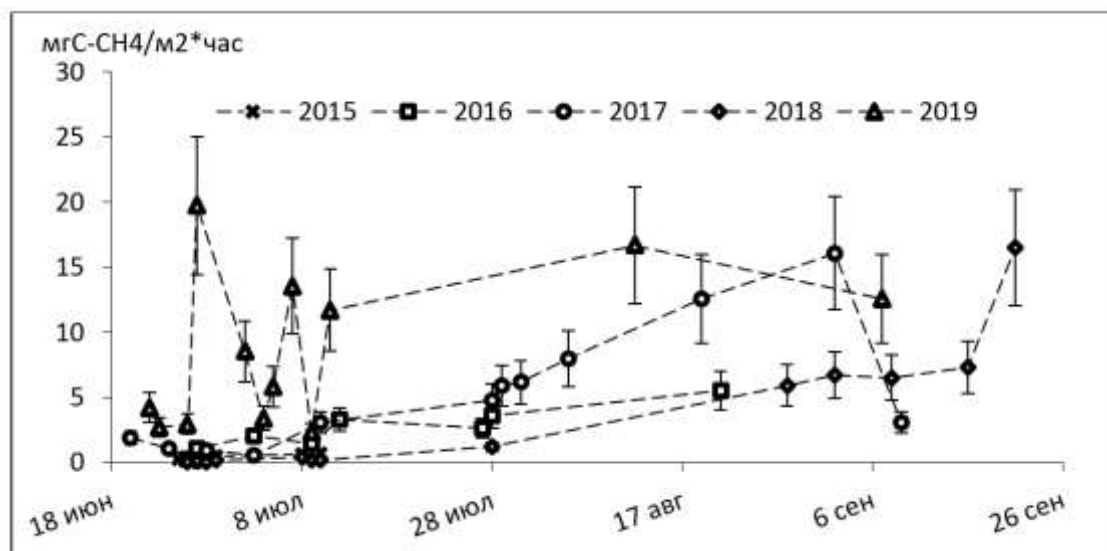


Рис. 4. Изменение потока метана в атмосферу в течение летнего периода на станции наблюдений IV

Изменение потока метана в атмосферу по результатам наблюдений на станции IV имеют общую тенденцию за 2015–2019 гг. (рис.4). Поток метана незначителен в начале лета, так как бескислородная зона в гипolimнии только начинает образовываться. После этого его значения к августу увеличиваются постепенно при медленном ослаблении температурной стратификации, как в 2017г., или увеличение происходит резко, при быстром разрушении стратификации из-за сильного ветро-волнового воздействия, как в 2018 г. В 2019 г. наблюдалось несколько значительных пиков потока метана в атмосферу (27 июня – самое большое значение потока –  $19,7 \text{ мгС-CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{час}$ ). Связано это со штормовыми явлениями в это время (порывы ветра достигали  $20 \text{ м/с}$ ), которые разрушили температурную стратификацию, и метан, накопившийся в гипolimнии с середины мая, начал активно поступать в атмосферу. После этого в водоеме не наблюдалось устойчивой стратификации, и поток метана в оставшуюся часть лета был равномерно на высоком уровне.

### Выводы

Таким образом, величины потока метана и их изменение в течение летнего периода напрямую зависят от сложившейся метеорологической обстановки на водоеме, так как именно синоптические условия определяют устойчивость плотностной стратификации, интенсивность ветро-волнового перемешивания. Наиболее значительна пузырьковая составляющая потока метана, которая при больших значениях потока может достигать 97% общей эмиссии. Наибольшие значения потока метана наблюдались в средней части водоема, а также в наиболее мелководных частях при условии обильного поступления



органического материала, доступного для разложения. Большие значения потока метана в атмосферу наблюдаются в моменты прохождения мощных штормовых явлений на водоеме и перед началом осеннего перемешивания.

Автор статьи выражает благодарность сотрудникам Красновидовской УНБ, а также Казанцеву В.С. за помощь в полевых и лабораторных работах.

### Библиографический список

1. *Bastviken D., Santoro A., Marotta H.* Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling // N.Y.: Environmental science & technology. 2010. Vol.44. P. 5450–5455.
2. *Guerin F., Abril G.* Significance of pelagic aerobic methane oxidation in the methane and carbon budget of a tropical reservoir // Journal of Geophysical Research. 2007. Vol. 112. P. 3006–3020.
3. *Ostrovsky I., McGinnis D., Lapidus L., Eckert W.* Quantifying gas ebullition with echosounder: the role of methane transport by bubbles in a medium-sized lake // USA: Limnology and Oceanography: Methods. 2008. Vol 6. P. 105–118.
4. *Miller B., Arntzen E., Goldman A., Richmond M.* Methane Ebullition in Temperate Hydropower Reservoirs and Implications for US Policy on Greenhouse Gas Emissions // USA: Environmental Management. 2017. Vol. 60. P. 1–15.
5. *Gash J., Goldenfum J., Richard M. Taylor et.al.* Greenhouse gas emissions related to freshwater reservoirs. The World Bank Contract 7150219. 2010. 166 p.
6. *Романенко В.И., Романенко В.А.* Деструкция органического вещества в иловых отложениях Рыбинского водохранилища // Тр. ИБВВ АН СССР, 1969. Вып. 19 (22). С. 24–31.

УДК 556.531

А.С. Макарова, О.Н. Ерина, [an.makarova.96@mail.ru](mailto:an.makarova.96@mail.ru)  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

### СТРУКТУРА ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ Р.МОСКВЫ ЗА ПЕРИОД С 2009 ПО 2019 Г.

На основе открытых данных статистической отчетности об использовании вод по форме 2-ТП (водхоз) за 2009-2019 гг. проанализированы структура современного водоотведения и водозабора из русла р. Москвы и ее бассейна, а также качество сточных вод. Водоотведение сильно преобладает над водозабором за счет отведения подземных вод в поверхностные водные объекты, качество отводимой воды по большинству параметров не соответствует нормативам для водных объектов рыбохозяйственного значения.

*Ключевые слова:* водопользование, водозабор, водоотведение, р. Москва, качество воды, водохозяйственный баланс.

## WATER USE IN THE MOSKVA RIVER BASIN FROM 2009 TO 2019

Structure of water supply and water disposal of Moskva river channel, absolute river basin and water quality of water disposal were analyzed by using open base data of statistical report on water use on the form from 2009 to 2019. Water disposal prevails over water supply because ground water is diverted to surface water, water quality of diverted waters does not meet the quality standards for fishery water.

*Key words:* water use, water supply, water disposal, Moskva River, water quality, water economy balance.

### ***Введение***

Бассейн р. Москвы является наиболее плотно заселенным участком на территории России, сама р.Москва служит как основным источником водоснабжения Московского мегаполиса, так и объектом его водоотведения. Даже после присоединения Новой Москвы около 98% водоснабжения базируется на использовании поверхностных вод. В бассейне реки расположены крупнейшие в Европе станции очистки сточных вод, которые приносят основной вклад в ее загрязнение. В бассейнах притоков р. Москвы расположены города, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, которые в том или ином качестве используют водные объекты. Поэтому объемы водоотведения и водозабора, а также качество отводимой воды – важнейшие показатели, напрямую определяющие экологическое состояние бассейна р. Москвы.

Рассмотрение статистических данных по водопользованию является крайне важным для понимания распределения точечных источников загрязнения бассейна и нагрузки на водные объекты. Целью исследования является анализ структуры водозабора и водоотведения из русла и водосбора р. Москвы с 2009 по 2019 г., а также изучение степени чистоты отводимой воды.

### ***Материалы и методы исследования***

Структура водопользования в бассейне р.Москвы анализировалась на основе статистической отчетности об использовании вод по форме 2-ТП (водхоз) с 2009 по 2019 гг., полученной из открытой базы данных автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) Российской Федерации. Рассматривались данные по объемам водозабора и водоотведения из природных водных объектов и сбросу воды в природные поверхностные водные объекты.

Ввиду того, что русло р.Москвы является основным источником водоснабжения и водоотведения в бассейне, оно рассматривалось отдельно. Оставшаяся часть водосбора была вычислена с помощью разности показателей водопользования для всего водосбора и отдельно для русла р. Москвы.

### ***Анализ результатов***

Большая доля объема водозабора в бассейне р. Москвы приходится на ее русло в период с 2009 по 2019 г. и изменяется в диапазоне от 1150 млн м<sup>3</sup> до 1450 млн м<sup>3</sup> (рис.1а). На оставшуюся часть водосбора приходится около 20% водозабора, составляя в среднем за период с 2010 по 2019 г. 300 млн м<sup>3</sup>. При этом



выделяется 2009 г., когда данная величина была минимальной и составляла 50 млн м<sup>3</sup> (рис.1б).

Проанализировав структуру водозабора можно сделать вывод, что такое значительное увеличение объемов водозабора в 2010 г. произошло преимущественно за счет увеличения использования подземных вод.

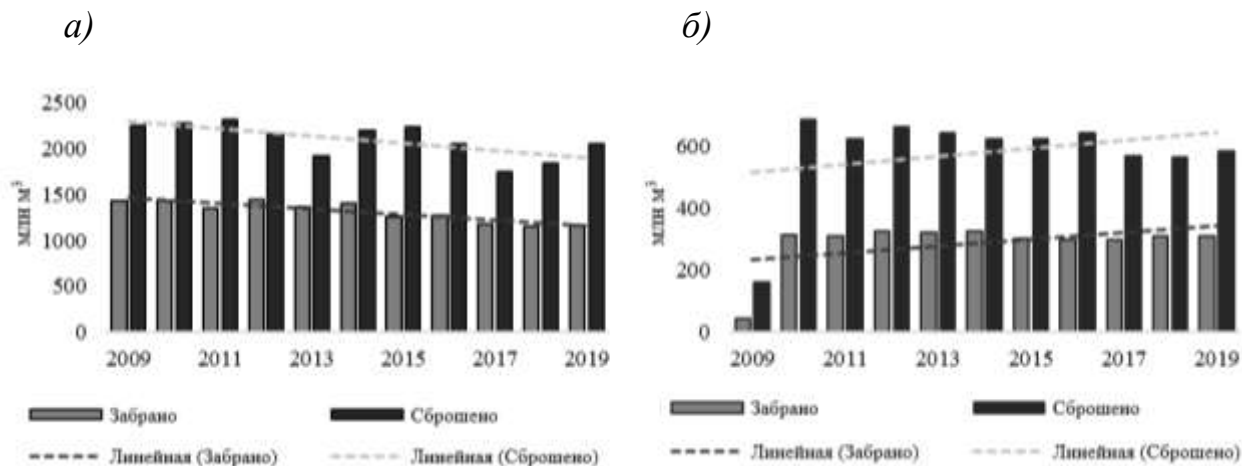


Рис. 1. Динамика величин водозабора и водоотведения в 2009-2019 гг. в русле р. Москвы (а) и в остальной части водосбора р. Москвы (б)

Однако ввиду отсутствия ярко выраженных причин для столь значительного роста такие изменения представляются обусловленными в первую очередь включением данных о существовавшем ранее водозаборе в официальную статистическую отчетность, которая ранее по тем или иным причинам водопользователями не подавалась. В целом динамику водозабора можно считать однородной, наблюдается постепенное увеличение водопотребления в бассейнах притоков за счет роста населения в Московском региона и за счет сокращения водозабора из русла р. Москвы, что обусловлено снижением водопотребления в г. Москве наблюдается на протяжении последних 30 лет [1].

Основная доля водоотведения в бассейне р. Москвы также осуществляется непосредственно в ее русло. Годовые объемы отводимых стоков за рассматриваемый период составляют от 1750 млн м<sup>3</sup> до 2300 млн м<sup>3</sup> (рис.1а). Основными абонентами, поставляющими сточные воды в русло р. Москвы, являются Люберецкая и Курьяновская станции аэрации – крупнейшие в Европе предприятия по очистке коммунально-бытовых сточных вод, чей вклад в суммарное поступление сточных вод в русло р. Москвы достигает 60%. В остальную часть водосбора сбрасывается намного меньше сточных вод – от 200 млн м<sup>3</sup> до 700 млн м<sup>3</sup> в год (рис. 1б).

Общий тренд в динамике водоотведения в русло р. Москвы можно считать нисходящим, тогда как в оставшейся части водосбора наблюдается постепенное увеличение объемов водоотведения. Межгодовые колебания объемов сброса сточных вод в бассейне составляют 3-30%.

Сравнивая между собой объемы водоотведения и водозабора в русле р.Москвы, можно сделать вывод, что сброс сточных вод существенно превышает

значения изымаемой воды из главной реки рассматриваемого бассейна, различия составляют от 25 до 65%. Так, наименьшие различия между годовыми объемами забора и сброса вод отмечались в 2013 г. и составляли 560 млн м<sup>3</sup> или почти 30% (от сброса). В течение всего рассматриваемого периода можно видеть тенденцию преобладания сброса над забором. В 2015 г. и 2011 г. разница между сбросом и забором была наибольшей, около 970 млн м<sup>3</sup> (что составляет 40% от сброса). За 2016-2018 г. в среднем за год было сброшено на 600-800 млн м<sup>3</sup> больше воды чем забрано. По всей видимости, так проявляется водоотведение подземных вод, забираемых для водоснабжения городов Московской области, которые в дальнейшем проходят очистку и отводятся в р. Москву. Все это свидетельствует о ключевом вкладе сточных вод в трансформацию как стока реки, так и качества ее воды.

В остальной части бассейна наблюдается немного иная картина. Объемы сброса превышают забор примерно на 50%. 2009 г. можно считать аномальным, забрано было почти 50 млн м<sup>3</sup>, а сброшено 161 млн м<sup>3</sup>, причины подобного соотношения были описаны ранее и по всей видимости связаны с непредставлением официальных данных по подземному водозабору в 2009 г. Начиная с 2010 г. объемы и сброса, и забора заметно вырастают и находятся примерно на одном уровне за все рассматриваемые годы. Среднее значение забора равняется 300 млн м<sup>3</sup>, а сброса – в 2 раза больше – 600 млн м<sup>3</sup>.

Согласно статистической отчетности (рис.2а) качество отводимой сточной воды в русло р. Москвы весьма низкое: в среднем 1140 млн м<sup>3</sup> в год не соответствует нормативам, что составляет около 77% общего объема. При этом 22% сточной воды или 330 млн м<sup>3</sup> в год поступает в бассейн нормативно-чистой (т.е. не загрязненной в процессе использования), и лишь 1% или 19 млн м<sup>3</sup> общего годового объема водоотведения в русло является нормативно-очищенной, то есть очищаемой на очистных сооружениях до нормативов качества, предъявляемых для водных объектов рыбохозяйственного значения.

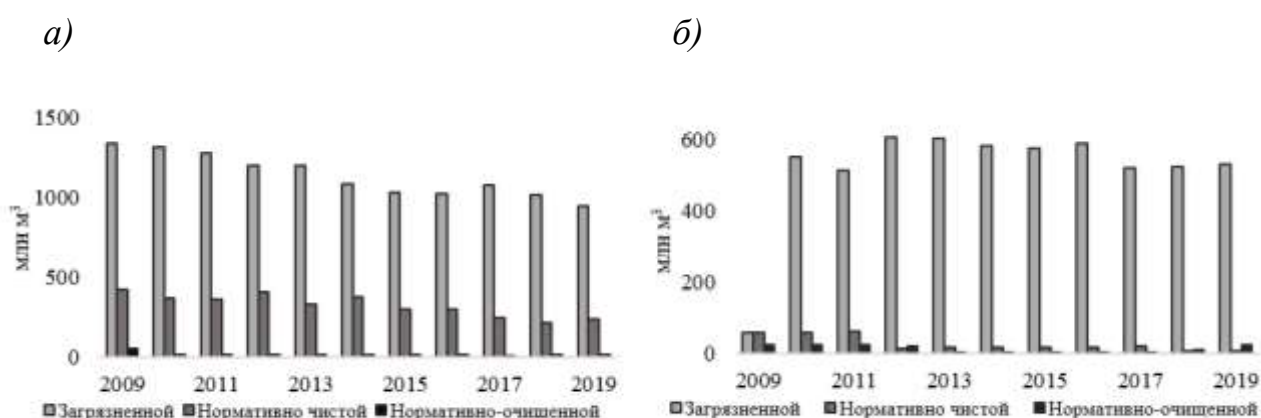


Рис.2. Динамика изменений в 2009-2019 гг. степени чистоты сточных вод, сбрасываемых в русло р. Москвы (а) и в остальную часть бассейна р. Москвы (б)

В остальной части бассейна р. Москвы доля сброса загрязнённой воды также возрастает. За рассматриваемый период она была минимальна в 2009 г. и

составляла 141 млн м<sup>3</sup> (рис.2б) или 40% общего объема водоотведения. С 2010 г. происходит существенное увеличение сброса загрязненных сточных вод. В 2010-2011 гг. загрязненной воды было сброшено в среднем 615 млн м<sup>3</sup> или 85%, а с 2012 по 2018 г. – 590 млн м<sup>3</sup>, т.е. 90%. На нормативно чистую и нормативно-очищенную воду приходилось в 2009 г. – 40% и 10% соответственно, в 2010-2011гг. – 8-10% и 3-4% соответственно, в 2012-2019 гг. – 2-4%, 1-4% соответственно.

Анализируя структуру степени очистки загрязненной воды, можно увидеть, что большая часть сбрасываемой в русло р. Москвы воды этой категории проходит через очистные сооружения (рис. 3а), без очистки сбрасывается лишь 2-4% общего объема загрязненной воды.

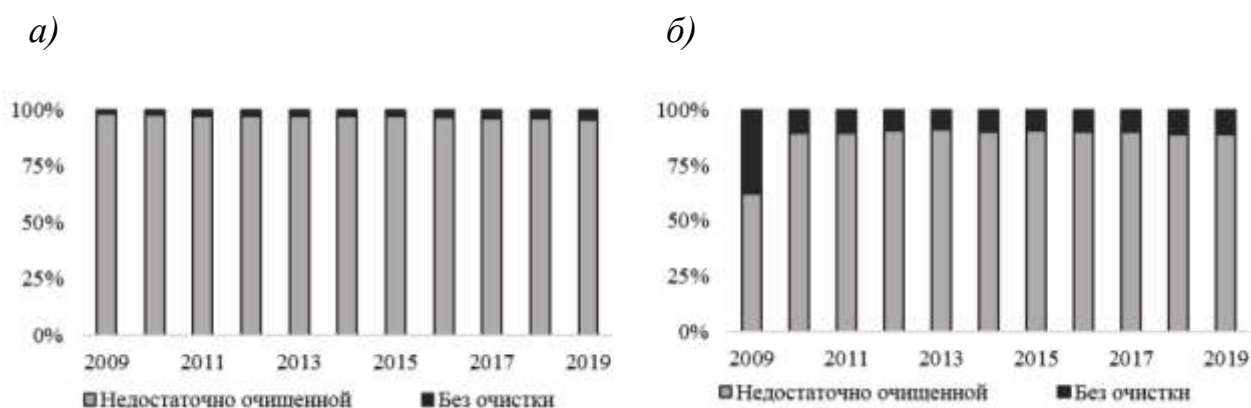


Рис.3. Динамика изменений в 2009-2019 гг. разных категорий загрязненной воды, сбрасываемой в русло (а) и оставшуюся часть бассейна р. Москвы (б)

В оставшейся части бассейна в 2009 г сбрасывалось 35% воды без очистки, а с 2010 по 2019 г. всего 10%. Таким образом, ключевая проблема загрязнения сточных вод, отводимых в русло р. Москвы, заключается в недостаточной эффективности очистки стоков на очистных сооружениях.

### **Выводы**

В период с 2009 по 2019 гг. более 80% водозабора и водоотведения из бассейна р. Москвы приходится на ее русло. Межгодовые различия в русле и остальной части водосбора невелики, при этом отмечается медленная тенденция к уменьшению объемов водозабора и водоотведения в русле р. Москвы и увеличению в оставшейся части бассейна.

Величина водоотведения в бассейне значительно преобладает над водоотведением за рассматриваемый период. В среднем величина водозабора из русла р. Москвы составляет 63% водоотведения, а в оставшейся части водосбора – 52%, что свидетельствует о росте объемов отведения подземных вод после их использования в притоки р. Москвы.

77% стоков, отводимых в русло р. Москвы, являются загрязненными, в оставшуюся часть водосбора 93% сбрасываемых сточных вод не очищаются до установленных нормативов. Причем, в среднем за рассматриваемый период 97% отводимой в русло загрязненной воды проходит очистку на очистных сооружениях, а в оставшуюся часть водосбора – 90%. Таким образом,

загрязненная вода, отводящаяся в р. Москву, проходит недостаточную обработку на очистных станциях.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект 19-77-30004). Изучение структуры водопользования притоков р.Москвы выполнено при поддержке РФФИ (проект 21-55-53039 ГФЕН\_а).*

### **Библиографический список**

1. *Шушкевич Е.В.* Эффективное управление системой подачи и распределения воды Московского мегаполиса // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. №. 1. С. 24-30.

УДК 504.064.2

Е.А. Меньшикова, Е.С. Ушакова, С.М. Блинов, [ecogeopsu@mail.ru](mailto:ecogeopsu@mail.ru)  
*Естественнонаучный институт Пермского государственного национального  
исследовательского университета, г. Пермь, Россия*

### **ОЦЕНКА МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ШАХТНОГО САМОИЗЛИВА**

Приводятся результаты оценки качества вод р.Косьвы и р.Яйвы, которые находятся в зоне влияния самопроизвольного излива шахтных вод Кизеловского угольного бассейна (Пермский край) и разрешенного сброса сточных вод действующих предприятий. Валовое содержание 25 микроэлементов в пробах речных вод определяли масс-спектральным методом на приборе Bruker Aurora M90 ICP-MS. Для исследованных рек бассейна р. Яйвы зафиксированы превышения относительно ПДК рыбохозяйственного значения по Mn (до 149 ПДК), Ni (до 4,5 ПДК), Zn (до 3,9 ПДК) и Co (до 2,5 ПДК), в бассейне р. Косьвы – по Mn (до 39 ПДК) и Cu (до 2,2 ПДК).

*Ключевые слова:* микроэлементы, речные воды, шахтный самоизлив, Камское водохранилище.

Е.А. Menshikova, E.S. Ushakova, S.M. Blinov, [ecogeopsu@mail.ru](mailto:ecogeopsu@mail.ru)  
*Institute of Natural Sciences of Perm State National Research University,  
Perm, Russia*

### **TRACE ELEMENT COMPOSITION ASSESSMENT OF RIVER WATER IN THE ZONE OF ACID MINE WATER INFLUENCE**

The article presents the results of water quality assessment of the Kosva River and the Yaiva River, which are located in the zone of influence of acid mine waters of Kizelovsky coal basin (Perm region) and the permitted discharge of waste water of operating enterprises. Content of 25 trace elements in river water samples was determined by inductively coupled plasma–mass spectrometry (ICP-MS). Excesses of Mn (up to 149 MAC), Ni (up to 4.5 MAC), Zn (up to 3.9 MAC) and Co (up

to 2.5 MAC) in the studied rivers of the Yaiva river basin, of Mn (up to 39 MAC) and Cu (up to 2.2 MAC) in the Kosva river basin were fixed regarding MAC fishery values.

*Keywords:* trace elements, river water, acid mine water, Kamskoye reservoir.

### ***Введение***

В рамках ежегодного экологического мониторинга состояния окружающей среды в Пермском крае производится оценка качества водных объектов на основе статистической обработки результатов гидрохимических наблюдений, проводимых Пермским ЦГМС – филиалом ФГБУ «Уральское УГМС». В программе многолетних наблюдений состоит и пункт на р. Косье, расположенный ниже по течению г. Губахи. Особенностью рассматриваемой территории является ее приуроченность к ликвидированному Кизеловскому угольному бассейну, где острая проблема загрязнения водных объектов связана с самопроизвольным изливом на поверхность кислых шахтных вод и стоков с многочисленных породных отвалов [3-8].

В 2019 г. среднегодовые концентрации соединений Fe в рассматриваемом пункте наблюдений составили 34 ПДК (в 2018 г. – 35 ПДК), Mn – 11 ПДК (в 2018г. – 11 ПДК), Cu – 4 ПДК (в 2018 г. – 2 ПДК), фенолов летучих – 17 ПДК (в 2018 г. – 4 ПДК). При этом максимальная концентрация соединений Fe в 2019 г. составила 84 ПДК (уровень экстремально высокого загрязнения водного объекта, критерий ЭВЗ  $\geq 50$  ПДК), зафиксировано 3 случая содержания соединений Fe на уровне высокого загрязнения водного объекта – 38-49 ПДК (критерий ЭВЗ  $\geq 30$  ПДК). Таким образом, уровень загрязнения воды р. Косьвы ниже г. Губахи остается стабильно высоким и по официальной информации доклада [2] в 2019 г. качество воды ухудшилось до 4-го класса – «грязная», разряд «Б» (в 2018 г. – 4-й класс качества, разряд «А»).

Цель настоящего исследования – оценка уровня содержания широкого перечня микроэлементов в составе речных вод Кизеловского угольного бассейна в зоне влияния самопроизвольного излива шахтных вод и разрешенного сброса сточных вод действующих предприятий сравнением с действующими нормативами качества вод.

### ***Материалы и методы***

Пункты опробования расположены на р. Косье – на интервале от Широковского водохранилища (пункт 4 на рис. 1), в г.Губахе (пункты 6 и 5) до нижнего течения реки (пункты 3, 2, 1), на реках бассейна р. Яйвы – р. Кизел (пункты Я-5, Я-4 на рис. 2), р. Вильве (пункты Я-3 и Я-4), собственно р. Яйве в нижнем течение реки (пункт Я-1). Исследуемые водотоки относятся к бассейну Камского водохранилища. Опробование проведено в летний период 2020 г.

Лабораторные исследования проводились на базе «Центра коллективного пользования Пермского государственного национального исследовательского университета». Валовое содержание 25 элементов (Li, Be, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Hg, Pb) в пробах речных вод после фильтрования определяли масс-спектральным методом на приборе Bruker Aurora M90 ICP-MS.

Исследуемые реки относятся к категории рыбохозяйственных водоемов, поэтому результаты микроэлементного состава вод сравнивались с действующими нормативами предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ Минсельхоза РФ от 13.12.2016 № 552 с изменениями на 10 марта 2020 г.).

Для более детального анализа формирования химического состава исследуемых рек, учитывая присутствие в водах р. Косьвы и крайне токсичных органических соединений, проведен анализ информации Камского БВУ о предоставлении водных объектов в пользование и статусе их водопользования.

### **Анализ результатов**

На основании информации Камского БВУ (табл. 1) в р. Косьву разрешенный сброс сточных вод осуществляется только ПАО «Метафракс» в объеме более 5 млн м<sup>3</sup> в год. Объем разрешенного сброса сточных и дренажных вод в реки бассейна р. Яйвы существенно выше – более 220 млн м<sup>3</sup> в год, он предоставлен 8 водопользователям. При этом основной объем сброса, учитывая отсутствие официальной информации по двум водопользователям, приходится на филиал Яйвенской ГРЭС (99 %).

Таблица 1

### **Водопользование в исследуемых бассейнах по данным Камского БВУ**

Водопользователь	Водоток	Расстояние от устья, км	Объем сброса сточных вод, тыс.м <sup>3</sup>	Перечень загрязняющих веществ
<b>Бассейн р. Косьвы</b>				
ПАО «Метафракс»	р. Косьва	84,0	5 392,75	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , карбамид, сухой остаток, метанол, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , АСПАВ, взвешенные вещества, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , нефтепродукты
<b>Бассейн р. Яйвы</b>				
ОАО «РЖД»	р. Абля	15,0	25,6	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , сухой остаток, Fe <sub>общ.</sub> , АСПАВ, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , взвешенные вещества, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , нефтепродукты
ОАО «Александровский машиностроительный завод»	р. Лытва	19,90 и 19,93	192,24	Fe <sub>общ.</sub> , взвешенные вещества, нефтепродукты
	р. Луньва	1,0 и 0,515	54,09	Ca <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Mg <sup>2+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Fe <sub>общ.</sub> , АСПАВ, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , взвешенные вещества, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , нефтепродукты
АО Березниковский содовый завод»	р. Костанок	2,8	Нет данных	Нет данных
ОАО «РЖД»	р. Устинкова Уньва	2,8	177,82	Нет данных
ПАО «ЮНИПРО» (филиал «Яйвинской ГРЭС»)	Яйвинское вдхр.	140,0 и 140,6	208 958,21	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , сухой остаток, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
МКП ВВГП «Вильва-Водоканал»	р. Вильва	32,0 и 34,0	Нет данных	Нет данных
ООО «Яйвинский Жилищно-Коммунальный Сервис»	р. Вильва	3,0	1 364,43	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , сухой остаток, Fe <sub>общ.</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , АСПАВ, взвешенные вещества, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , нефтепродукты
ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат»	р. Яйва	26,0 и 29,5	231,96	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , сухой остаток, Cl <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , АСПАВ, Fe <sub>общ.</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , взвешенные вещества, фосфаты, нефтепродукты, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Суммарно по бассейну р. Яйвы			211 004,35	–

Согласно опубликованным данным [4] ежегодный объем шахтных вод Кизеловского угольного бассейна, поступающих на поверхность, составляет 18 млн м<sup>3</sup>. По данным Геоэкологической геоинформационной системы Кизеловского угольного бассейна [1], ежегодное поступление шахтных вод в бассейн р. Косьвы может составлять 9,8 млн м<sup>3</sup>, в бассейн р. Яйвы – 5,6 млн м<sup>3</sup> (табл. 2). Наиболее существенные превышения характерны (кратность превышения ПДК) для Be (до 970), Zn (до 95), Ni (до 71), Co и Cd (до 58), Pb (37).

По результатам опробования 2020 г. содержание большинства исследованных элементов составляет более 0,1 мкг/дм<sup>3</sup>. Исключением стали W, Ga и Ge, содержание которых существенно ниже. Сравнение с нормативами демонстрирует напряженную ситуацию с микроэлементной нагрузкой для р. Кизел по Mn (превышения ПДК до 149), Ni (до 4,5 ПДК), Zn (до 3,9 ПДК) и Co (до 2,5 ПДК) (рис. 1).

Таблица 2

Характеристика шахтных вод по данным ГИС КУБ [1] за 2013 - 2017 гг.

Шахты	Объемы шахтных вод, м <sup>3</sup> /год	Кратность превышения ПДК по микроэлементам
<b>Бассейн р. Косьвы</b>		
Им. Крупской	161 768	Be (158), <b>Zn (95)</b> , Co (45), Ni (45) <b>Pb (37)</b> , Li (23)
Им. 1 Мая	571 736	Be (420), Ni (29), Co (24), Zn (14)
Им. Калинина	3 325 880	Be (74), Ni (41), Zn (31), Co (23), Li (8), Cd (7), Pb (7)
Им. 40 лет Октября	5 240 232	Zn (78), Be (28), Ni (13), Co (23), Pb (2), Li (2)
«Нагорная»	566 063	Be (93), <b>Ni (71)</b> , Co (58), Zn (24), Li (9), Pb (4), Cd (2)
<b>Бассейн р. Яйвы</b>		
«Белый Спой»	555 712	Be (360), Zn (16), Co (13), Ni (8), Li (2)
Им. Ленина	3 091 143	Be (174), Co (57), Zn (55), Ni (41,6), Li (15), Pb (8), Cd (11)
Им. Володарского	155 290	Be (60), Zn (51), Co (46), Ni (13), Li (12), Cd (4), Pb (3)
«Коспашская»	1 813 835	<b>Be (970)</b> , <b>Co (74)</b> , <b>Cd (58)</b> , Ni (53), Zn (49), Pb (10), Li (5)

Ситуация для р. Косьвы в целом более благоприятная за исключением высоких содержаний Mn в районе г. Губахи (до 39 ПДК) (рис. 2). Почти повсеместные превышения по содержанию Cu, в связи с их наличием и в фоновом створе, можно рассматривать как региональную геохимическую особенность территории водосбора реки.

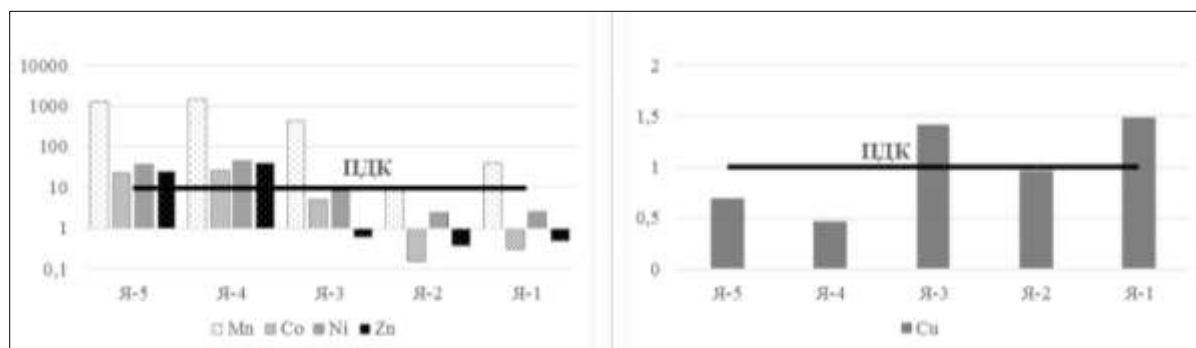


Рис.1. Микроэлементный состав (мкг/дм<sup>3</sup>) речных вод в бассейне р. Яйвы в сравнении с ПДК

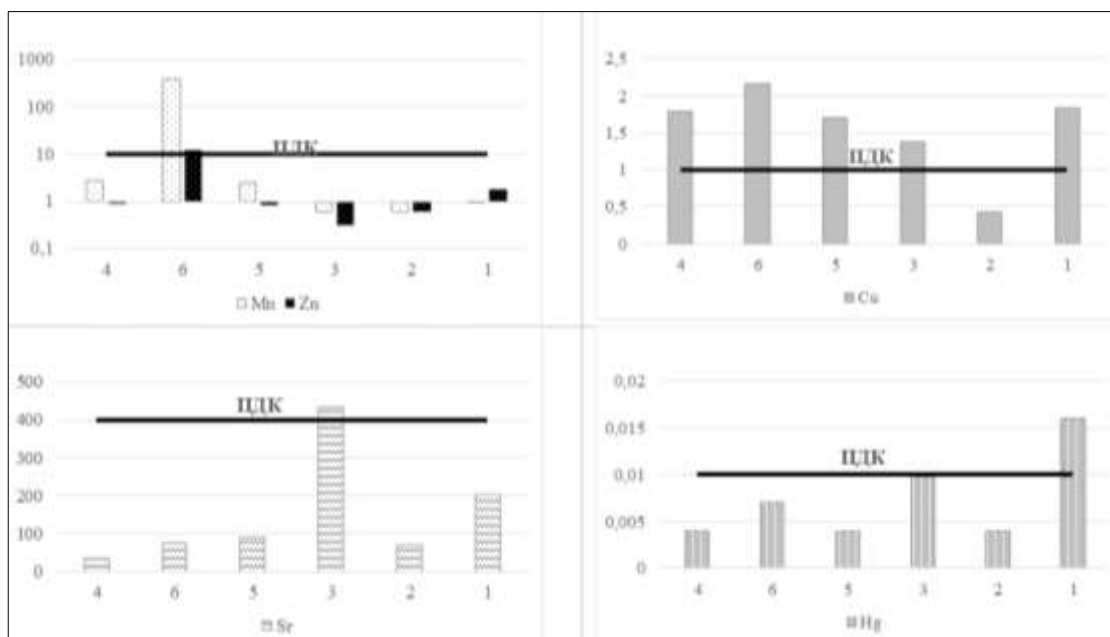


Рис. 2. Микроэлементный состав (мкг/дм<sup>3</sup>) р. Косьвы в сравнении с ПДК

Таким образом, с учетом объемов самоизлива шахтных вод и разрешенного сброса сточных и дренажных вод в реки бассейна р. Яйвы, развитием в нижнем течении р. Яйвы любительского рыболовства, можно рекомендовать включение в программу наблюдений за качеством водной среды в рамках мониторинга окружающей среды в Пермском крае пункта (пунктов) на этой реке. Очевидно, что перечень наблюдаемых микрокомпонентов следует расширить включением в него Co, Ni и Zn.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50071 и Министерства науки и высшего образования проект № 2019-0858.*

### Библиографический список

1. Геоэкологическая геоинформационная система Кизеловского угольного бассейна. URL: <http://kub.maps.psu.ru/> (дата обращения 10.04.2021).
2. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края» в 2019 г. (<https://www.permecology.ru>, дата обращения 01.04.2021).
3. Красильникова С.А., Блинов С.М. Последствия сброса шахтных вод в Кизеловском угольном бассейне // Естественные и технические науки. 2017. 11(113). С.153-154.
4. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2018. 288с.
5. Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Эколого-геохимическое состояние донных отложений рек Кизеловского угольного бассейна в период после ликвидации шахт // Вестник Перм. ун-та. Пермь, 2005. Вып. 3. Геология. С. 167-174.



6. Фетисова Н.Ф. Исследование форм миграции металлов в реках, подверженных влиянию шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т.332. № 1. С. 141-152. DOI: 10.18799/24131830/2021/1/3007.

7. Maximovich N., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region // Environmental Earth Sciences. 2014. V.72. № 6. P. 1915–1924. DOI: 10.1007/s12665-014-3099-7.

8. Menshikova E., Osovetsky B., Blinov S., Belkin P. Mineral Formation under the Influence of Mine Waters (The Kizel Coal Basin, Russia) // Minerals. 2020. Vol. 10. № 364. DOI: 10.3390/min10040364.

УДК [556.53 + 556.531.4 + 574.5] (282.243)

А.А. Морозова, Т.Н. Дьяченко

[allusya\\_ruusya@bigmir.net](mailto:allusya_ruusya@bigmir.net), [t\\_dyachenko@ukr.net](mailto:t_dyachenko@ukr.net)

*Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев, Украина*

## **К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ВОДЯНОГО ОРЕХА (TRAPA NATANS) НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРХНИХ УЧАСТКОВ КИЕВСКОГО И КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

Представлены результаты исследований и экологическая оценка качества воды верхних участков Киевского и Каневского водохранилищ по гидрохимическим показателям (летне-осенний период). Исследования проводились на акватории, занятой высшей водной растительностью, главным образом, водяным орехом (*Trapa natans*), и свободной от нее.

**Ключевые слова:** Киевское водохранилище, Каневское водохранилище, минерализация воды, биогенные вещества, качество воды, заросли высшей водной растительности, водяной орех (*Trapa natans*).

А.А. Morozova, T.N. Dyachenko

[allusya\\_ruusya@bigmir.net](mailto:allusya_ruusya@bigmir.net), [t\\_dyachenko@ukr.net](mailto:t_dyachenko@ukr.net)

*Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine*

## **TO THE QUESTION ABOUT THE INFLUENCE OF WATER NUTS (TRAPA NATANS) ON THE ECOLOGICAL STATE OF THE UPPER SECTIONS OF KIEVSKY AND KANEVSKOYE RESERVOIRS BY HYDROCHEMICAL INDICATORS**

The paper presents the research results and ecological estimation of water quality in the upper regions of the Kiev and Kanev reservoirs by hydrochemical indicators (summer-autumn period). The studies were carried out in an area occupied by higher aquatic vegetation, mainly water nut (*Trapa natans*), and free from it.

**Keywords:** Kiev reservoir, Kanev reservoir, water mineralization, biogenic matter, water quality, bed of higher aquatic vegetation, water nut (*Trapa natans*).

В последние десятилетия актуальной становится проблема экспансии краснокнижного вида *Trapa natans* L. s.l. на верхние участки Киевского и Каневского водохранилищ. Сообщества ассоциации *Trapetum natantis* Kárpáti 1963 практически полностью оккупировали мелководья, вытесняя другие виды водных макрофитов, ухудшая условия нереста и нагула рыб, что приводит к заморным явлениям среди рыбной молоди и значительному сокращению уловов. *Trapa natans* имеет обширный географический ареал, но мозаичное распространение. Его северная граница проходит около 54-57 ° северной широты. Происхождение ореха датируется концом мелового периода [3] и считается третичным реликтом, исчезающим видом, ареал которого в послеледниковую эпоху то сужается, то расширяется [4; 9]. Вид внесен в Красные книги многих государств, является видом Бернской конвенции [7] и Европейского Красного списка [5]. Сообщества ассоциации *Trapetum natantis* охраняются Зеленой Книгой Украины [6].

Водяной орех – однолетнее (в нашем климате), теплолюбивое растение, отдающее предпочтение малопроточным мелководьям с хорошим прогревом водной массы и донными отложениями, в составе которых преобладают аллювиальные отложения.

В верхней части Киевского водохранилища, головного в каскаде днепровских водохранилищ, наблюдается процесс интенсивного вторичного образования поймы. Анализ космических снимков (за 30-летний период) показал, что ежегодно приблизительно 200 га водной экосистемы водохранилища переходит в болотные экосистемы с еще большими площадями зарастания высшей водной растительностью. В связи с резким сокращением стока Днепра (более чем в 2 раза по сравнению с 60-мы гг. прошлого столетия) и аномально высокими температурными показателями в вегетационный период этот процесс ускорился. Это привело к снижению уровня воды в водохранилище и появлению новых мелководий, быстро зарастающих погруженной растительностью, а затем и водяным орехом.

Для изучения проблемы в 2019 г. (Киевское и Каневское водохранилища) и в 2020 г. (Киевское) сотрудниками Института гидробиологии НАН Украины и Киевского рыбоохранного патруля были проведены исследования на участках со сплошным (100%) зарастанием водяным орехом, смешанных зарослей и свободных от зарослей высшей водной растительностью. Основное внимание уделялось максимально заросшему водяным орехом Киевскому водохранилищу.

Пробы для определения компонентного состава воды отбирались с поверхностного и придонного горизонтов водоемов батометром Рутнера. Определение основных гидрохимических показателей проводилось по общепринятым в гидрохимической практике методикам А.О. Алекина [1].

Формирование гидрохимического режима Киевского водохранилища и его мелководных участков происходит под влиянием как внешних, так и внутренних факторов. К первым относится величина и характер внутригодового распределения водного стока р. Днепр и его основных притоков (Припять, Тетерев, Березань и др.), ко вторым – уровень развития и жизнедеятельности водных организмов, а также степень антропогенного воздействия. Важную роль

в формировании качества воды водохранилища играет характер взаимодействия водной массы с донными отложениями, накопившими за многолетний период значительное количество органических и биогенных веществ. Однако влияние внешних факторов все же является определяющим в формировании особенностей миграции биогенных веществ. А именно – временная и пространственная изменчивость содержания растворенного в воде кислорода и биогенных элементов определяется фактором смешивания двух различных по генезису речных масс Припяти и Днестра. Припятская водная масса характеризуется повышенными концентрациями органического вещества и, в частности, гуминовых кислот, и занимает, как правило, правобережную часть Киевского водохранилища. Левобережье находится под влиянием днепровской речной массы. Как известно, значительное количество растворенного в воде кислорода расходуется на окисление органического вещества. Влияние р. Припять на концентрацию растворенного кислорода сохраняется в течение всего года и обуславливает формирование анаэробных условий, особенно на верхних участках водохранилища [8]. Еще одним важным фактором, от которого зависит миграция и распределение в частности растворенного кислорода и биогенных веществ, является водность года. Так, в маловодные годы уменьшение скорости течения и проточности водохранилища определяет ухудшение газового режима водоема, в частности режима растворенного в воде кислорода. Для мелководных участков водоема основными факторами формирования их гидрохимического режима, в первую очередь, являются гидродинамические условия (замедленный водообмен) и термический режим (существенное повышение температуры воды в вегетационный период) [2]. Для оценки влияния высшей водной растительности в целом и водяного ореха, в частности, на экологическое состояние исследуемых участков следует учитывать и состав их донных отложений. На верхнем участке Киевского водохранилища доминируют иловые отложения, тогда как в верхней части Каневского водохранилища преобладают песчаные отложения. В то же время, формирование гидрохимического режима, в том числе режима и динамики растворенного кислорода и биогенных веществ в Каневском водохранилище, находится в прямой зависимости от режима работы и величины попусков воды из Киевского водохранилища.

Проведенные наблюдения показали, что верхний участок Киевского водохранилища характеризуется существенным дефицитом растворенного в воде кислорода, содержание которого даже на участках свободных от зарослей высшей водной растительности не превышало  $3,28 \text{ мг/дм}^3$  (35,9% насыщения), а в зарослях водяного ореха его содержание было еще меньше –  $1,62 \text{ мг/дм}^3$  (17,7% насыщения). В то же время на подобных участках Каневского водохранилища содержание растворенного кислорода достигало  $11,5 \text{ мг/дм}^3$  и  $9,77 \text{ мг/дм}^3$ , соответственно (табл.1). Такая разница концентраций растворенного в воде кислорода на исследуемых участках водохранилищ обусловлена, прежде всего, совокупным действием многих факторов, о чем упоминалось ранее, а не только влиянием гидробионтов в целом и водяного ореха, в частности. Однако не следует не учитывать влияние высшей водной растительности на формирование режима и динамики кислорода и биогенных веществ.

**Содержание растворенного в воде кислорода ( $O_2$ , мг/дм<sup>3</sup>), некоторых главных ионов и минерализации (мг/дм<sup>3</sup>) в воде верхних участков Киевского и Каневского водохранилища в период наблюдений 2019-2020 гг.**

	<i>pH</i>	<i>O<sub>2</sub>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i>Cl<sup>-</sup>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i>Жесткость, мг-екв./дм<sup>3</sup></i>	<i>Минерализация, мг/дм<sup>3</sup></i>
<b>Киевское вдхр., 10.07.2019</b>							
ст.1, заросли ореха	7,0	-	109,80	31,90	63,36	3,45	278,42
ст.2, 100% орех	7,17	1,62	109,80	28,36	68,16	3,41	280,27
ст.4, разреженные заросли	7,50	-	106,75	28,36	54,72	3,22	257,86
ст.3, чистоводье	7,40	3,28	112,85	24,81	52,80	3,18	258,07
<b>Каневское вдхр., 12.07.2019</b>							
ст.3, орех + роголистник	7,45	9,60	91,50	28,36	54,72	2,95	239,86
ст.1, орех + кубышка	7,57	9,77	97,60	24,81	63,36	3,18	252,98
ст.6, граница с чистоводьем	7,70	6,68	94,55	24,81	80,64	3,27	274,87
ст.7, чистоводье	8,0	11,40	97,60	24,81	87,36	3,09	291,38
ст.10, смешанные заросли	8,15	11,50	94,55	24,81	65,28	3,09	254,21
<b>Киевское вдхр., 24.09.2019</b>							
ст.2, 100% орех	-	12,0	115,90	24,81	57,60	3,73	264,79
ст.3, чистоводье	-	10,22	115,90	21,27	57,60	3,55	261,81
ст.4, разреженные заросли	-	11,8	109,80	28,36	57,60	3,55	266,37
<b>Киевское вдхр., 30.07.2020</b>							
ст.6, орех	-	5,24	106,75	14,18	79,68	3,21	272,99
	-	5,2	103,7	14,18	79,68	3,29	264,72
ст.7, чистоводье	-	7,73	103,7	14,18	79,68	3,33	265,89
	-	8,25	112,85	17,72	72,0	3,13	276,35
ст.8 кубышка + орех	-	9,67	91,5	21,27	79,68	3,08	266,28
	-	9,03	88,45	21,27	62,4	2,71	236,2
ст.9, чистоводье	-	10,58	97,6	17,72	73,92	3,0	259,76
ст.11, чистоводье	-	7,8	91,5	24,81	68,16	2,75	248,15

Максимальное содержание кислорода, наблюдаемое летом в воде Каневского водохранилища, обусловлено, прежде всего, высоким уровнем развития и жизнедеятельности гидробионтов, на фоне повышения температуры воды и интенсификации процесса фотосинтеза.

Изменение содержания кислорода в определенной степени влияет на особенности миграции биогенных компонентов в воде обоих водохранилищ. Исследования показали, что вода их верхних участков, обогащена биогенными веществами. С учетом замедленного водообмена этих участков с основной частью водохранилищ, процесс эвтрофирования, как природного, так и

антропогенного характера, все более интенсифицируется, приводя к ухудшению режима растворенного в воде кислорода и способствуя накоплению биогенных веществ. Это, в свою очередь, наряду с благоприятными гидродинамическими и термическими условиями мелководий, способствует активному их зарастанию высшей водной растительностью в целом и водяным орехом, в частности.

Возникновение дефицита растворенного кислорода, часть которого расходуется на окисление органического вещества, накопленного донными отложениями данного участка, приводит к повышению содержания аммонийного азота ( $\text{NH}_4^+$ ) в воде Киевского водохранилища. Еще более значимое увеличение концентрации этой формы неорганического азота (до 0,860 мг N/дм<sup>3</sup>) отмечалось в воде Каневского водохранилища (табл.2). Однако, факторы, определяющие такую закономерность различны. Для Киевского водохранилища – это приток припятской водной массы с высоким содержанием органического вещества и биогенных элементов. Для Каневского водохранилища доминирующим становится антропогенный фактор.

Таблица 2

**Содержание биогенных веществ в воде верхних участков Киевского и Каневского водохранилищ за период наблюдений 2019-2020 гг.**

	$\text{NO}_2^-$ , мг N/дм <sup>3</sup>	$\text{NO}_3^-$ , мг N/дм <sup>3</sup>	$\text{NH}_4^+$ , мг N/дм <sup>3</sup>	Fe, мг/дм <sup>3</sup>	$\text{PO}_4^{3-}$ , мг P/дм <sup>3</sup>	Si, мг/дм <sup>3</sup>
<b>Киевское вдхр., 10.07.2019</b>						
ст.1, заросли ореха	0,026	0,012	0,480	0,042	0,080	11,65
ст.2, 100% орех	0,065	0,013	0,570	0,060	0,125	9,70
ст.4, разреженные заросли	0,013	0,012	0,540	0,042	0,140	10,65
ст.3, чистоводье	0,008	0,013	0,590	0,060	0,090	11,45
<b>Каневское вдхр., 12.07.2019</b>						
ст.3, орех + роголистник	0,151	0,031	0,860	0,060	0,152	9,60
ст.1, орех + кубышка	0,115	0,031	0,655	0,060	0,160	12,0
ст.6, граница с чистоводьем	0,041	0,036	0,525	0,027	0,082	12,25
ст.7, чистоводье	0,020	0,029	0,435	0,060	0,090	9,40
ст.10, смешанные заросли	0,110	0,033	0,475	0,015	0,098	8,50
<b>Киевское вдхр., 24.09.2019</b>						
ст.2, 100% орех	0,037	0,012	0,460	0,027	0,040	4,35
ст.3, чистоводье	0,012	0,014	0,480	0,027	0,045	5,70
ст.4, разреженные заросли	0,007	0,010	0,495	0,027	0,020	6,80
<b>Киевское вдхр., 30.07.2020</b>						
ст.6, орех	0,038	0,043	0,625	0	0,118	13,45
	0,017	0,067	0,480	0	0,122	17,10
ст.7, чистоводье	0,062	0,044	0,515	0	0,127	14,65
	0,018	0,045	0,540	0	0,127	14,65
ст.8 кубышка + орех	0,026	0,043	0,570	0	0,135	15,25
	0,062	0,033	0,665	0	0,077	16,40
ст.9, чистоводье	0,003	0,021	0,450	0	0,052	3,10
ст.11, чистоводье	0,018	0,048	0,635	0	0,075	17,6
	0,002	0,014	0,380	0	0,057	2,80

Следует отметить, что максимальное содержание всех форм неорганического азота наблюдалось в зарослях обоих водохранилищ. Обращают на себя внимание отмечаемые в зарослях водяного ореха в воде обоих участков водохранилищ значительные концентрации нитритной формы минерального азота ( $\text{NO}_2^-$ ) – до 0,065 и 0,151 мг N/дм<sup>3</sup>, соответственно (см. табл.2). Известно, что появление их повышенного содержания есть результат усиленного разложения органического вещества и задержки их окисления до нитратной формы ( $\text{NO}_3^-$ ), что в свою очередь, является важным санитарным показателем, свидетельствующим о загрязнении водоема.

Содержание минерального азота и фосфат-ионов является одним из основных индикаторов процесса антропогенного эвтрофирования. Исследования показали, что концентрация фосфатов в воде верхней части Киевского водохранилища колебалась в пределах от 0,080 до 0,140 мг P/дм<sup>3</sup>, тогда как на аналогичных участках Каневского водохранилища пределы колебаний составили – от 0,082 до 0,160 мг P/дм<sup>3</sup> (см. табл.2). Очевидно, что максимальные концентрации фосфат-ионов на участках обоих водохранилищ имели место в зарослях высшей водной растительности, в частности водяного ореха.

Как показали исследования, осенью, в конце вегетационного периода и на фоне улучшения газового режима в воде верхнего участка водоема содержание биогенных веществ, в первую очередь, нитратной и аммонийной форм неорганического азота и фосфат-ионов значительно уменьшается.

Известно, что водный поток по мере продвижения от Киевского водохранилища в Каневское в значительной степени трансформируется. Важную роль в формировании качества воды последнего играет антропогенный фактор, в результате действия которого в водоеме возникают негативные явления, одним из которых является "цветение воды", наблюдаемое на исследуемых участках Каневского водохранилища. Установлено, что повышение антропогенной нагрузки, характерной для верхней части этого водоема, приводит к увеличению содержания не только неорганического азота и фосфат-ионов, но и минерализации его водных масс. Так, максимальная минерализация воды на исследуемом участке Киевского водохранилища наблюдалась в зарослях водяного ореха, а в Каневском водохранилище, напротив, отмечалась на участке, свободном от зарослей – 280,27 и 291,38 мг /дм<sup>3</sup>, соответственно. Главным образом это обусловлено изменением содержания сульфатных ионов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), концентрация которых достигала 68,16 и 87,36 мг/дм<sup>3</sup>, в Киевском и Каневском водохранилищах в 2019 г., соответственно. Об ухудшении экологического состояния Каневского водохранилища свидетельствует и постепенное снижение содержания гидрокарбонатных ионов ( $\text{HCO}_3^-$ ), которые, как известно, являются одним из индикаторов уникальных природных вод.

В современный период исследований все чаще и чаще прослеживается влияние еще одного внешнего фактора, а именно – изменение погодных условий региона наблюдений, что отчасти подтвердилось в летний период 2020 г. на верхнем участке Киевском водохранилища. Изменение температуры воды и воздуха (с 20<sup>0</sup> до 25<sup>0</sup>) и (с 18<sup>0</sup> до 30<sup>0</sup>) в 2019 г. и 2020 г., соответственно, привело к

повышению содержания большинства гидрохимических показателей экологического состояния данного участка. Так, концентрация растворенного кислорода повысилась до 5,24 мг/дм<sup>3</sup> и 10,58 мг/дм<sup>3</sup> в зарослях ореха и на участках, свободных от растительности, соответственно (табл.1), вследствие чего, отмечено и увеличение содержания форм неорганического азота (нитратного и аммонийного) (табл.2). Данный период характеризовался еще более значимым повышением содержания сульфатных ионов, как в зарослях высшей водной растительности, так и на свободных от нее участках в воде Киевского водохранилища – 79,68 мг/дм<sup>3</sup> (табл.1). Это сопровождалось постепенным снижением концентрации гидрокарбонатных ионов.

### **Выводы**

Суммируя все выше изложенное, необходимо отметить, что экологическое состояние верхних участков Киевского и Каневского водохранилищ формируется под действием многочисленных факторов различной природы и имеет свои специфические особенности. Для Киевского водохранилища, это гидрологические условия, в первую очередь – водность, питающих водохранилище рек (р. Припять и р. Днепр) и фактор смешивания их различных по генезису речных масс.

Формирование экологического состояния Каневского водохранилища находится в прямой зависимости от режима работы и величины попусков воды из Киевского водохранилища, а также его местоположения в центре городской агломерации. Проявлением этого является накопление значительного количества органического вещества на участках Киевского водохранилища и формирование анаэробных условий как в зарослях высшей водной растительности в целом и водяного ореха, в частности, так и на участках свободных от зарослей, что не наблюдалось на подобных участках Каневского водохранилища.

Не следует не учитывать и влияние гидробиологического фактора на формирование экологического состояния верхних участков водохранилищ, но, очевидно, что не он доминирует в этом процессе. Он является тем, который зависит от сформировавшихся условий, и в этом смысле, тем, который усиливает влияние тех или иных факторов, влияющих на изменения экологического состояния водоемов. По нашему мнению, безальтернативное изъятие водяного ореха не приведет к желаемым результатам. Значительное содержание органического вещества, накопленное как в водной среде, так и еще в большей степени в донных отложениях на исследуемых участках, обусловит возникновение иных видов высшей водной растительности и не приведет к улучшению экологического состояния водохранилищ.

Процесс развития поймы в Киевском водохранилище остановить невозможно, можно лишь его скорректировать с учетом состояния его экосистемы и интересов рыбного хозяйства. Необходимо ограничение развития доминирующих сообществ водяного ореха путем изъятия его фитомассы в определенный период вегетации с учетом максимального процента зарастания мелководий как нагульных акваторий для молоди рыб и возможных последствий

такого изъятия. Это позволит определить размеры расчищаемых от ореха площадей без нанесения вреда экосистеме водохранилища.

### Библиографический список

1. *Алекин О.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 270 с.
2. *Бреховских В.Ф.* Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов. М.: Наука, 1988. 168 с.
3. *Васильев В.В.* Водяной орех и перспективы его культуры в СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 100 с.
4. *Вульф Е.В.* Историческая география растений. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1944. 545 с.
5. Европейский красный список животных и растений, находящихся под угрозой исчезновения в мировом масштабе / European Red List of Globally Threatened Animals and Plant – <https://redbook-ua.org/ru/page/european-red-list>.
6. Зелена книга України / під за. ред. Я.П. Дідуха– Київ, «Альтерпрес», 2009. 448 с.
7. Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі – [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_032](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_032).
8. *Морозова А.А.* Основные факторы формирования и закономерности пространственно-временной изменчивости биогенных веществ в воде Каневского водохранилища (современное состояние) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. III. Пермь, 2013. С.165-170.
9. *Удра І.Х., Батова Н.І.* Особливості стратегії розмноження рідкісних видів рослин – основа для рекомендацій щодо їх охорони // Заповідн. справа в Україні. 1999. Т. 5, 1. С. 25–30.

УДК 556.53(282.247.415.53)

А.О. Полева, Р.Ф. Абдрахманов, В.Н. Дурнаева, [hydro@ufaras.ru](mailto:hydro@ufaras.ru)  
*Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия*

### МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Рассматриваются макро- и микроэлементный, гранулометрический состав, особенности формирования донных отложений крупнейшего в Башкортостане Павловского водохранилища. Показано, что в местах замедления скорости течения, происходит накопление тяжелых металлов и других веществ как валовых, так и подвижных форм.

*Ключевые слова:* Павловское водохранилище, донные отложения, химический состав.



## **MACRO- AND MICROELEMENT COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS OF PAVLOVSKOE RESERVOIR**

The macro- and microelement, granulometric composition, features of the formation of bottom sediments of the largest in Bashkortostan Pavlovskoe reservoir are considered. It is shown that the accumulation of heavy metals and other substances of both gross and mobile forms occurs in places where the flow velocity slows down.

*Keywords:* Pavlovskoe reservoir, bottom sediments, chemical composition.

### ***Введение***

Централизованное водоснабжение г. Уфы (с населением свыше 1 млн жителей) обеспечивается инфильтрационными водозаборами, расположенными в долине р. Уфы. Ресурсы и качество воды в водозаборах регулируется Павловским водохранилищем, одним из крупнейших на Южном Урале. Водный объект также является крупным рекреационным узлом, поэтому наблюдение за его экологическим состоянием играет очень важную роль. Водохранилище построено в 1959-1961 гг. Полный объем водохранилища составляет 1,4, а полезный – 0,95 км<sup>3</sup>. Площадь водосбора р. Уфы в створе водохранилища составляет 47,1 тыс.м<sup>2</sup>, что равняется 89% водосбора реки. Площадь зеркала водохранилища равняется 116 км<sup>2</sup>, при максимальной ширине 1750 м (средняя – 770 м) и глубине 35 м в приплотинной части (средняя 12 м). Годовая амплитуда колебания уровня воды – 11 м [1].

Основные реки, впадающие в водохранилище – Ай, Юрюзань, Сарс, Тюй, Урюш, а также ряд более мелких притоков. По этим рекам в водоем поступают промышленные, сельскохозяйственные и бытовые стоки Челябинской, Свердловской областей, Пермского края и Республики Башкортостан. В бассейне водохранилища многие годы осуществлялся молевой сплав древесины и переработка леса. В водоем поступало большое количество отходов деревообработки и затопленной древесины. В 1991 г. сплав леса был прекращен. [1; 2].

***Материалы и методы исследования.*** Процесс формирования донных отложений Павловского водохранилища происходит непрерывно в течение всего времени его существования. В эти отложения попадают продукты переработки берегов, а также взвешенный материал, приносимый большими и малыми реками. За это время (60 лет) образовался слой осадков мощностью 2-3 м. Кроме минеральных отложений в донных образованиях обнаружено значительное количество затонувшей древесины. Геохимия донных отложений изучалась нами в 1987-2008, 2012, 2018-2019 гг. Анализы донных отложений были выполнены в лабораториях ПИИ «Башгипроводхоз», ИГ УФИЦ РАН, РосНИИВХ.

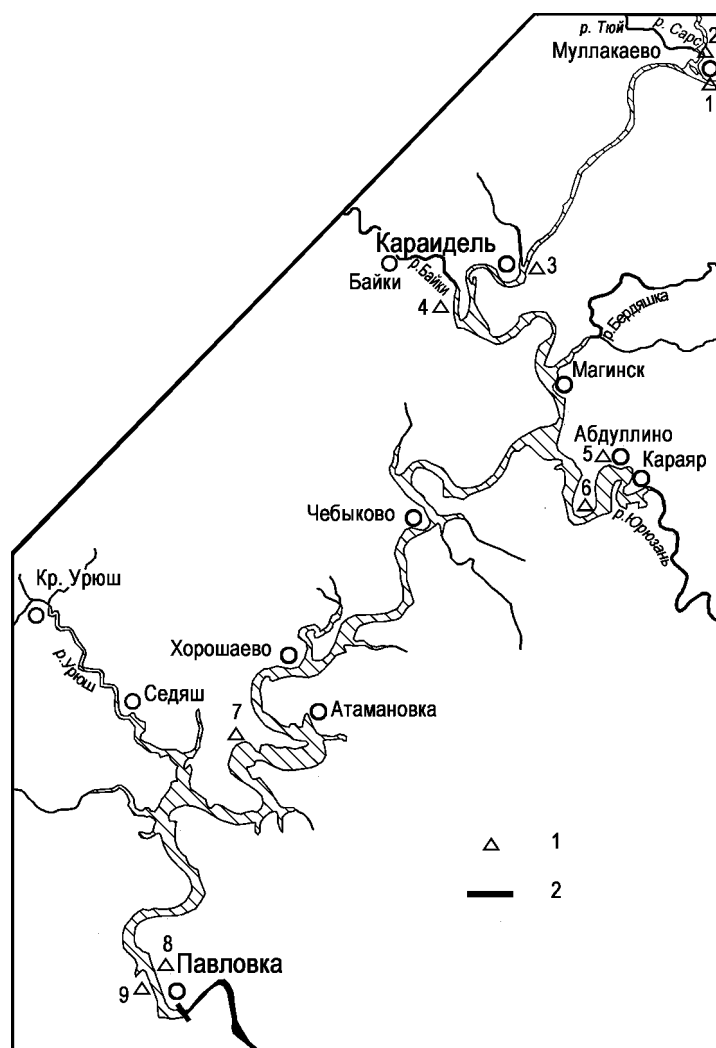


Схема Павловского водохранилища на р. Уфе

1 – места отбора проб донных отложений (1– Муллакаево, 2– устье реки Сарс, 3 – Караидель, 4 – устье р. Байки, 5 – Абдуллино, 6 – устье р. Юрюзань, 7– Атамановка, 8 – левый берег верхний бьеф, 9 – правый берег верхний бьеф); 2 – створ плотины

### **Анализ результатов**

В береговой зоне водохранилища, до глубины 10-12 м, ил слабоуплотненный, серовато-коричневый, а в середине (глубина 20-35 м) зеленовато-серый. Верхний слой (0,2-0,35 м) в глубоких частях водохранилища рыхлый, слабый, а ниже – плотный, вязкий. Плотность донных отложений, отобранных с глубины 0,5 м при столбе воды 27,5 м, составляет  $2,65 \text{ г/см}^3$ . Гранулометрический состав их представлен (%): глинистыми фракциями (менее 0,001 мм) – 36,5, пылеватыми (0,05-0,001) – 54,5, песчаными (0,25-0,05) – 9. Содержание органических веществ в илах составляет 28,9%. Как свидетельствуют данные водных вытяжек донных отложений, они слабоминерализованы (0,09-0,16 г/100 г), имеют гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный состав. Относятся к типу I (содовому), слабощелочные (рН 7,25-7,45), окислительно-восстановительные условия характеризуются показателем Eh от +6,96 до –65 мВ. В составе донных отложений присутствует аммоний (3-5 мг/100 г), в небольшом количестве нитриты (0,35-0,49 мг/100 г). Содержание отдельных компонентов составляет (мг/100 г): кальция – 0,8-5,4,

магния – 0,7-1,7, натрия и калия – 21,2-36,8, гидрокарбоната – 32,0-106,8, сульфата – 4,7-26,5, хлора – 1,77-3,6 [3].

Исследованиями в 2012 г. химического состава донных отложений в 500 м выше плотины на глубине 25 м установлено, что по сравнению с 1987 г. минерализация (М) несколько увеличилась от 0,10-0,12 до 0,13-0,28. г/100 г. Состав вытяжек изменился от I (содового) в IIIa (хлормagneиный), т.е. от гидрокарбонатного натриевого в гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый, что вызвано техногенным влиянием. Химический состав донных отложений на 50-73,5% представлен SiO<sub>2</sub>. Другие компоненты (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO MgO K<sub>2</sub>O Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> и пр.) не превышают 0,06-7,2%. Механический состав представлен на 41-55% глинисто-илистым составом. Содержание пылеватых фракций 30-31,5%, а песчаных 13,0 -29,0%. Содержание органических веществ – 11,7-13,1%.

Первые исследования содержания тяжелых металлов в донных отложениях (в 1987 г.) показали присутствие их в достаточно высоких концентрациях (мг/кг): цинка (35–45), лития (20–25), свинца (2,4–5), меди (до 13) и хрома (2–4). По результатам исследований в 2012 г. валовое содержание ТМ составляло (мг/кг): цинка (36,9-41,7), свинца (4,1-4,5), меди (12,8-15,9), хрома (0,64-0,68). Подвижная часть их составляла (мг/кг): цинка (5,4-11,6), свинца (1,0-1,4), меди (0,7-1,2), хрома (0,2-3,3). По сравнению с 1987 г. резкого увеличения не наблюдалось.

По данным полевых исследований 2019 г. максимальное содержание марганца в донных отложениях наблюдается в створах (мг/кг) устье р. Байки – 1034, Атамановка – 855 и левый берег верхнего бьефа – 834 (табл. 1).

Таблица 1

**Химический состав донных отложений Павловского водохранилища  
в 2019 г. (валовая форма, мг/кг)**

<i>№ пробы по рис.</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fe	25244	17928	17508	35907	19764	13865	23904	28660	29586
Cd	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	1	1	<0,8	<0,8	1
Ca	7872	79541	15333	4579	63278	30206	2731	17508	18438
K	10316	7772	8182	14625	8840	5872	12585	12065	10967
Co	14	9,7	11,7	20	13	6,7	17	18	12,4
Li	18	21	19	24	26	16	22	23	28
Mg	5532	7401	3968	5864	11616	6705	2721	3554	10474
Mn	597	707	564	1034	260	245	855	834	385
Cu	21	19	17	35	25	12,1	22	48	28
Na	13889	6611	9428	8211	4292	2643	9949	6631	8083
НП*	30	11	31	<5	117	16	<5	150	123
Ni	51	38	44	84	50	50	55	71	50
Hg	0,24	0,24	0,23	0,18	0,63	0,68	0,21	0,12	0,72
Pb	<20	<20	<20	<20	10	10	<20	23	12,5
Cr	68	78	62	120	93	58	125	137	135
Zn	60	39	40	62	83	35	40	156	126

В устье р.Байки содержание марганца может объясняться размывом отложений береговой линии р. Байки, а в створах Атамановка и верхний бьеф – внутриводоемными процессами. Содержание валовых форм железа в донных отложениях достаточно высокое по всему водохранилищу (13865-35907 мг/кг), но и достаточно равномерное, что может быть обусловлено природными факторами.

Содержание валовых форм меди варьирует от 12,1 до 48 мг/кг, максимум наблюдается у левого берега верхнего бьефа, где расположена стоянка маломерных судов. В этой пробе также прослеживается максимум содержания хрома (137 мг/кг) и большое содержание никеля (71 мг/кг). ПДК почвы по валовому содержанию меди составляет 132 мг/кг. Содержание меди в донных отложениях почти в 3 раза ниже этого ПДК, по сравнению с 1987 г. это значение увеличилось, что говорит об увеличивающейся антропогенной нагрузке. ПДК почвы для никеля определено как 80 мг/кг. Максимальное значение содержания никеля в донных отложениях Павловского водохранилища (max 84 мг/кг) приближается к ПДК. Максимум содержания цинка выявлен в створе верхний бьеф (156 мг/кг), там же определено максимальное содержание кобальта (18 мг/кг) и лития (28 мг/кг). ПДК почвы для цинка составляет 220 мг/кг, кобальта – 40 мг/кг.

Содержание в донных отложениях ртути (от 0,12 до 0,72 мг/кг) показывает тенденцию ее накопления в местах, где течение в водоеме замедляется. Это прослеживается в створах с. Муллакаево, устье р. Юрюзань и верхний бьеф. Наличие нефтепродуктов в донных отложениях ярко выражено в районе верхнего бьефа (123-150 мг/кг). Это объясняется, прежде всего, активным движением маломерных судов, наличием стоянки и заправочной станции для них. Большое количество нефтепродуктов (117 мг/кг) в донных отложениях у д. Абдулино объясняется, скорее всего, техногенным воздействием.

Изменения гидродинамических и гидрохимических условий водохранилища могут стимулировать так называемую «подвижную» часть соединений металлов в донных отложениях и переходить из твердой фазы в водную и служить очагом вторичного загрязнения. Максимум содержания меди в донных отложениях наблюдается в с. Муллакаево, а максимум содержания цинка – в створе верхнего бьефа. Сравнение содержания элементов в донных отложениях с ПДК почвы (табл. 2) показывает, что содержание меди во всех пробах превышает этот критерий. Очевидно, это связано с фоновым содержанием элемента в литосфере.

Таблица 2

**Содержание подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) в донных отложениях Павловского водохранилища в 2019 г.**

<i>№ пробы по рис.</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>ПДК почвы (подв.)</i>
Cu	9,9	3,4	7,6	3,1	6,7	2,6	4,5	3
Pb	2,1	<0,5	1,7	<0,5	1,18	<0,5	2	6
Zn	1,6	1,13	2,5	1,6	1,3	1,5	16	23
Cd	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	

## **Выводы**

Максимальные концентрации анализируемых компонентов валовых и подвижных форм донных отложений Павловского водохранилища выявлены в створах с. Муллакаево, устье р. Байки, устье р. Юрюзань, верхний бьеф водохранилища. Полученные данные подтверждают, что в местах, где скорость течения падает, происходит накопление тяжелых металлов и других веществ как валовых, так и подвижных форм.

Донные отложения являются открытой физико-химической системой, средой обитания бентосных сообществ, поэтому необходимо комплексное изучение донных отложений для оценки их токсичности и возможности вторичного загрязнения воды водохранилища в результате внутриводоемных процессов.

*Работа выполнена по теме № 0246–2019–0086.*

## **Библиографический список**

1. Абдрахманов Р.Ф. Особенности формирования химического состава воды Павловского водохранилища // Гидрохимические материалы. 1994. Т. 111. С. 139–150.
2. Абдрахманов Р.Ф., Шкундина Ф.Б., Полева А.О. Особенности гидрохимического и гидробиологического режимов Павловского водохранилища // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 1. С. 83–93.
3. Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О., Валитов С.А. Формирование химического состава воды и донных отложений Павловского водохранилища // Геологический вестник. 2018. №3. С. 124–136.

УДК 556.555

В.В. Пуклаков, Ю.С. Даценко, [puklakov@mail.ru](mailto:puklakov@mail.ru)  
*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НИЖНЕКАМСКОГО ГИДРОУЗЛА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

По результатам модельных расчетов представлены диагностические оценки влияния Нижнекамского водохранилища на режим характеристик качества воды Куйбышевского водохранилища. Показано, что создание Нижнекамского гидроузла привело к заметному росту содержания органических веществ и повышению вклада синезеленых водорослей в продуктивность Куйбышевского водохранилища, что неблагоприятно сказывается на его экологическом состоянии.

*Ключевые слова:* водохранилище, качество воды, математическое моделирование, диагностические расчеты.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE NIZHNEKAMSK DAM ON THE ENVIRONMENTAL STATE OF THE KUYBYSHEV RESERVOIR

Based on the results of model calculations, we present diagnostic assessments of the impact of the Nizhnekamsk Reservoir on the Kuybyshev Reservoir's water quality regime. It is shown that the construction of the Nizhnekamsk Dam has led to a significant rise in organic matter content and an increase in the share of blue-green algae in the primary production of the Kuybyshev Reservoir, which has a negative impact on its water quality.

**Keywords:** reservoir, water quality, mathematical modelling, diagnostic calculations

Куйбышевское водохранилище создано в 1955-1957 гг. Это самый крупный искусственный водоем Волжско-Камского каскада водохранилищ (полный объем при НПУ – 57,3 км<sup>3</sup>, средняя глубина – 9,3 м, максимальная – 41 м), осуществляющий сезонное, недельное и суточное регулирование стока при среднем коэффициенте водообмена 4,1 [3]. Общая длина водохранилища равна 467 км по р. Волга и 280 км по р. Кама (Камская лопасть).

В 1979 г. в нижнем течении р. Камы, впадающей в Куйбышевское водохранилище (рисунок), путем ее перекрытия плотиной Нижнекамского гидроузла (НКГУ) в районе г. Набережные Челны было создано Нижнекамское водохранилище.



Схема каскада Нижнекамского и Куйбышевского водохранилищ

Проектная отметка НПУ водохранилища равна 68,0 м БС, однако в настоящее время водохранилище эксплуатируется при временной отметке НПУ = 63,3 м (объем 4,21 км<sup>3</sup>) и осуществляет недельное и суточное регулирование стока с коэффициентом водообмена  $K_v = 6,85$  [3]. Максимальная ширина водохранилища равна 15 км, средняя – 4 км. Подпор воды распространяется на 185 км по р. Кама и 157 по р. Белая. Средняя глубина – 3,3 м, наибольшая – 20 м. Характерные расходы в нижнем бьефе гидроузла имеют следующие значения: средний многолетний – 2940 м<sup>3</sup>/с, максимальный среднедекадный – 19810 м<sup>3</sup>/с, минимальный среднесуточный – 600 м<sup>3</sup>/с [2]. Основной приток воды в водохранилище (61%) поступает по р. Каме из расположенного выше Воткинского водохранилища (объем 9,4 км<sup>3</sup>). Большую часть бокового притока составляет сток р. Белой (31 % среднегодового притока).

Сток воды из Нижнекамского водохранилища поступает в Камскую лопасть Куйбышевского водохранилища. В балансе общего притока воды в Куйбышевское водохранилище вклад сбросов воды из Нижнекамского водохранилища по данным 2012-2015 гг. составил 36,8%, сброс воды из Чебоксарского водохранилища – 43,6%, приток по р. Вятка – 13,4%, остальные 6,2% – приток с оставшегося бокового водосбора водохранилища. Если рассматривать только Камскую лопасть, то по р. Каме в неё поступает 71% притока воды, т.е. вклад водных масс, формирующихся в Нижнекамском водохранилище, в гидроэкологический режим Камской лопасти Куйбышевского водохранилища является определяющим. Оценить их влияние на гидроэкологический режим Куйбышевского водохранилища можно путем сравнения режима характеристик качества воды (ХКВ) в Куйбышевском водохранилище до и после постройки НКГУ. Но практически это сделать очень трудно из-за большой изменчивости ХКВ под влиянием климатических факторов, режимов регулирования стока рр. Волги и Камы, и большой пространственно-временной дискретности данных наблюдений для столь обширных водных объектов, что не позволяет однозначно оценить влияние водных масс Нижнекамского водохранилища на гидроэкологический режим Куйбышевского водохранилища. Поэтому наиболее реальным методом, позволяющим получить такую оценку, можно считать метод математического моделирования гидрологического режима водохранилищ. С этой целью мы использовали модель ГМВ-МГУ [1], включающую гидродинамический [5] и экологический блоки, разработанные на основе уравнений баланса массы в соответствии с концептуальными схемами взаимосвязей ХКВ в водной экосистеме, представленных в [4]. Водохранилище в модели схематизируется в виде совокупности отдельных участков-отсеков (рисунок), каждый из которых разбивается по вертикали на горизонтальные боксы с однородной в данный момент времени водной массой. Математическая структура модели базируется на балансовых уравнениях, отражающих неразрывность водной среды и закон сохранения вещества и энергии в каждом боксе отсека при условии полного смешения притока с содержимым бокса за расчетный шаг времени.

Для решения поставленной задачи были выполнены диагностические расчеты гидрологического режима Куйбышевского водохранилища по двум сценариям:

1) в его Камскую лопасть через водосбросы НКГУ поступают водные массы Нижнекамского водохранилища, ХКВ которых предварительно были рассчитаны по модели ГМВ-МГУ;

2) предполагается, что Нижнекамского водохранилища нет. Все потоки воды, приходящей с его водосбора (сбросы Воткинского водохранилища, р. Белая, р. Ик, р. Иж и др.) полностью смешиваются в русле р. Камы и поступают к створу НКГУ в г. Набережные Челны без учета той трансформации, которую они претерпевают в Нижнекамском водохранилище.

Расчеты проводились по гидрометеорологическим данным 2012-2015 гг. и анализировались для трех характерных участков Куйбышевского водохранилища: нижняя часть Камской лопасти (отсек I-4), центральная (отсек I-7) и приплотинная часть водохранилища (отсек I-11).

Результаты диагностических расчетов представлены в таблице, в которой приведены отклонения среднесезонных значений ХКВ в различных районах Куйбышевского водохранилища при наличии Нижнекамского водохранилища от их значений при условии отсутствия этого водохранилища.

#### **Отклонения (%) значений ХКВ в Куйбышевском водохранилище, вызванные созданием Нижнекамского водохранилища**

<i>ХКВ</i>	<i>Отсек I-4</i>				<i>Отсек I-7</i>				<i>Отсек I-11</i>			
	<i>Зима</i>	<i>Весна</i>	<i>Лето</i>	<i>Осень</i>	<i>Зима</i>	<i>Весна</i>	<i>Лето</i>	<i>Осень</i>	<i>Зима</i>	<i>Весна</i>	<i>Лето</i>	<i>Осень</i>
Т	25	5	3	1	4	2	1	1	5	0	1	0
М	-3	2	8	0	-1	1	5	2	0	0	3	4
ВВ	-6	-9	4	-15	-6	-9	5	-7	-6	-12	1	0
O <sub>2</sub>	-5	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-3	-2	-2	-3
PO <sub>4</sub>	3	4	-6	0	1	1	-2	-2	4	0	0	-3
NH <sub>4</sub>	11	5	10	19	4	1	5	12	6	2	7	14
БО	3	4	7	6	2	2	4	6	2	2	2	7
ПО	13	11	23	13	6	5	12	9	6	6	6	9
ФПс	5	-15	26	26	3	-1	23	17	15	1	19	19
ФПд	24	5	-32	-38	29	0	-33	-32	0	-5	-32	-42

Как и следовало ожидать, создание НКГУ больше всего повлияло на режим ХКВ Камской лопасти водохранилища. Поступление в нее водных масс Нижнекамского водохранилища приводит к повышению теплозапаса и температуры воды Куйбышевского водохранилища, особенно заметное в зимний сезон. Минерализация воды в зимнее время несколько уменьшилось, а в летнее время, наоборот, увеличилось. Наличие НКГУ привело к снижению содержания взвешенных веществ в большую часть года, за исключением летнего периода. Снижение содержания растворенного кислорода в водохранилище имеет место только в зимнее время, в остальное время года оно не превышает 1-2%. Количество фосфатов увеличивается в зимнее время и снижается в летне-



осенний период, а содержание аммонийного азота увеличивается по всему водохранилищу, причем этот рост в отдельные сезоны года может достигать 10-20%.

Наиболее существенное влияние НКГУ оказывает на режим органического вещества и развитие фитопланктона в Куйбышевском водохранилище. Увеличение общего содержания органического вещества отчетливо прослеживается по всему водоему по величине бихроматной и перманганатной окисляемости. Максимальное увеличение этих ХКВ имеет место в летне-осенний период.

Биомасса синезеленых водорослей заметно возросла во всех отсеках и в сбросе из водохранилища. В жаркий летне-осенний сезон 2012 г. этот рост достигал 50-60%, а в холодное лето 2015 г. он не превышал 10%. Увеличение цветения водохранилища синезелеными водорослями максимально в Камской лопасти, где в наибольшей степени проявляется влияние НКГУ. Согласно модельным расчетам развитие диатомовых водорослей в Куйбышевском водохранилище после создания НКГУ уменьшилось в среднем на 30-40%. В жаркий летне-осенний сезон это снижение может достигать 70%.

Таким образом, проведенные диагностические расчеты показали, что создание Нижнекамского гидроузла не привело к существенному изменению режима большинства рассматривавшихся ХКВ Куйбышевского водохранилища за исключением содержания органических веществ и продуктивности фитопланктона. Причем с созданием Нижнекамского гидроузла в Куйбышевском водохранилище происходит существенный рост биомассы синезеленых водорослей, что, безусловно, неблагоприятно сказывается на общем экологическом состоянии водохранилища.

### **Библиографический список**

1. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). Под ред. К.К. Эдельштейна. М.: Изд-во «Перо», 2015. 286 с.
2. Приказ Росводресурсов от 28.10.2014 № 270 «Об утверждении Правил использования водных ресурсов Нижнекамского водохранилища на р. Каме». 106 с.
3. *Эдельштейн К.К.* Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
4. CE-QUAL-R1: A numerical one-dimensional model of reservoir water quality; User's manual. Instruction Report E-82-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station Environmental Laboratory, Vicksburg, Miss., 1986. 508 p.
5. *Puklakov V.* Mathematical Model of the Heat and Mass Transfer Processes in a Stratified Reservoir // Int.Revue gcs. Hydrobiol. 80. 1995. №1. P.49-59.

В.Л. Разумовский, [nethaon@mail.ru](mailto:nethaon@mail.ru)  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **АНАЛИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛЖСКОГО КАСКАДА**

Исследования проводились при комплексном мониторинге Иваньковского, Рыбинского и Клязьминского, водохранилищ. Работа посвящена оценке долговременных изменений трофического статуса водоемов под воздействием природных и антропогенных факторов. При исследованиях были совмещены два традиционных метода анализа. Проведено послойное изучение диатомовых комплексов в донных отложениях и определение таксономического состава фитопланктона в водохранилищах. По диатомовым комплексам из осадков был проведен расчет индекса сапробности (S). Было проведено сравнение с аналогичными расчетами по видовой структуре фитопланктона. Отмечена пространственно-временная неоднородность процессов сапробизации водохранилищ.

*Ключевые слова:* мониторинг, диатомовые комплексы, донные отложения, фитопланктон, сапробность.

V.L. Razumovsky, [nethaon@mail.ru](mailto:nethaon@mail.ru)  
*Water Problems Institute of the RAS, Moscow, Russia*

## **BOTTOM SEDIMENTS ANALYSIS OF THE VOLGA CASCADE RESERVOIRS**

The studies were carried out with the integrated monitoring of the Ivankovsky, Rybinsky and Klyazminsky reservoirs. The work is devoted to the assessment of long-term changes in the trophic status of water bodies under the influence of natural and anthropogenic influence. The studies combined two traditional methods of analysis. A layer-by-layer study of diatom complexes in bottom sediments and the determination of the taxonomic composition of phytoplankton in reservoirs were carried out. The saprobity index (S) was calculated for diatom complexes from sediments. A comparison was made with similar calculations for the species structure of phytoplankton complexes. Spatial and temporal heterogeneity of saprobization processes in reservoirs was confirmed.

*Keywords:* monitoring, diatom complexes, bottom sediments, phytoplankton, saprobity.

### ***Введение***

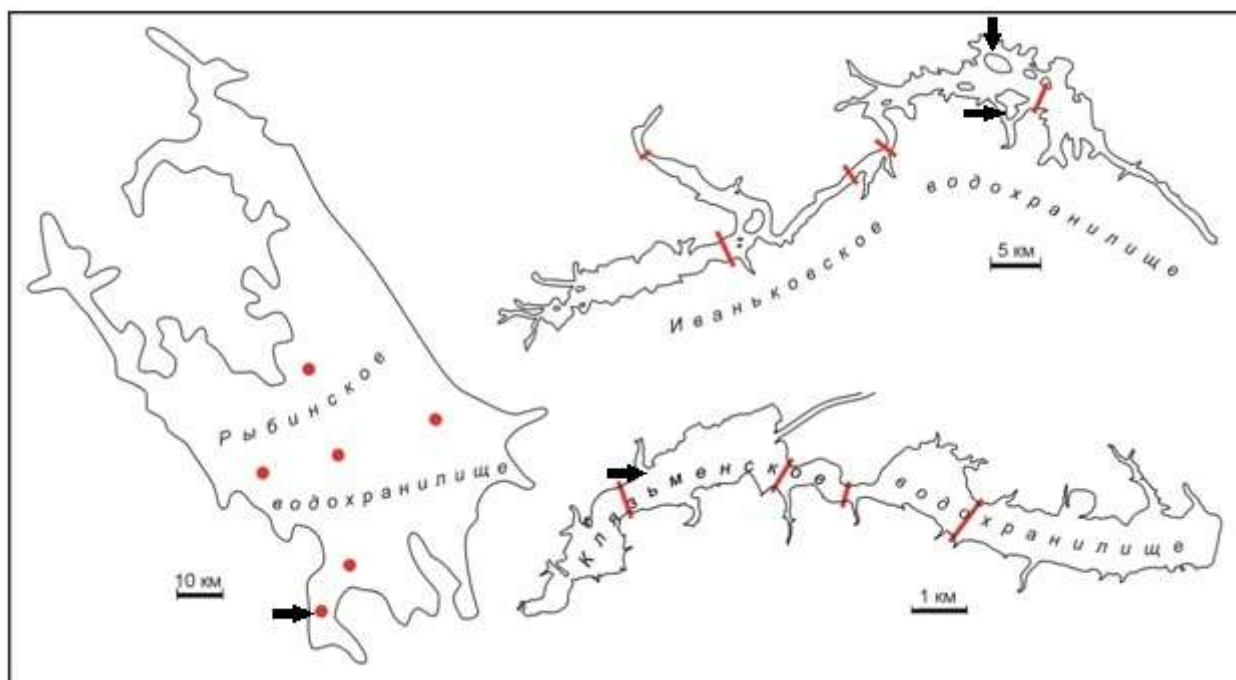
В результате комплексного мониторинга, для экосистем Иваньковского, Рыбинского и Клязьминского водохранилищ был сформулирован новый методологический подход. Он подразумевал совмещение двух традиционных методов: анализа диатомовых комплексов из колонок донных отложений (ДО), который применяется в палеоолиминологии, и анализа фитопланктонных комплексов, который применяется при биомониторинге.

Предполагалось, что это позволит получить дополнительную информацию о долговременных трансформациях трофического статуса изучаемых водохранилищ.

### ***Материал и методы исследования***

Структуру и объем первичного материала составили более 300 фитопланктонных проб, отобранных из Ивановского, Рыбинского и Клязьминского водохранилищ (2017–2019 гг.), и 121 проба на диатомовый анализ из 4 колонок ДО (рисунок).

Отбор колонок ДО осуществлялся стратометром ударно-замыкающего типа и колонкой ГОИН. Пробы фитопланктона отбирали батометром «Руттнера», с глубины 1 м. Образцы на диатомовый анализ выделялись из ДО по традиционной методике [5], с интервалом 1 см. Обработка проб, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей осуществлялись по стандартным методикам [2; 9].



Карта-схема водохранилищ. Точками и линиями указаны створы и пункты биомониторинга; стрелками места отбора колонок ДО

Обработка и просмотр фитопланктонных проб также проводились по стандартным методикам [6]. Исследование постоянных препаратов проводили при помощи светового микроскопа, оснащенного 100-кратным масляно-иммерсионным объективом.

При комплексном мониторинге водохранилищ по фитопланктону и диатомовым комплексам из ДО вычислялся индекс сапробности (S) по Сладечку [10]. Исходной информационной базой данных для расчета численных значений сапробности послужила работа С.С. Бариновой с соавторами [1].

### ***Анализ результатов***

Среди индикаторных видов в Ивановском водохранилище доминируют диатомовые. Обнаружено 136 видов-индикаторов органического загрязнения. Большинство из них относятся к мезосапробам. Минимальное значение индекса

сапробности (1,35) было зафиксировано на Иваньковском плесе (о. Шевница); максимальное (2,80) – на Средневолжском плесе (г. Конаково).

По данным сапробиологического анализа значительного изменения качества вод выявить не удалось. За период наблюдений класс качества воды в открытых частях водохранилища был равен II, а в прибрежной зоне III.

В Иваньковском водохранилище в образцах из колонки ДО, отобранной в Перетрусовском заливе, было идентифицировано 45 видов-индикаторов сапробности (S). Из них 4 вида – ксеносапробы, 15 видов – олигосапробы, 20 видов –  $\beta$ -мезосапробы, 3 вида –  $\alpha$ -мезосапробы, 2 вида  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапробы и один вид приурочен к олиго- $\alpha$ -мезосапробной зоне.

Исходя из полученных численных значений, в заливе идет выраженная сапробизация водоема, что, вероятно, связано с процессами зарастания, обмеления и накоплением органики. За проанализированный промежуток времени индекс сапробности увеличился от 1,58 до 1,73, что соответствует  $\beta$ -мезосапробной зоне.

В образцах из колонки ДО, отобранной в р-не Островов, было идентифицировано 45 видов-индикаторов сапробности (S). Из них 4 вида – ксеносапробы, 10 видов – олигосапробы, 22 вида –  $\beta$ -мезосапробы, 4 вида –  $\alpha$ -мезосапробы и 2 вида –  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапробы. В результате проведенных подсчетов были получены численные значения S вдоль всего разреза колонки ДО.

Расчет численных значений S позволил установить малозначительные изменения, носящие циклический характер. Изменение численных значений не выходит за рамки погрешности при расчетах и соответствует  $\beta$  - мезосапробной зоне.

В Рыбинском водохранилище, в образцах из колонки ДО, отобранной в р-не Коприно, было идентифицировано 52 вида-индикатора сапробности (S). Из них 3 вида – ксеносапробы, 20 видов – олигосапробы, 26 видов –  $\beta$ -мезосапробы, 3 вида –  $\alpha$ -мезосапробы.

Исходя из полученных численных значений, в заливе идет выраженная сапробизация водоема, что, вероятно связано с процессами накопления органики. Темпы сапробизации этого участка Рыбинского водохранилища имеют нелинейный характер с тенденцией дальнейшего выхода из  $\beta$  - мезосапробной зоны.

Аналогичные тенденции выявлены для концентрации  $P_2O_5$ , что свидетельствует об окончании периода умеренного эвтрофного статуса Рыбинского водохранилища и очередного периода эвтрофирования водоема [4]. Водохранилище относится к категории маломинерализованных водоемов [7], но вместе с тем Рыбинское водохранилище – гумифицированный водоем, причем главный плес считают эвтрофным, а в Шекснинском и Волжском плесе процессы эвтрофикации выражены еще значительно [8].

Трофический статус водохранилища и его долговременные изменения в значительной степени определяются не только поступлением растворенного органического вещества (РОВ), но и поступлением аллохтонного ОВ, что особенно сказывается при формировании донных отложений [3].

Расчет индекса сапробности (S), позволил установить численные значения S для всех точек отбора поверхностных осадков: Коприно – 1,98; Молога – 1,87; Средний Двор – 1,77; Наволок – 1,70; Измайлово – 1,78; Брейтово – 1,90. Результаты расчетов свидетельствуют о принадлежности всей акватории водохранилища к  $\beta$ -мезосапробной зоне.

За период исследования в составе фитопланктона Клязьменского водохранилища было обнаружено 53 таксона видового ранга. Среди индикаторов сапробности было обнаружено  $\chi$ -сaproбов – 2 вида; 0-сaproбов – 3;  $\alpha$ -мезосапробов – 26;  $\beta$ -мезосапробов – 8;  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапробов – 1;  $\rho$ -сaproбов – 1. Численные значения индекса сапробности (S), продемонстрировали достаточно высокий уровень вариативности (II–IV класс качества вод). Многофакторность при формировании класса качества вод определяется воздействием: загрязненных вод р. Клязьма, незагрязненных вод, поступающих из канала им. Москвы, и интенсивным рекреационным воздействием на прибрежные участки водохранилища.

В колонках ДО было идентифицировано 64 низших таксона диатомовых водорослей. Среди индикаторов сапробности было обнаружено:  $\chi$ -сaproбов – 2 вида; 0-сaproбов – 3;  $\alpha$ -мезосапробов – 26;  $\beta$ -мезосапробов – 8;  $\alpha$ - $\beta$ -мезосапробов – 1;  $\rho$ -сaproбов – 1. Отмечен высокий уровень сопряженности между рассчитанным индексом сапробности (S) и концентрацией оксида Р ( $P_2O_5$ ). Данная сопряженность характеризуется «запаздыванием» отклика диатомовых комплексов, который определяется изменением численных значений индекса сапробности (S).

Не менее значимым является предположительная корреляция между процессами локальных увеличений численных значений S с периодами нелинейного роста посещаемости прибрежной зоны водохранилища отдыхающими из мегаполиса.

Несмотря на различную конфигурацию, месторасположение и гидрологический режим, для всех трех водохранилищ был выявлен ряд сходных, настораживающих тенденций. Установлена выраженная сапробизация и накопление органики в прибрежных зонах Рыбинского и Иваньковского водохранилища. В ДО Клязьминского водохранилища было так же выявлено повышение уровня сапробизации, обусловленные нелинейным ростом числа отдыхающих и увеличением рекреационной нагрузки.

### **Выводы**

1. В системе Иваньковского и Рыбинского водохранилищ установлена выраженная дифференциация трофических показателей в открытых центральных частях и в прибрежной мелководной зоне.

2. Установлено, что расчеты пространственного распределения численных значений сапробности (S) не отражают реальный уровень дифференциации.

3. В ДО Клязьминского водохранилища было выявлено регулярное повышение уровня сапробизации, что обусловлено нелинейным ростом числа отдыхающих и увеличением рекреационной нагрузки.

4. При оценке долговременных трофических трансформаций, исходные методологические погрешности расчетов по Сладечку [10] менее выражены и

достаточно достоверно отображают изменения трофического статуса водохранилища.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье. Работа выполнена в рамках Госзадания ИВП РАН тема № 0147-2019-0004, п. 4.2. и при поддержке гранта РФФИ №17-05-00673.*

### **Библиографический список**

1. *Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
2. *Давыдова Н.Н.* Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
3. *Законнов В.В.* Пространственно-временная неоднородность распределения и накопления донных отложений верхневолжских водохранилищ // Водные ресурсы. 1995. Т.22. №3. С. 362–371.
4. *Минеева Н.М.* Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.
5. *Полякова Е.И.* Диатомовый анализ. Методы палеогеографических реконструкций. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 126–160.
6. *Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем.* СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.
7. *Экологические проблемы Верхней Волги.* Ярославль: ЯГТУ, 2001. 427 с.
8. *Экология фитопланктона Рыбинского водохранилища.* Тольятти: ИЭВБ РАН, 1999. 264 с.
9. *Renberg I.* A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores // Journal of Paleolimnology. V. 4. 1990. P. 87–90.
10. *Sládeček V.* System of water quality from biological point of view // Arch. Hydrobiol. Erg. Limnol. V. 7. 1973. 218 p.

УДК 504.45.058:001.891.57

А.В. Рахуба, [rahavum@mail.ru](mailto:rahavum@mail.ru)

*Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия*

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА И РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

На примере вегетационного периода 2016 г. представлены результаты численного пространственно-временного 2D-моделирования динамики полей фитопланктона и концентрации минерального фосфора в акватории Куйбышевского водохранилища.

Приводится анализ пространственной неоднородности рассчитанных характеристик в условиях неустойчивого режима регулирования стока.

*Ключевые слова:* водохранилище, модель, фитопланктон, биогенные элементы.

A.V. Rakhuba, [rahavum@mail.ru](mailto:rahavum@mail.ru)

*Samara Federal Research Scientific Center RAS,  
Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Togliatti, Russia*

## **NUMERICAL MODELING OF SPATIAL-TIME VARIABILITY OF PHOSPHORUS CONTENT AND DEVELOPMENT OF PHYTOPLANKTON IN KUIBYSHEVSK RESERVOIR**

The results of numerical spatial-temporal 2D-modeling of the dynamics of phytoplankton fields and the concentration of mineral phosphorus in the water area of the Kuibyshev reservoir are presented using the example of the growing season 2016. The analysis of the spatial heterogeneity of the calculated characteristics under conditions of an unsteady flow regulation regime is carried out.

*Keywords:* reservoir, model, phytoplankton, biogenic elements.

### ***Введение***

В современных условиях роста хозяйственной деятельности и стремительного усиления антропогенного влияния на качество поверхностных вод чрезвычайно актуальной становится проблема эвтрофирования водоемов замедленного водообмена. Создание крупных водохранилищ и избыточное поступление биогенных веществ с водосборной территории, в первую очередь фосфора, привело к явлениям неконтролируемого массового «цветения» планктонных водорослей с вытекающими отсюда экологическими последствиями [4; 5; 7]. Куйбышевское водохранилище относится к типу эвтрофных водоемов и поэтому для него представляется актуальным изучение пространственной неоднородности и сезонной динамики развития фитопланктона, поскольку связано с проявлениями негативных эффектов антропогенного эвтрофирования водохранилища.

Цель данной работы – разработка пространственной модели сезонного развития фитопланктона Куйбышевского водохранилища с учетом фосфорного лимитирования и выявления неоднородностей распределения биомассы фитопланктона под действием гидрофизических факторов в вегетационный период.

### ***Материалы и методы исследования***

Куйбышевское водохранилище образовано двумя крупнейшими водными артериями – Волгой и Камой и является самым крупным долинным водохранилищем в Европе. Вытянутое в меридиональном направлении, оно тянется от лесной ландшафтной зоны на севере и пересекает всю лесостепную зону [1]. На всем протяжении Куйбышевское водохранилище имеет сложную конфигурацию береговой линии протяженностью в 2500 км и целый ряд плесовых расширений, чередующихся с резкими сужениями.

Для изучения сезонной динамики фитопланктона в Куйбышевском водохранилище была разработана компьютерная 2D-пространственная модель,



реализованная в программном комплексе «ВОЛНА» [6]. Модель состоит из 143562 узлов пространственной прямоугольной сетки с шагом 200 м и основана на системе уравнений гидродинамики «мелкой воды», уравнениях теплопроводности, уравнениях турбулентного переноса и роста клеток фитопланктона, уравнениях конвективно-диффузионного переноса и трансформации растворенного в воде фосфора.

В представленной модели для расчетов в качестве лимитирующего биогенного вещества, оказывающего существенное влияние на развитие фитопланктона в водохранилище, использовался растворенный в воде минеральный фосфор ( $P_{\text{мин}}$ ). Сезонный ход динамики биомассы фитопланктона и трансформации фосфора рассчитывался с использованием известных зависимостей [2; 3].

Расчеты полей температуры воды, биомассы фитопланктона и концентрации минерального фосфора проводились для вегетационного периода с 1 мая по 7 ноября 2016 г. в условиях неустановившегося гидродинамического режима при задании среднесуточных расходов воды в Волжской и Камской ветках водохранилища. На береговой границе водохранилища задавался сезонный ход расхода воды в местах впадения притоков: Казанки, Меши, Шешмы, Черемшана и Усы.

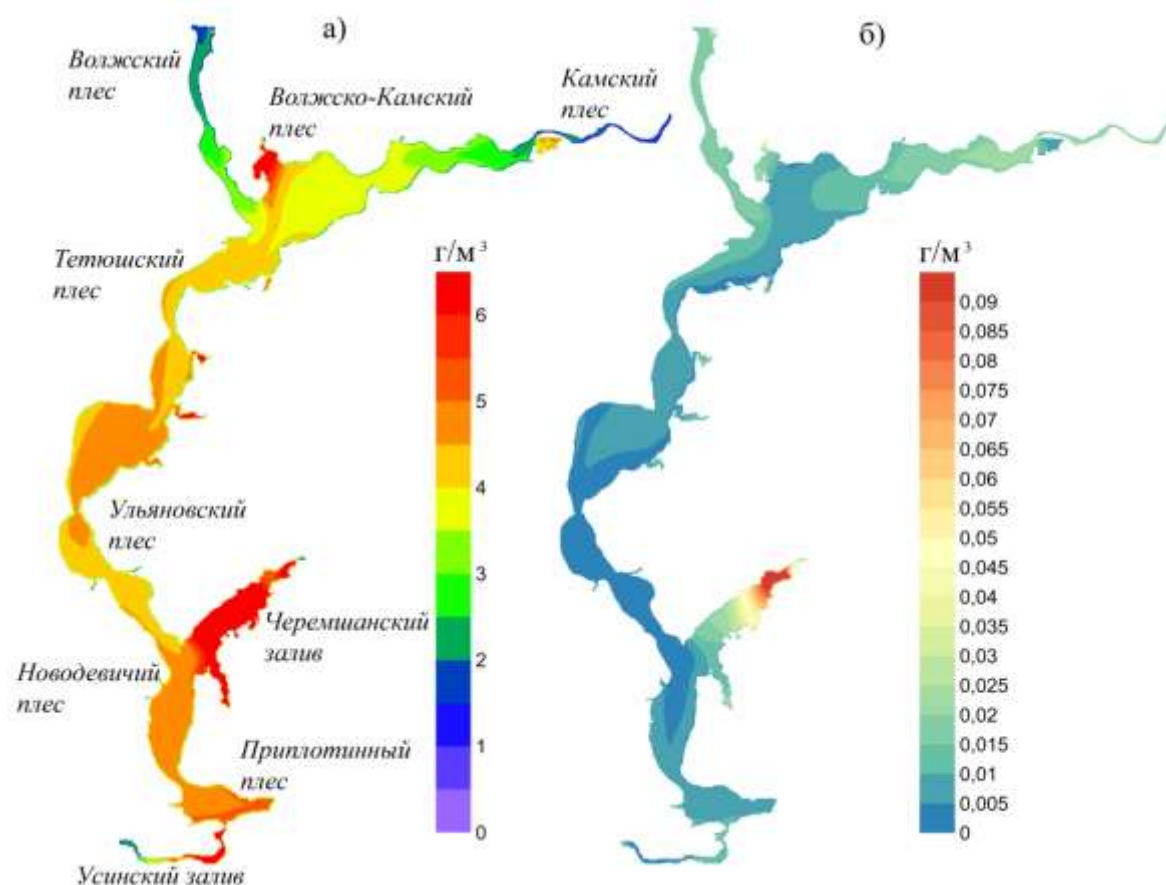
### *Анализ результатов*

Среди совокупного действия гидрофизических факторов водной среды на динамику развития фитопланктона Куйбышевского водохранилища большое влияние оказывают скорость течения, температура воды и концентрация растворенного в воде  $P_{\text{мин}}$ . Для межennale расчетного периода 2016 г. скорость течения в разных частях Куйбышевского водохранилища на всех плесовых озеровидных расширениях и мелководных заливов составляет 0,02-0,07 м/с и лишь в Волжской и Камской ветках, а также в местах сужений водохранилища достигает 0,15-0,25 м/с. Наибольшая температура воды (27-28 °С) прослеживается в левобережной литоральной зоне всех плесов, кроме Приплотинного, а также в обширных Черемшанском и Усинском заливах. На гидродинамически активных речных участках Волжского и Камского плесов, вдоль всего глубоководного правого берега и в акватории Приплотинного плеса температура воды заметно ниже и составляет 20-23 °С.

Расчеты показали, что Куйбышевское водохранилище характеризуется высокой неоднородностью распределения биомассы фитопланктона, которая на различных участках составляет от 0,5 до 10 г/м<sup>3</sup> (рисунок а).

Активный рост биомассы фитопланктона (0,5-1,0 г/м<sup>3</sup>) начинается в первую декаду июня на спаде волны весеннего половодья. В течение первого летнего месяца на открытой части водохранилища концентрация биомассы фитопланктона в среднем достигает 2,0-3,5 г/м<sup>3</sup>. Наибольшая концентрация фитопланктона отмечаются в конце июля, и совпадает с фазой максимального прогрева водохранилища. В это время в Волжском и Камском плесах концентрация биомассы фитопланктона составляет 2,6-3,2 г/м<sup>3</sup>; в Волжско-Камском плесе – 3,5-4,0 г/м<sup>3</sup>; в Тетюшском и Ульяновском плесах – 4,0-4,5 г/м<sup>3</sup>; в Ундоровском, Новодевичьем и Приплотинном плесах – 4,5-5,0 г/м<sup>3</sup>.





Расчет пространственного распределения биомассы фитопланктона (а) и минерального фосфора (б) в период летнего прогрева Куйбышевского водохранилища 2016 г.

Максимальная концентрация фитопланктона формируется в заливах рр. Меши, Черемшана, Усы и вдоль правого берега Приплотинного плеса достигая 6,9-9,4 г/м<sup>3</sup>. В конце августа – начале сентября концентрация фитопланктона начинает снижаться с 3,5 до 2,1 г/м<sup>3</sup> и в сентябре – октябре достигает минимальных значений (таблица).

**Модельный расчет сезонного хода биомассы фитопланктона и минерального фосфора в плесах Куйбышевского водохранилища 2016 г.**

Плеса	Месяцы						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
<i>Минеральный фосфор г/м<sup>3</sup></i>							
Волжский плес	0,048	0,055	0,019	0,013	0,024	0,068	0,088
Камский плес	0,056	0,041	0,020	0,014	0,018	0,033	0,040
Волжско-Камский плес	0,058	0,036	0,009	0,011	0,014	0,023	0,029
Тетюшский плес	0,059	0,040	0,010	0,009	0,014	0,034	0,052
Ульяновский плес	0,069	0,039	0,006	0,003	0,009	0,017	0,023
Новодевичий плес	0,086	0,053	0,005	0,001	0,002	0,007	0,010
Приплотинный плес	0,090	0,067	0,008	0,001	0,001	0,002	0,004
Черемшанский залив	0,129	0,125	0,045	0,011	0,009	0,010	0,010
Усинский залив	0,091	0,085	0,017	0,004	0,003	0,003	0,002

## Окончание таблицы

Плеса	Месяцы						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Биомасса фитопланктона г/м <sup>3</sup>							
Волжский плес	0,2	0,6	2,5	0,9	0,3	0,1	0,1
Камский плес	0,2	0,9	3,2	1,2	0,4	0,1	0,1
Волжско-Камский плес	0,2	1,7	3,8	2,8	0,8	0,2	0,2
Тетюшский плес	0,1	1,5	4,2	2,9	0,9	0,2	0,1
Ульяновский плес	0,2	1,7	4,5	3,0	1,1	0,2	0,2
Новодевичий плес	0,1	1,2	4,6	2,5	1,3	0,4	0,2
Приплотинный плес	0,1	0,7	5,0	2,5	1,2	0,6	0,4
Черемшанский залив	0,3	1,0	8,4	7,6	1,8	0,1	0,1
Усинский залив	0,2	0,8	6,8	3,8	1,0	0,2	0,1

Значение коэффициента вариации ( $C_v$ ), характеризующего пространственную неоднородность распределения биомассы фитопланктона по акватории водохранилища составляет 23-29 %. В период летнего массового развития фитопланктона коэффициент  $C_v$  возрастает до 38-40 %. Предельно неоднородное распределение фитопланктона приходится на конец лета и начало осени – 59-70 %.

Распределение  $P_{\min}$ , так же, как и фитопланктона в разных частях Куйбышевского водохранилища, неоднородно (таблица). Наибольшие значения  $P_{\min}$  характерны для районов с наименьшим цветением водорослей – верхней части водохранилища (Волжский и Камский плесы), а также для заливов, в которые реки выносят большое количество  $P_{\min}$ . Для центральной и приплотинной части водохранилища характерно наименьшее содержание  $P_{\min}$ , где отмечается высокая концентрация фитопланктона (рисунок б). В период весеннего половодья концентрация  $P_{\min}$  максимальна и составляет 0,050-0,130 г/м<sup>3</sup>. С началом роста биомассы фитопланктона в водохранилище концентрация  $P_{\min}$  снижается и к моменту массового цветения водорослей летом достигает 0,001-0,014 г/м<sup>3</sup> и даже нулевых значений.

Пространственная неоднородность  $P_{\min}$  в водохранилище высока и связана с динамикой развития фитопланктона. В конце весны в начале лета коэффициент вариации  $C_v$  составляет 38%, в середине лета 64% и осенью достигает 92%.

Модельные расчеты показывают, что в результате активного цветения фитопланктона по главной оси водохранилища от верховьев к приплотинному плесу отмечается среднее повышение температуры воды на 1,3 °С, увеличение биомассы фитопланктона на 2,6 г/м<sup>3</sup> и снижение концентрации фосфатов на 0,010 г/м<sup>3</sup>. Таким образом, по сравнению с верхними входными участками, только за счет увеличения температуры воды и замедления стокового течения в открытой части водохранилища биомасса фитопланктона возрастает в 2 раза, а в мелководных заливах – в 3,6 раза.

Сопоставление результатов численного моделирования проводилось с данными натурных наблюдений по 15 станциям в период экспедиционных работ на НИС “Биолог” с 7 по 31 июля 2016 г. Адекватность разработанной модели оценивалась критерием Тейла ( $T$ ) [8]. Модельные расчеты считаются удовлетворительными, если  $T < 0,4$  и по данному критерию показывают приемлемую сходимость расчетов и наблюдений для фитопланктона ( $T=0,27$ ) и минерального фосфора ( $T=0,37$ ).

### **Выводы**

По данным расчетов на модели подтверждена приоритетная значимость температуры воды и содержания растворенного минерального фосфора в формировании полей фитопланктона. Установлено, что в период летней межени вдоль главной оси водохранилища с постепенным повышением температуры воды от верховьев к Приплотинному плесу водохранилища идет двукратное увеличение биомассы фитопланктона и снижение концентрации растворенного минерального фосфора до предельно низких значений. Наибольшая интенсивность развития фитопланктонного сообщества отмечается на мелководье и в устьевых областях рр. Меши, Черемшана и Усы. Пространственно-временная картина распределения фитопланктона в Куйбышевском водохранилище связана с формированием обширных зон «цветения» и, как следствие, определяет тенденции пространственной неоднородности содержания минерального фосфора.

### **Библиографический список**

1. Боровкова Т.Н., Никулин П. И., Широков В. М. Куйбышевское водохранилище. Куйбышев, 1962. 89 с.
2. Булдовская О.Р., Леонов А.В. Формализация метаболических функций фитопланктона и моделирование динамики форм фосфора в пресноводных экосистемах // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 1. С. 97–110.
3. Булдовская О.Р., Леонов А.В. Динамика и круговорот соединений фосфора в Учинском водохранилище: исследование с помощью имитационной математической модели фосфорной системы // Водные ресурсы. 1996. Т. 23. № 2. С. 176–182.
4. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ: Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.
5. Корнева Л. Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом. 2015. 284 с.
6. Рахуба А.В. Динамика водных масс Саратовского водохранилища под влиянием пусков ГЭС // Водное хозяйство России. 2008. №2. С. 55–66.
7. Россомо Л.Л. Загрязнение вод и антропогенное эвтрофирование внутренних водоемов// Гидробиол. Журн, 1975. Т. 11. № 1. С. 5–11.
8. Theil H. Applied economic forecasting. Amsterdam. 1971. 256 p.

А.В. Рахуба, Л.Г. Тихонова, [rahavum@mail.ru](mailto:rahavum@mail.ru)  
*Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия*

## **ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ РЕКУ ВОЛГА НА КАЧЕСТВО ВОДЫ ПРИПЛОТИННОГО ПЛЕСА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Рассматриваются результаты гидрохимических исследований в районе второго пояса водоохраной зоны хозяйственно-питьевого водозабора г. Тольятти и акватории приплотинной части Куйбышевского водохранилища в период строительства мостового перехода через р. Волга. Проведен анализ пространственной неоднородности качества вод и дана сравнительная оценка проведенных исследований с данными среднемноголетних наблюдений в осеннюю межень.

*Ключевые слова:* Куйбышевское водохранилище, качество воды, гидрохимический режим.

A.V. Rakhuba, L.G. Tikhonova, [rahavum@mail.ru](mailto:rahavum@mail.ru)  
*Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of the Volga  
River Basin RAS, Togliatti, Russia*

## **HYDROCHEMICAL STUDIES OF THE IMPACT OF THE CONSTRUCTION OF A BRIDGE OVER THE VOLGA RIVER ON THE WATER QUALITY OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR IN FRONT OF THE DAM**

The results of hydrochemical studies in the area of the second belt of the water protection zone of the utility and drinking water intake in Togliatti and the water area of the dam part of the Kuibyshev reservoir during the construction of a bridge over the Volga River are presented. The analysis of the spatial heterogeneity of water quality is carried out and a comparative assessment of the research carried out with the data of long-term average observations in the autumn low-water period is given.

*Keywords:* Kuibyshev reservoir, water quality, hydrochemical regime.

### ***Введение***

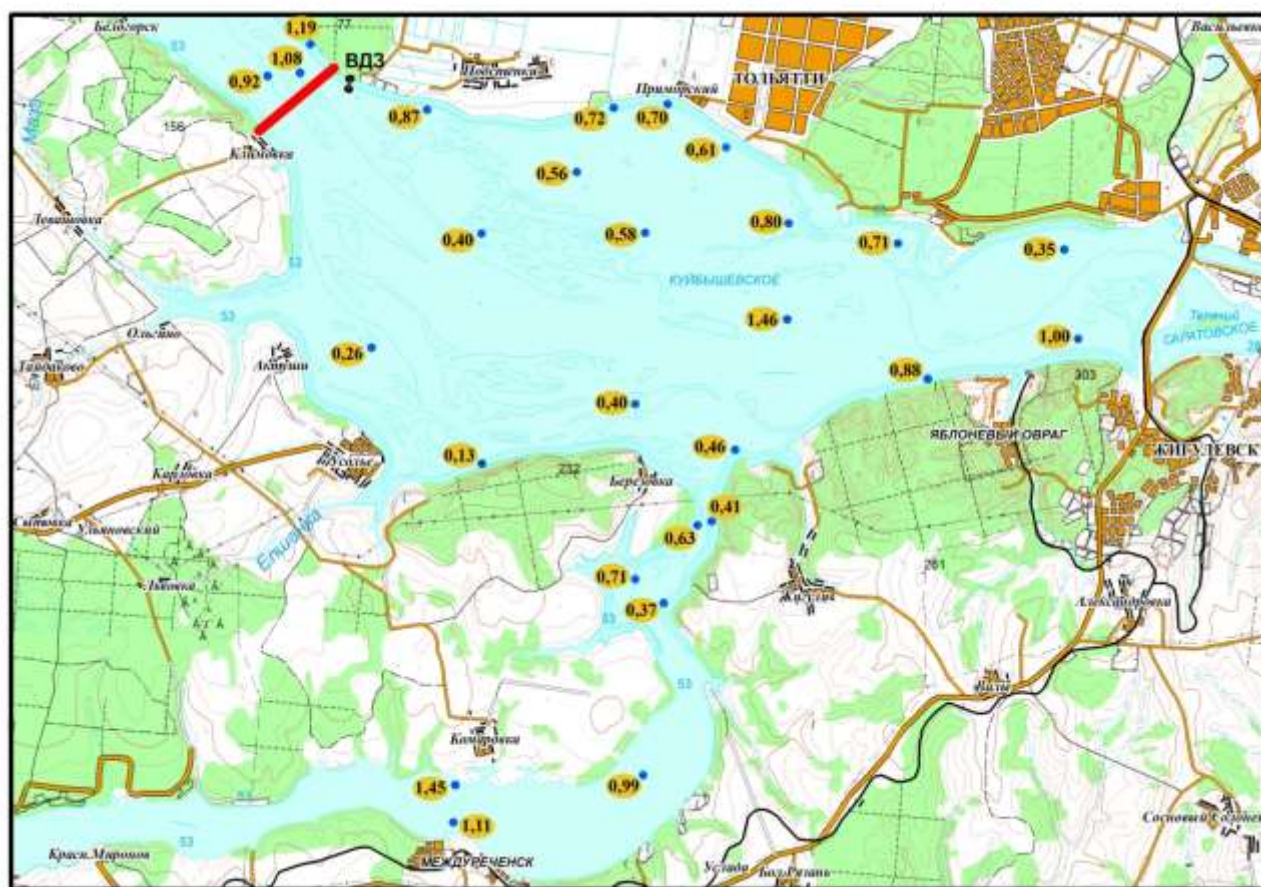
Формирование качества вод в крупных водохранилищах сложный процесс, связанный с влиянием природных и антропогенных факторов. Многочисленные исследования водохранилищ России свидетельствуют о наличие пространственных неоднородностей распределения компонентов экосистем водохранилищ, которые также могут формироваться под влиянием факторов техногенного загрязнения [1; 2]. Одним из таких возможных техногенных воздействий на качество водной среды является строительство различных мостовых переходов.

В январе 2020 г. началось строительство мостового перехода через Куйбышевское водохранилище возле пос. Климовка. Этот мост является частью грандиозного проекта – автодороги, соединяющей Европу и Западный Китай, строительство которого осуществляется во втором поясе зоны санитарной охраны хозяйственно-питьевого водозабора г. Тольятти. По этой причине возникает угроза, что строительные работы могут оказать негативное воздействие на качество воды не только в районе водозабора ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ», но и в прилегающей акватории Приплатинного плеса и Усинского залива Куйбышевского водохранилища.

Цель исследований – оценить пространственную неоднородность качества воды по гидрохимическим показателям в акватории Приплатинного плеса и Усинского залива Куйбышевского водохранилища в условиях возможного техногенного воздействия при строительстве мостового перехода через водохранилище.

### ***Материалы и методы исследования***

В осенний период с 14 сентября по 3 октября 2020 г. были проведены гидрохимические наблюдения в акватории Приплатинного плеса и Усинского залива Куйбышевского водохранилища. Выбранный район исследования – это самый глубоководный плес Куйбышевского водохранилища со значительным объемом воды (рисунок).



Карта-схема станций отбора проб в период проведения экспедиционных работ и распределение показателя БПК<sub>5</sub> (гО<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>) в приплатинной части Куйбышевского водохранилища



В отличие от других плесов, он вытянут с востока на запад и имеет длину – 34 км. Затопленное русло р. Волга от плотины Жигулевской ГЭС сначала проходит вдоль правого берега, а затем поворачивает к центру района. Далее, в западной части плеса у с. Климовка, русло Волги вновь прижимается к правому берегу, создавая в подводном рельефе плеса понижение. Вдоль левого берега Приплотинного участка имеется небольшое по площади мелководье, которое образовалось в результате заполнения водохранилища. На южной стороне плеса расположен большой залив, образовавшийся в устье р. Усы [3].

Место строительства мостового перехода располагается в верхней северо-западной части Приплотинного плеса возле пос. Климовка, где ширина плеса составляет 3,5 км. При нормальном подпорном уровне Приплотинный плес, включая Усинский залив, имеет объем  $6,8 \text{ км}^3$ , площадь –  $417 \text{ км}^2$  и максимальную ширину – 12 км. Средняя глубина составляет 15 м, а наибольшая – 42 м.

Наблюдения проводились на научно-исследовательском судне «Победа». Было обследовано 27 станций, из которых 20 расположены в Приплотинном плесе и 7 – в Усинском заливе (рисунок). В состав гидрохимических наблюдений входили измерения: температуры воды, pH, Eh, жесткости, мутности, прозрачности, удельной электропроводности воды (УЭП), хлоридов (Cl), перманганатной окисляемости (ПО), цветности, биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>), растворенного в воде кислорода (O<sub>2</sub>), хлорофилла (Хл *a*), нитратов (NO<sub>3</sub>), фосфатов (PO<sub>4</sub>), общего фосфора (P<sub>общ</sub>), общего железа (Fe<sub>общ</sub>), кремния (Si), марганца (Mn), магния (Mg) и кальция (Ca). Отбор проб воды осуществлялся с поверхностного горизонта батометром «Рутнера». Анализы гидрохимических показателей определялись в соответствии с принятыми методиками и действующими нормативными документами [4].

### ***Анализ результатов***

Исследуемая часть Куйбышевского водохранилища, имея обширную акваторию, в осенний период характеризуется высокой неоднородностью распределения по ряду гидрохимических показателей (таблица). Данные проведенных экспедиционных наблюдений показывают, что коэффициент вариации (*Cv*), характеризующий пространственную неоднородность, для Хл *a* составляет 140%, цветности воды – 53%, БПК<sub>5</sub> – 47%, мутности – 68%, Mn – 83% и Fe<sub>общ</sub> – 57%. Для остальных показателей *Cv* не превышает 35%.

Анализ наблюдений пространственного распределения Хл *a*, показателей содержания в воде органических веществ (ОВ) и мутности показывает наличие локальных зон (пятнистости), как в акватории Приплотинного плеса, так и в Усинском заливе. В качестве примера на рисунке представлено распределение БПК<sub>5</sub> на станциях наблюдений, типичное для этих показателей. Наибольшие концентрации отмечаются на станциях в районе Климовской узкозности (строящегося моста), левобережной литорали Приплотинного плеса и станциях Усинского залива. В Усинском заливе мутность, цветность, БПК<sub>5</sub> и Хл *a* заметно выше, чем в акватории плеса. По ряду остальных показателей нельзя выделить значимых пространственных различий.

**Гидрохимические характеристики Приплотинного плеса и Усинского залива  
за период 2000-2018 гг. осенней межени и период экспедиционных наблюдений 2020 г.**

<i>Показатели</i>	<i>2000-2018 гг.</i>	<i>Экспедиционные наблюдения в 2020 г.</i>			
		<i>Сред</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Cv%</i>
<i>Температура воды, С°</i>	17,0	15,5	16,5	14,7	3,3
<i>Прозрачность, м</i>	3,0	3,2	4,3	2,1	14,5
<i>Мутность, г/м³</i>	5,09	3,61	10,44	1,38	67,9
<i>pH</i>	8,03	8,4	8,6	8,2	1,1
<i>Eh, mV</i>	306	178	205	151	6,3
<i>УЭП, мкСм/см</i>	374	317	334	300	2,3
<i>Минерализация, г/м³</i>	241	194	212	155	5,8
<i>Cl, г/м³</i>	28,5	17,0	18,3	15,9	4,2
<i>O₂, г/м³</i>	7,72	7,96	8,59	7,64	3,1
<i>ПО, г/м³</i>	7,94	9,42	11,29	6,27	10,9
<i>Цветность, °Pt</i>	37,0	45,0	92,9	17,9	52,9
<i>БПК₅, г/м³</i>	0,95	0,73	1,46	0,13	47,1
<i>Хлорофилл "а", мг/м³</i>	1,47	3,84	28,24	0,71	140,2
<i>NO₃, г/м³</i>	0,40	0,17	0,32	0,03	35,2
<i>PO₄, г/м³</i>	0,067	0,064	0,075	0,034	16,8
<i>Робщ, г/м³</i>	0,072	0,081	0,112	0,059	17,0
<i>Fe, г/м³</i>	0,058	0,060	0,210	0,027	57,1
<i>Si, г/м³</i>	2,24	2,45	3,33	1,48	18,4
<i>Mn, г/м³</i>	0,025	0,020	0,061	0,004	83,1
<i>Жесткость, мг-экв/л</i>	2,91	2,82	3,92	2,52	9,8
<i>Ca, г/м³</i>	41,0	41,3	57,3	35,3	10,5
<i>Mg, г/м³</i>	9,7	9,2	12,9	6,3	13,6

По данным многолетнего мониторинга проводившегося гидрохимической лабораторией ИЭВБ РАН с 2000 по 2018 гг. в районе нижнего бьефа Жигулевского гидроузла средние значения показателей качества воды 2020 года, как в районе строящегося моста, так и в акватории Приплотинного плеса водохранилища лежат в пределах изменений многолетних значений для осенней межени (таблица). Диапазон изменений гидрохимических показателей в районе исследуемой акватории Куйбышевского водохранилища составил: для температуры воды – 14,7-16,5°С, прозрачности воды по диску Секки – 2,1-4,3 м, мутности воды – 1,4-10,4 г/м³, pH – 8,2-8,6, Eh – 151-205 mV, УЭП – 300-334 мкСм/см, концентрации растворенного кислорода – 7,6-8,6 г/м³ и Хл *a* – 0,7-28,2 мг/м³. Размах пространственных показателей, характеризующих содержание

ОВ, составил: для цветности воды – 18-93 °Pt, ПО – 6,3-11,3 г/м<sup>3</sup> и БПК<sub>5</sub> – 0,1-1,5 г/м<sup>3</sup>. Пространственные изменения биогенных показателей составили: для нитратов – 0,03-0,3 гN/м<sup>3</sup>, фосфатов – 0,034-0,075 гP/м<sup>3</sup>, фосфора общего – 0,059-0,112 гP/м<sup>3</sup>, железа общего – 0,027-0,210 г/м<sup>3</sup> и кремния – 1,48-3,33 гSi/м<sup>3</sup>.

Проведенные исследования показывают, что пространственные изменения ряда гидрохимических показателей по акватории, прежде всего, связаны с сезонными факторами и сложной морфологией Куйбышевского водохранилища. На фоне этих изменений не выявлено существенных превышений концентраций химических показателей, которые бы свидетельствовали о техногенном загрязнении вод. Но поскольку строительство мостового перехода находится в самом начале, исследования необходимо продолжить и в другие сезоны года.

### **Выводы**

Таким образом, предварительный анализ данных наблюдения на станциях, расположенных выше и ниже по течению строящегося мостового перехода через р. Волга, а также расположенных в акваториях Приплотинного плеса и Усинского залива не выявил значимых превышений концентраций гидрохимических показателей в начале строительства в период осенней межени 2020 г. В целом, для осеннего периода, пространственные вариации всех гидрохимических показателей находятся в пределах колебаний среднемноголетних значений.

### **Библиографический список**

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. М.: Мысль. 1987. 325 с.
2. Двуреченская С. Я. Исследование изменчивости гидрохимического режима Новосибирского водохранилища // География и природные ресурсы. 2007. № 4. С. 74–79.
3. Рахуба А.В., Шмакова М.В. Численное моделирование заиления приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища речными наносами // Метеорология и гидрология. 2018. № 1. С. 68–75
4. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана / под ред. В.В. Сапожникова. М.: Изд-во ВНИРО. 2003. 214 с.



А.А. Строков<sup>1</sup>, А.Ю. Санин<sup>1,2</sup>, [eather86@mail.ru](mailto:eather86@mail.ru)

<sup>1</sup>Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова,  
Росгидромет, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА БЕРЕГАХ ВЕРХНЕ-СВИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КАЧЕСТВО ВОД ВОДОЕМА**

Рассмотрены динамические процессы, характерные для берегов Верхне-Свирского водохранилища, их распространение, интенсивность, влияние на хозяйственную деятельность человека. Проведено комплексное исследование в юго-восточной части водохранилища с целью оценки динамических процессов и их влияния на качество вод водохранилища по 10 литофильным элементам и тяжелым металлам. Показаны характерные отличия в геохимии абразионных и дельтовых берегов.

*Ключевые слова:* водохранилище, абразия, склоновые процессы, качество вод, литофильные элементы, тяжелые металлы, корреляция.

A. A. Strokov<sup>1</sup>, A. Yu. Sanin<sup>1,2</sup>, [eather86@mail.ru](mailto:eather86@mail.ru)

<sup>1</sup>N. N. Zubov's State Oceanographic Institute, Roshydromet, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## **DYNAMIC PROCESSES ON THE UPPER-SVIR RESERVOIR COASTS AND THEIR IMPACT ON THE RESERVOIR WATER QUALITY**

The dynamic processes characteristic of the Upper-Svir reservoir coasts, their distribution, intensity, impact on human economic activity have been considered. A comprehensive study in the south-eastern part of the reservoir has been carried out to assess the dynamic processes and their impact on the water quality of the reservoir by 10 lithophilic elements and heavy metals. Characteristic differences in geochemistry of abrasive and delta coasts have been shown.

*Keywords:* reservoir, abrasion, slope processes, water quality, lithophilic elements, heavy metals, correlation.

### ***Введение***

Среди динамических процессов, характерных для берегов озерной части Верхне-Свирского водохранилища (Онежского озера), можно выделить абразию и размыв берегов, аккумулятивные процессы на них, склоновые процессы (формирование оползней и оплывин, обвалов, блоков отседания и др.), линейная (образование рытвин, оврагов, балок) и плоскостная эрозия.

Представляется актуальной оценка влияния динамических процессов, свойственных берегам, на качество вод водохранилища, так как запасы его

пресных вод имеют стратегическое и все возрастающее значение для всего северо-западного региона России.

Ведущую роль в формировании качества вод водохранилища играет поступление терригенного материала с твердым стоком рек, в основном Водлы, Шуи и Суны. Таким образом поступает примерно 50-70% загрязняющих веществ природного происхождения [3; 4]. Однако следует отметить отдельные участки побережья с активными абразионными процессами, на которых отсутствуют крупные впадающие притоки, и где ведущую роль в поступлении загрязняющих веществ может играть именно абразия.

Цель настоящего исследования – изучение влияния динамических процессов, происходящих на берегах Верхне-Свирского водохранилища, на содержание литофильных элементов (Fe, Mn, Al) и тяжелых металлов (Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Co, Cd) в воде. Задачи исследования следующие:

1. Поиск участков прибрежной зоны водохранилища с характерными динамическими процессами и геохимическими особенностями;
2. Отбор и последующий химический анализ проб воды, донных и берегоформирующих отложений в береговой зоне и прилегающей акватории водохранилища на содержание литофильных элементов и тяжелых металлов;
3. Оценка влияния динамических процессов, свойственным берегам, на качество воды с использованием корреляционных зависимостей.

#### ***Материалы и методы исследования***

Базисом исследования является морфогенетическая классификация берегов водохранилища. Выделено 7 их типов: первичные (слабоизмененные), абразионные, абразионно-аккумулятивные, аккумулятивные, дельтовые, лагунные и антропогенные [2]. Для каждого из выделенных типов берегов характерны свои особенности динамических процессов.

Для оценки динамических процессов проводились комплексные геолого-геофизические исследования береговой зоны водохранилища в 2014-2015 годах с использованием гидролокации бокового обзора, георадарной съемки, математического моделирования и прогноза развития береговой зоны [2]. Для оценки воздействия динамических процессов на берегах водохранилища на качество его вод в октябре 2019 года авторами проводились подробные геохимические исследования на двух ключевых участках (по 4 створа в каждом):

- в районе Андомской горы (д. Гневашевская, Вытегорский район Вологодской области) по причине максимальной репрезентативности участка с точки зрения абразионных процессов (абразионный тип берега);
- в районе устья р. Водлы (п. Шальский, Пудожский район Республики Карелия) по причине близости крупного притока (дельтовый тип берега).

Каждый створ был разбит на две зоны: береговая и прибрежная. В береговой зоне отбирались пробы берегоформирующих пород в условно фоновом месте (10-20 м от уреза) и на пляже. В прибрежной зоне водохранилища назначались по 3 вертикали, которые отражали вероятность потенциального волнового воздействия: урез воды (глубины до 0,1 м); зона волнового воздействия (ЗВВ) (глубины до 5 м); вне ЗВВ (глубины более 5 м).

Было отобрано 47 проб воды (28 из поверхностного горизонта и 19 – из придонного), 26 проб донного грунта, 16 проб берегоформирующих отложений на анализ содержания литофильных элементов и тяжелых металлов. Гидрохимические данные сравнивались с рыбохозяйственными нормативами предельно допустимых концентраций (ПДК) [5] по причине важности водохранилища как рыбохозяйственного водоема.

Полученный массив гидро- и геохимических данных был использован для оценки влияния динамических процессов, имеющих место на рассматриваемых участках водохранилища на качество его вод. Проведен корреляционный анализ пар «дно-вода» и «берег-дно» с использованием стандартного набора статистических операций по расчету коэффициентов корреляции (Пирсона и Спирмена) программы STATISTICA v.7.0.

### *Анализ результатов*

Значительная площадь Верхне-Свирского водохранилища обуславливает сходство рельефообразующих процессов на его берегах с аналогичными на морском побережье, так как ветровые волны здесь достигают высоты до 1,5 метров и более [1], и оказывают заметное воздействие на берега.

Семь выделенных типов берегов имеют следующее распространение. Первичные, или слабоизмененные озером скальные, практически не подверженные волновому воздействию берега преобладают в Северном Прионежье (за исключением Заонежского и Повенецкого заливов). На западном побережье водохранилища и восточном побережье Заонежского и Повенецкого залива преобладают абразионные и абразионно-аккумулятивные берега. Для южного и восточного (к югу от поселка Шальский) берега характерно преобладание абразионно-аккумулятивных и аккумулятивных берегов. Местам впадения крупных рек чаще всего соответствуют дельтовые берега, территориям городов (Петрозаводск, Медвежьегорск и др.) – техногенные. Лагунные берега встречаются на южном и восточном берегу водоема.

На ключевом участке в районе Андомской горы преобладают абразионные и абразионно-аккумулятивные типы берега, в районе устья реки Андомы есть небольшие участки дельтовых берегов, к северу от него преобладают аккумулятивные берега. Береговой уступ характеризуется высотой от 5 до 20 м и более, что превышает характерные средние для водоема значения. Темпы абразии не превышают несколько десятков сантиметров в год [2]. Отмечены оползни, осыпи, блоки отседания и оплывины, линейные эрозионные формы. Аккумулятивным процессам способствует как выносимый рекой Андома материал, так и продукты разрушения абразионных берегов. Валунные и глыбы на подводном береговом склоне сдерживают волновое воздействие.

На ключевом участке около устья р. Водлы берега относятся к дельтовым, севернее и южнее преобладают абразионно-аккумулятивные берега. Высота их уступа не превышает 5-8 м, ширина пляжей для дельтовых участков 10-25 м, для абразионно-аккумулятивных – 5-15 м. Подводный береговой склон достаточно отмелый, что сдерживает волновое воздействие.

Гидро- и геохимическое исследование, проведенное на ключевых участках, показало следующие результаты. В поверхностном слое воды в районе

Андомской горы несоответствие ПДК характерно для Fe (до 2,7 ПДК), Mn (до 4,9 ПДК), Pb (до 3,6 ПДК), Al (5,3 ПДК), Cu (до 11,1 ПДК). Остальные металлы имеют широкую вариабельность концентраций, которые не превышают ПДК. В придонном слое воды выделяется Pb (1,8-1,9 ПДК). Превышение ПДК отмечено также для Mn (в 2,7-5,2 раза) и Cu (в 6,7-8,3 раза).

В поверхностном слое воды в районе впадения р. Водлы отмечаются нарушения ПДК по тем же металлам, что и в районе Андомского берега. Отличие наблюдается только в кратности превышения ПДК. Концентрации Mn достигают 15,2 ПДК; Fe – 15 ПДК; Cu – 20 ПДК; Pb – 2,3 ПДК; Al – 10,8 ПДК. Для придонного слоя воды здесь характерны следующие концентрации металлов. Концентрация Mn достигает 14,4 ПДК; Fe – 11,5 ПДК; Cu – 13,8 ПДК; Pb – 1,9 ПДК; Al – 8,1 ПДК.

В районе Андомской горы концентрация Fe в донных отложениях находится в диапазоне 18-45 мг/кг, Mn – в диапазоне 37-68 мг/кг. Концентрации Cu и Al не превышают 2 мг/кг, Zn и Pb – 1 мг/кг. В районе впадения р. Водлы концентрация Fe составляет 14-22 мг/кг, Mn – 10-17 мг/кг.

Для берегоформирующих отложений озера также характерны сравнительно высокие содержания Fe и Mn. В районе Андомской горы концентрация Fe находится в пределах 20-44 мг/кг, Mn – 31-56 мг/кг. В районе впадения р. Водлы содержание Fe достигает 41 мг/кг, Mn – 12 мг/кг. Суммарная концентрация литофильных элементов и тяжелых металлов на склоне к востоку от Андомской горы составила 112 мг/кг, на пляже – 55 мг/кг. В районе устья р. Водлы их концентрация находилась в пределах от 42 мг/кг (склон) до 52 мг/кг (пляж).

Корреляционный анализ пары «дно-вода» на ключевых участках показал широкий разброс значений коэффициентов корреляции (по модулю): в районе Андомской горы – 0,68-0,82 по Al, 0,09-0,80 по Cu, 0,02-0,43 по Fe, 0,10-0,22 по Mn, 0,24-0,84 по Pb, 0,21-0,39 по Zn; в районе устья р. Водлы – 0,13-0,50 по Al, 0,18-0,45 по Cu, 0-0,22 по Fe, 0,02-0,21 по Mn, 0,01-0,34 по Pb, 0,08-0,65 по Zn. Значимая корреляция отмечена только в районе Андомской горы в отношении Al, Cu и Pb.

Корреляционный анализ пары «берег-дно» также показал большой разброс значений (по модулю), однако статистически незначимый: в районе Андомской горы – 0,55 по Al, 0,35-0,62 по Cu, 0,30-0,41 по Fe, 0,08-0,19 по Mn, 0,22-0,26 по Pb, 0,55-0,65 по Zn; в районе устья р. Водлы – 0,12-0,37 по Al, 0,03-0,06 по Cu, 0,45-0,47 по Fe, 0,05-0,30 по Mn, 0,18 по Pb, 0,01-0,08 по Zn.

### **Выводы**

Выделено 7 типов берегов Верхне-Свирского водохранилища, для каждого из которых динамические процессы имеют свои особенности. В частности, аккумуляция преобладает на лагунных, дельтовых и аккумулятивных берегах, на первичных берегах динамические процессы сдерживаются устойчивостью берегоформирующих пород и слабостью волн, на техногенных – подавлены человеком. Особенности динамических процессов определяют объемы и концентрации поступающих загрязняющих веществ (в частности литофильных элементов и тяжелых металлов).

Для Верхне-Свирского водохранилища среди природных факторов поступления химических веществ наибольшую роль играет твердый сток рек. В ходе исследования 2019 года показано, что на отдельных участках ведущую роль играет абразия, особенно для акватории, смежной с абразионными берегами и для участков берега, характеризующихся отсутствием крупных притоков.

Концентрации литофильных элементов и тяжелых металлов в воде на момент обследования превышали рыбохозяйственные нормативы ПДК до 20 раз в отношении Mn, Fe, Cu, Zn, Pb и Al. Озерная вода в районе Андомского берега характеризуется низким и средним уровнем загрязненности (кратности превышения ПДК находятся в диапазоне от 1 до 10), в районе впадения р. Водлы – средним и высоким (кратности превышения ПДК находятся в диапазоне от 10 до 50). Отмечается выраженное влияние реки Водлы на гидрохимический режим в данном конкретном районе на момент обследования.

Корреляционный анализ показал отсутствие фиксируемого статистическими методами влияния со стороны донных осадков водохранилища в прибрежной зоне на содержание большинства показателей. Достоверные результаты получились для района Андомской горы, где была отмечена сильная (не менее 0,7) корреляция в отношении Al, Cu и Pb.

*Исследование 2019 года проведено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00545 мол\_а «Оценка воздействия береговых процессов на экологическое состояние Онежского озера».*

### **Библиографический список**

1. Забраилов А.Ю. Ветроволновой режим и условия плавания на Ладожском и Онежском озерах. М.: Транспорт, 1966. 83 с.
2. Игнатов Е.И., Борщевко Е.В., Загоскин А.Л., Землянов И.В., Санин А.Ю., Терский П.Н., Фатхи М.О. Связь геологического строения побережья, истории развития рельефа и динамики берегов Онежского озера // Труды Карельского научного центра РАН, серия Лимнология. 2017. №3. С. 65–78.
3. Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Главный редактор Н.Н.Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 375 с.
4. Лозовик П.А., Кулик Н.В., Ефременко Н.А. Литофильные элементы и тяжелые металлы в Онежском озере: источники поступления, содержание и трансформация // Труды КарНЦ РАН. 2020. №4. С. 62–74.
5. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 (зарегистрировано в Минюсте РФ 13.01.2017 №45203) – 151 с.

М.А. Терешина, О.Н. Ерина, Д.И. Соколов, Г.Л. Шинкарева, Д.Ю. Васильчук,  
[martereshina@yandex.ru](mailto:martereshina@yandex.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия*

## **ПРОДОЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДЫ Р. СЕТУНИ**

По результатам подробного сезонного гидрохимического мониторинга, проведенного в 2019-2020 гг. по длине р. Сетуни, выделены ключевые загрязняющие вещества, характерные для зон с различными типами воздействия городской среды на качество речных вод. Рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости химического состава вод, обусловленные постоянным воздействием, и изменения, вызываемые кратковременными залповыми поступлениями загрязненных стоков.

*Ключевые слова:* городские реки, малые реки, качество воды, биогенные вещества, тяжелые металлы, гидрохимический мониторинг, Московский мегаполис.

M.A. Tereshina, O.N. Erina, D.I. Sokolov, G.L. Shinkareva, D.Yu. Vasilchuk,  
[martereshina@yandex.ru](mailto:martereshina@yandex.ru)

*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

## **LONGITUDINAL TRANSFORMATION OF WATER POLLUTION IN THE SETUN RIVER**

Based on the results of detailed seasonal monitoring along the length of the Setun River conducted in 2019-2020, key pollutants are highlighted for areas with different types of urban impact on river water quality. The specifics of spatial and temporal variability of the chemical composition of water caused by constant impacts are outlined, as well as changes caused by short-term events of polluted inflow.

*Keywords:* urban rivers, small rivers, water quality, nutrient elements, heavy metals, hydrochemical monitoring, Moscow megacity.

### ***Введение***

Малые реки, протекающие в условиях антропогенно измененных ландшафтов, часто обнаруживают более экстремальные уровни загрязнения и большую изменчивость концентраций отдельных загрязнителей, чем крупные водотоки, за счет их меньшей разбавляющей и самоочищающей способности, а также вследствие слабого контроля за качеством воды на небольших водосборах со стороны мониторинговых служб [4; 5]. При этом химический сток малых рек может играть существенную роль в формировании качества воды и на более крупных региональных масштабах [7; 9]. Для того, чтобы не только оценить качество воды в реке в целом, но и определить связь между конкретными источниками загрязнений и их проявлениями в изменениях гидрохимического режима реки, а также сформулировать необходимые меры по контролю и

улучшению качества воды, необходимо проведение подробных мониторинговых исследований, учитывающих структуру водохозяйственного использования водотока и сопряженных с модельными или иными методами исследования формирования химического состава воды [6; 8].

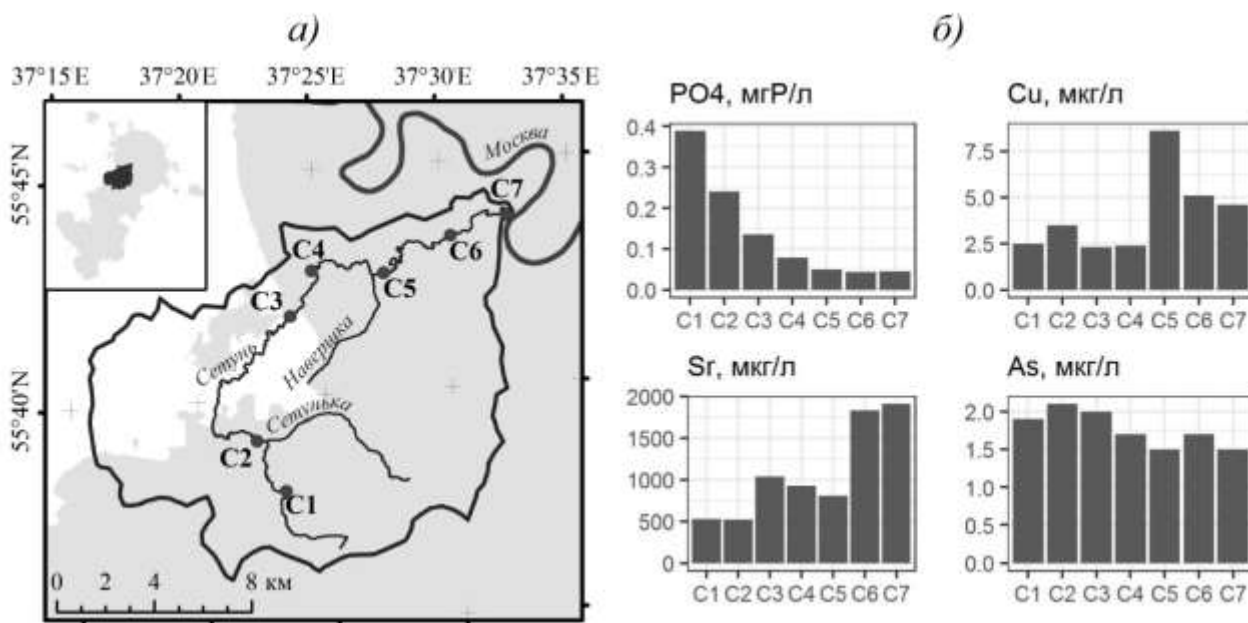
Сетунь является одной из немногих рек г. Москвы, имеющих полностью открытое русло [1], территория вдоль которого частично относится к природному заказнику. В то же время спектр антропогенного воздействия на р. Сетунь очень широк: около половины ее бассейна расположено в пределах городской застройки (в том числе промышленной), в верховьях располагается рекультивированный полигон ТБО «Саларьево», ранее являвшийся крупнейшим полигоном ТБО в Европе, а сама река принимает сточные воды жилых районов и промышленных предприятий. При этом водосбор р. Сетуни является одной из наиболее геохимически изученных территорий г. Москвы, и качеству воды реки также посвящены множественные исследования. Таким образом, р. Сетунь является идеальным модельным объектом для исследования закономерностей формирования и трансформации загрязнений в речных системах Московского мегаполиса.

### ***Материалы и методы исследования***

Для изучения пространственно-временных закономерностей химического состава вод р. Сетуни была назначена сеть из 7 станций, на которых в течение 2019-2020 гг. проводились ежесезонные наблюдения (отбор проб по полной сети станций проводился в апреле, августе и ноябре 2019 г. и в феврале, апреле, июне и августе 2020 г.). Местоположение станций было выбрано равномерно по длине реки в соответствии с проведенным ранее обзором источников загрязнения водной среды в пределах водосбора (рисунок а). Станции С1-С2 приурочены к верховьям реки, наименее урбанизированным, но подверженным возможному влиянию полигона ТБО, станции С3 и С4 расположены выше и ниже МКАД, С5 – ниже промзоны «Очаково» и впадения р. Навершки, С6 – ниже пересечения реки с железной дорогой и крупными автомагистралями и впадения р. Раменки, С7 – замыкающий створ в 1 км от устья реки.

Отобранные пробы воды фильтровались через мембранные фильтры Millipore с диаметром пор 0,45 мкм, после чего в них спектрофотометрическими методами определялось содержание различных форм биогенных элементов (общий фосфор и фосфор фосфатов, нитритный и общий азот) и основной солевой состав – методом ионной хроматографии. Фильтрованные пробы также отправлялись в лабораторию ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского для определения содержания тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами. В нефильтрованных образцах определялось валовое содержание азота и фосфора и химическое потребление кислорода (ХПК) методом бихроматной окисляемости.

Среди определяемых ТММ для анализа были выбраны элементы, содержание которых в большинстве отобранных проб превышало пределы обнаружения используемых методик: Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Rb, Sr, V, Zn.



Расположение станций гидрохимических наблюдений на р. Сетунь (а) и распределение концентраций некоторых элементов по длине реки в ноябре 2019 г. (б)

### Анализ результатов

Полученные данные позволяют выявить закономерности пространственно-временной изменчивости для различных групп элементов, определяемых в воде р. Сетуни.

Минерализация воды и содержание основных ионов по длине реки изменяется достаточно слабо. За период наблюдений разница между значениями суммарной минерализации воды в истоке и устье реки редко превышала 25-30%, в основном наблюдалась слабая тенденция к снижению минерализации по длине реки. Максимальная минерализация наблюдалась в периоды зимней межени и весеннего половодья (500-1000 мг/л), в летний и осенний периоды наиболее характерные значения составляли около 450 мг/л. Концентрации большинства основных ионов также достаточно постоянны: так, содержание гидрокарбоната изменялось в пределах от 250 до 350 мг/л почти во всех пробах воды и изменялось по длине реки в незначительных пределах.

Устойчивая картина снижения концентраций по длине реки отмечается для биогенных элементов (рисунок б): на станции С1 стабильно отмечались максимальные концентрации общего азота и фосфора (6,4-12,7 мгN/л и 0,56-1,06 мгP/л соответственно), а также фосфора фосфатов (0,11-0,67 мгP/л), в то время как в устье реки их концентрации составляли 1,9-3,9 мгN/л, 0,14-0,76 мгP/л и 0,01-0,09 мгP/л. В верховьях реки отмечаются и повышенные значения ХПК – 48-88 мгО/л на станциях С1-С2 по сравнению с преобладающими значениями 27-65 мгО/л на остальных станциях. Подобное распределение указывает на существенное биогенное загрязнение, формирующееся в верховьях бассейна, наиболее вероятно связанное с поступлением загрязненного фильтрата с полигона ТБО даже после его рекультивации. При этом превышение рыбохозяйственных ПДК [3] по фосфатам (до 3,3 раз) наблюдается только в верховьях реки, но формирующиеся здесь высокие концентрации нитритной



формы азота (до 8 ПДК и более) сохраняются обычно на всем течении за счет постоянного окисления присутствующего в воде азота.

Среди ТММ частое превышение ПДК наблюдалось для Mn (до 14,4 раз), Sr, V, B, Zn, Mo, Cu, что в целом согласуется с результатами городского экологического мониторинга [2]. Продольное распределение этой группы элементов по длине р. Сетуни в различные периоды имеет более разнородный вид. Для Cu почти во все даты было характерно резкое увеличение концентраций на станции С5, в результате чего содержание в низовьях реки оказывалось в 1,5-3,6 раз выше, чем в ее верхней части. Стабильное увеличение концентраций Li и B (до 1,3-2,1 раз по сравнению с расположенными выше створами) происходит на станциях С6-С7. Такое же увеличение на этих станциях характерно и для Sr, но для этого элемента также характерно скачкообразное повышение между станциями С2 и С3.

Выделяются и элементы, для которых продольные изменения концентраций выражены слабее и имеют другую направленность: так, для Mn характерны максимальные концентрации (до 300-720 мкг/л) в верховьях реки и их значительное снижение к устью (до 50-100 мкг/л и менее), схожее с распределением биогенных элементов. Похожим образом плавно снижаются по длине реки концентрации As, Cr, Ni, Rb. Концентрации других элементов, таких как Zn и Mo, напротив, плавно увеличиваются по длине реки.

Для многих показателей (Al, Cd, Rb, V, Li, минерализация и мутность воды, ХПК) бывают также характерны разовые увеличения концентраций, в 2-3 раза превышающие значения на остальных точках мониторинга и локализованные в одной-двух станциях. Как правило, они наблюдаются ниже притоков, принимающих сточные воды с промышленных территорий (пр. Навершка, Раменка) и сопряжены с изменением физико-химических показателей. В зимний период резкое увеличение мутности воды и концентраций некоторых элементов (Со, сульфаты) происходит на станции С2, расположенной ниже снегоплавильного пункта.

### **Выводы**

Даже в масштабах небольшого водосбора р. Сетуни можно выделить несколько участков с принципиально различными особенностями содержания поллютантов. Для верхней части реки, характеризующейся небольшими относительно остального водосбора плотностями застройки и транспортной сети, но подверженной влиянию поступления фильтрационных вод с полигона ТБО «Саларьево», отмечаются повышенные относительно остального участка реки концентрации биогенных элементов, Mn, Ni, Cr и некоторых других ТММ. В среднем течении реки, преимущественно подверженном загрязнению с жилых территорий и автодорог, приоритетными загрязнителями являются Mo и Sr., а в нижнем течении, принимающем сосредоточенные стоки с промышленных территорий – Cu, B, Li, Mo и Sr. Для большинства показателей основные закономерности продольного изменения концентраций слабо изменяются внутри года, однако специфика малого городского водотока проявляется в кратковременных многократных увеличениях концентраций загрязняющих веществ на локальных участках реки, связанных с метеорологическими

условиями и режимом функционирования предприятий, что обуславливает необходимость более подробного экологического мониторинга и проведения исследований, посвященных обобщению данных о конкретных источниках загрязнения воды в пределах водосбора.

*Работы по определению концентраций загрязняющих веществ и идентификации источников загрязнения выполнялись при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта 19-77-30004. Анализ закономерностей сезонной изменчивости гидрохимических характеристик проводился при финансовой поддержке РФФИ и Государственного фонда естественных наук Китая в рамках научного проекта РФФИ 21-55-53039 ГФЕН-а.*

### **Библиографический список**

1. Горюнова С.В. Влияние антропогенного воздействия на экологическое состояние малой городской реки // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия Естественные науки. 2010. №. 2. С. 57–64.

2. Маркин И.М. Экологическое состояние качества воды реки Сетунь // Наука и образование сегодня. 2016. №. 6 (7).

3. Приказ Минсельхоза РФ от 13 декабря 2016 года № 552 (с изменениями на 10 марта 2020 года) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

4. Dassenakis M. et al. Effects of multiple source pollution on a small Mediterranean river // Applied Geochemistry. 1998. Vol. 13(2). P. 197-211.

5. Meybeck M., Helmer R. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution // Global and Planetary Change. 1989. Vol. 1(4). P. 283-309. DOI: 10.1016/0921-8181(89)90007-6.

6. Meyer A. M. et al. Real-time monitoring of water quality to identify pollution pathways in small and middle scale rivers // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 651. P. 2323-2333. DOI: 10.1016/j.scitotenv. 2018.10.069.

7. Puczek K., Jekatierynczuk-Rudczyk E. Extreme hydro-meteorological events influence to water quality of small rivers in urban area: A case study in Northeast Poland // Scientific Reports. 2020. Vol. 10(1). P. 1-14. DOI: 10.1038/s41598-020-67190-4.

8. Zhang S., Xin X. Pollutant source identification model for water pollution incidents in small straight rivers based on genetic algorithm // Applied Water Science. 2017. Vol. 7. P. 1955-1963. DOI: 10.1007/s13201-015-0374-z

9. Zhang X., Wu Y., Gu B. Urban rivers as hotspots of regional nitrogen pollution // Environmental Pollution. 2015. Vol. 205. P. 139-144. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.05.031.

М.А. Хрусталева, С.В. Суслов, Л.И. Бойценюк, В.С. Груздев ,  
[sus2014.sus@yandex.ru](mailto:sus2014.sus@yandex.ru)

*Государственный университет по землеустройству, г. Москва, Россия*

## **ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ЛАНДШАФТОВ ВОДОСБОРА НА КАЧЕСТВО ВОД**

Рассмотрено влияние антропогенных факторов водосбора на качество вод питьевых источников водоснабжения. Миграция химических элементов в компонентах ландшафтов, отражающая направление геохимического потока вещества, играет существенную роль в динамике и функционировании компонентов ландшафтов.

Важная роль в миграции элементов принадлежит наиболее подвижной фазе вещества – поверхностным водам. Их химический состав формируется на поверхности почвы, а в лесных ландшафтах – еще и в лесной подстилке. При проведении полевых и экспериментальных исследований компонентов ландшафтов на водосборе тщательно изучали пути миграции элементов в водах, их аккумуляцию на биогеохимических барьерах с выявлением источников загрязнения, учетом степени антропогенного воздействия и экологической оценкой их качественного состояния. Для улучшения экологии водных объектов важно разрабатывать и внедрять новые инновации для продления жизни людей.

*Ключевые слова:* гидрогеохимия ландшафтов, миграция, аккумуляция химических элементов, проблема качества вод, загрязнение, экология, охрана.

M.A. Khrustaleva, S.V. Suslov, L.I. Boytsenyuk, V.S. Gruzdev  
*State University for Land Management, Moscow, Russia*

## **INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS OF LANDSCAPES DRAINAGE FOR WATER QUALITY**

The article examines the influence of anthropogenic factors of the catchment area on the water quality of drinking water supply sources. The migration of chemical elements in landscape components, reflecting the direction of the geochemical flow of matter, plays an essential role in the dynamics and functioning of landscape components.

An important role in the migration of elements belongs to the most mobile phase of matter - surface waters. Their chemical composition is formed on the soil surface, and in forest landscapes - also in the forest floor. When conducting field and experimental studies of landscape components in the catchment, we carefully studied the migration paths of elements in waters, their accumulation on biogeochemical barriers with the identification of pollution sources, taking into account the degree of anthropogenic impact and environmental assessment of their qualitative state. To improve the ecology of water bodies, it is important to develop and introduce new innovations to prolong human life.

*Keywords:* hydrogeochemistry of landscapes, migration, accumulation of chemical elements, water quality problem, pollution, ecology, protection.

### ***Введение***

Изучение влияния антропогенных факторов на компоненты ландшафтов водосборов проводилось в центральных районах Московского региона, расположенных в пределах Смоленско-Московской возвышенности подзоны

хвойно-широколиственных лесов с дерново-подзолистыми почвами [1]. На качество вод оказывает влияние литогенная основа, представленная породами карбона. Изучение влияния на качество вод антропогенных факторов в период бурного развития научно-технического прогресса весьма актуально.

### ***Материалы и методы исследования***

Изучение влияния антропогенных факторов ландшафтов проводилось методом ландшафтно-геохимического профилирования по катенам с отбором проб компонентов ландшафтов с акцентом на водах. Отбор проб вод вели по профилям акватории аквальных ландшафтов батометрами Рутнера и Молчанова с последующим гидрогеохимическим анализом [2].

### ***Анализ результатов***

Воды — один из главных компонентов ландшафтов, в которых происходит активная миграция химических элементов в латеральном и радиальном направлении, связывающая между собой сопряженные ландшафты обменом вещества и энергии.

На формирование химического состава вод в весенний период, наряду с климатическими факторами, оказывают влияние литогенная основа; почвы, внесение удобрений без соблюдения норм и правил, растительность, многогранная антропогенная деятельность человека и др.

Состав вод зависит от литогенной основы, являющейся источником поступления кальция в воды, поставщиком которого служат известняки, доломиты, известковистый цемент пород карбона, растворение которых происходит по следующему уравнению:  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ .

Состав поверхностных вод ландшафтов в весенний период, аналогичен таковому снега, имеет кислую и нейтральную реакцию среды с минерализацией 30-340 мг/л. В настоящее время природные воды подвергаются постоянному воздействию, обусловленному антропогенной деятельностью.

Существует тесная связь аквальных ландшафтов с ландшафтами водосбора, которые представляют собой единую природно-антропогенную систему. Установлено влияние аквального ландшафта на таковые водосбора, что обусловлено подтоплением, затоплением почв, изменением микроклимата, а ландшафты водосбора, в свою очередь, влияют на аквальные, особенно на объем и качество их вод.

В последние десятилетия в связи с изменением экономической модели в стране, происходит существенное изменение характера хозяйственной деятельности, что в свою очередь меняет и добавляет источники загрязнения вод и других компонентов. В Советский период в регионе Верхневолжья, в Московской и Тверской областях развивалось сельское хозяйство, для которого было типично сезонное поступление биогенных загрязнителей, связанное с внесением и выносом удобрений при обработке почвы, а также смыва отходов от животноводческих комплексов в связи с отсутствием герметичности навозохранилищ, особенно, в весенний период и различных стоков с водосбора [3].

В настоящее время наибольшее значение начинает играть малоэтажная застройка на водосборе и непосредственно в водоохранных зонах аквальных ландшафтов.

Источниками загрязнения поверхностных вод в настоящее время являются различные стоки. Следует отметить, что в водах аквальных ландшафтов наряду с естественными биоценозами происходит высвобождение биогенных элементов в процессе переработки сапрофитами отмершей органики, как, например, листовного опада. Пик высвобождения их совпадает с теплым периодом года, поскольку биологическая активность сапрофитов зависит от температуры. В естественных биоценозах с ненарушенным растительным покровом биогенные элементы ассимилируются практически на месте и не мигрируют в водоемы. Так как бассейн верхней Волги изобилует обширными болотами, то вода отличается (особенно весной) высокой цветностью, своеобразным вкусом и запахом.

Ландшафты водосборных бассейнов оказывают наибольшее влияние на качество вод аквальных объектов Москворецкой и Волжской водохозяйственных систем – Учинского, Можайского и других водохранилищ в которых в период половодья и частично во время дождевых паводков, возрастает поступление элементов с водами поверхностного стока из ландшафтов водосбора. Отметим, что в Учинское водохранилище, кроме Волжской воды, поступает вода соединенного с ним Пестовского водохранилища. Воды последнего значительно больше загрязнены, чему способствует сильная антропогенная нарушенность водоохранной зоны Пестовского и других водохранилищ.

Процессы загрязнения вод аквальных ландшафтов Москворецкой и Волжской водохозяйственных систем зависят от многих факторов: подтопления, затопления, внесения азотных, фосфорных калийных удобрений, извести; характера внутриводоемных процессов (донных отложений, планктона, бентоса). Там, где преобладают песчаные и супесчаные отложения происходит самоочищение вод. Наличие в водоохранной зоне слабонарушенных лесов, развитых на легкосуглинистых почвах, подстилаемых песками, также благотворно сказывается на качестве вод. В лесах имеется мощная рыхлая лесная подстилка (5-10 см), обладающая высокой водопоглотительной способностью, поэтому в процессе снеготаяния и во время дождей большая часть воды фильтруется через нее, способствуя улучшению ее качества.

Миграция химических элементов в компонентах шести изученных видах ландшафтов отражает направление геохимического потока вещества, играет существенную роль в их динамике и функционировании. Воды атмосферных осадков являются одним из наиболее эффективных факторов самоочищения атмосферы. Снег является своеобразным концентратом химических элементов. По данным химических анализов, проведенных М.А. Хрустальной, воды из снега имеют гидрокарбонатно-хлоридно- и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевый состав с рН 4,3 (ландшафты лесных катен) – 7,3 (антропогенные ландшафты) и минерализацией 7-91 мг/л [4].

Источником поступления кальция в воды являются известняки, доломиты, мергели, известковистый цемент пород карбона, растворение которых

происходит по следующему уравнению:  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ .

Своеобразными фильтрами и отстойниками в улучшении качества вод перед пуском в столицу служат водохранилища: Учинское и др. Хорошее качество питьевой воды на станциях водоподготовки достигается в связи с использованием современной мембранной технологии. Для улучшения качества вод хлор заменили гипохлоридом натрия. Воды изученных ландшафтов имеют благоприятный химический состав и их качество вполне соответствует нормам ПДК, ГОСТу 2.1.4.559-96 [5] и они вполне пригодны для питьевых целей. А для очистки сточных вод с 2012 года применяют систему ультрафиолетового обезвреживания (УФО).

### **Выводы**

Для ограничения влияния антропогенных факторов водосбора на экологическое состояние ландшафтов в целом и особенно на качество вод рекомендуется проводить: залужение прибрежных ландшафтов, посадки лесонасаждений, создавать биогеохимические барьеры на пути стока вод весеннего половодья, стекающих с удобренных полей, ограничить дачное и коттеджное строительство, уменьшить рекреационную нагрузку на пляжи ландшафтов водоохранных зон, прекратить уничтожение лесов в водоохранных зонах.

### **Библиографический список**

1. Анненская Г.Н., Жучкова В.К., Калинина В.Р., Мамай И.И., Низовцев В.А., Хрусталева М.А., Цесельчук Ю.Н. Ландшафты Московской области и их современное состояние. Смоленск: Издательство СГУ, 1997. 296 с.
2. Хрусталева М.А. Аналитические методы исследований в ландшафтоведении. М., Техполиграфцентр, 2003. 88 с.
3. Хрусталёва М.А. Водопользование и экология. Предупредить и защитить. Вода Magazine – ООО М: Типография Мосполиграф, 2012. № 9. С. 56-60.
4. Хрусталева М.А. Экобиогеохимия ландшафтов. Издательство LAPLAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken Deutschland / Германия. 2015. 352 с.
5. Санитарные правила и гигиенические нормы 2.1.4. 1074-01. Санитарные правила к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. правила и нормы. Питьевая вода. Гигиенические требования. Контроль качества. М.: Минздрав России, 2002. 101 с.

Е.А. Чекмарева, И.Л. Григорьева, [e\\_al\\_cheva@iwp.ru](mailto:e_al_cheva@iwp.ru)

*Институт водных проблем РАН, Ивановская НИС, г. Конаково, Россия*

## **АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ МАЛЫХ ПРИТОКОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Обобщены данные по содержанию тяжелых металлов (железо общее, марганец, медь, цинк, свинец, хром) в воде малых притоков Ивановского водохранилища за период наблюдений с 2009 по 2020 г. Определены диапазоны концентраций, проведено сравнение наблюдаемых концентраций с ПДК<sub>рыб.</sub> и средними концентрациями элементов в воде водохранилища, проанализирована разница значений на «входе» и «выходе» изученных водотоков. Установлены источники поступления тяжелых металлов в воду малых притоков.

*Ключевые слова:* малые притоки, Ивановское водохранилище, качество воды, тяжелые металлы.

E.A. Chekmareva, I.L. Grigoryeva, [e\\_al\\_cheva@iwp.ru](mailto:e_al_cheva@iwp.ru)

*Water Problems Institute of RAS, Ivankovo Research Station, Konakovo, Russia*

## **ANALYSIS OF THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS IN THE WATER OF SMALL RIVERS OF THE IVANKOVO RESERVOIR**

The data on the content of heavy metals (total iron, manganese, copper, zinc, lead, chromium) in the water of small rivers of the Ivankovo reservoir for the period from 2009 to 2020 are summarized. The concentration ranges were determined, we compared the concentrations with the MPC and with the average concentrations of elements in the reservoir water, and analyzed the difference in the numbers at the "entrance" and "exit" of watercourses. We identified sources of heavy metals in the water of small rivers.

*Keywords:* small rivers, Ivankovo reservoir, water quality, heavy metals.

### ***Введение***

Иваньковское водохранилище – первая ступень Волжско-Камского каскада водохранилищ. Его полезный объем составляет 813 млн м<sup>3</sup> воды, расходуемой, в основном, на водоснабжение г. Москва.

В водном балансе Ивановского водохранилища на долю малых притоков приходится около 4% [1]. В среднем и нижнем течении правобережные притоки (рр. Дойбица, Донховка, Инюха, Полозовка, Сучок, Тропка) расположены в зонах городской и сельской застройки, вблизи сельскохозяйственных полей, на этих участках рек качество воды значительно ухудшается, по сравнению с истоком.

Малые реки служат индикаторами экологического неблагополучия водосборной территории более крупного водоема, в частности Ивановского водохранилища, и могут оказывать влияние на качество его вод, особенно в устьевых участках [2].

Исследовательская работа направлена на анализ содержания железа общего, марганца, меди, цинка, хрома и свинца в водах малых притоков и оценку их влияния на качество воды в Ивановском водохранилище.

### **Материалы и методы исследования**

Малые притоки Иваньковского водохранилища рр. Дойбица, Донховка, Инюха, Полозовка, Сучок, Тропка (правобережные) и рр. Орша и Созь (левобережные) регулярно исследовали сотрудники ИвНИС ИВП РАН в течение последних 11-ти лет (с 2009 по 2020 г.). Был организован ежесезонный отбор проб воды из поверхностного горизонта согласно ГОСТ [3]. Химический анализ проб воды проводили в химической лаборатории Иваньковской НИС ИВП РАН (аттестат аккредитации RA.RU.21АН96 от 28.10.2016) в соответствии с аттестованными методиками. Определение концентрации железа общего и марганца в воде было выполнено фотометрическим методом (спектрофотометр В-1100) [4-5], концентрации меди, свинца, цинка и хрома определяли на атомно-абсорбционном спектрометре AA-6800F Shimadzu [6].

### **Анализ результатов**

Диапазоны концентраций тяжелых металлов в воде малых рек за период наблюдений (с 2009 по 2020 г.) приведены в таблице. Годы наблюдений отличались различной водностью. Среднегодовое количество осадков в обозначенный период изменялось от 451 мм (2014 г.) до 925 мм (2012 г.) при среднем количестве осадков за 75-летний период (1944-2019 г.) равном 626 мм по данным наблюдений на метеостанции г. Тверь.

### **Диапазоны концентраций (min-max) тяжелых металлов в различные годы (период с 2009 по 2020) в воде притоков Иваньковского водохранилища [собственные данные; 2; 7]**

№ п/п	Название водотока	Cu	Zn	Pb	Cr	Fe <sub>общ.</sub>	Mn
		мг/дм <sup>3</sup>					
1.	р. Дойбица	0.0001- 0.0541	0.0011- 0.3894	0.0039- 0.0543	0.0009- 0.0196	0.03- 1.93	0.01-0.36
2.	р. Донховка	0.0024- 1.3226	0.0054- 0.3712	0.0010- 0.3308	0.0007- 0.0505	0.05- 2.60	0.01- 1.40
3.	р. Инюха	0.0020- 0.0155	0.0238- 0.0410	0.0071- 0.1980	0.0009- 0.0082	0.10- 1.09	0.001- 1.48
4.	р. Полозовка	0.0028- 0.0161	0.0185- 0.0388	0.0046- 0.0129	0.0002- 0.0058	0.04- 0.28	0.004- 0.20
5.	р. Сучок	0.0018- 0.0251	0.0085- 0.3211	0.0-0.0223	0.0004- 0.0131	0.03-3.40	0.01-5.3
6.	р. Тропка	0.0017- 0.0229	0.0073- 0.0553	0-0.0172	0.0016- 0.0113	0.12- 1.27	0.001- 2.7
7.	р. Орша	0.0001- 0.0032	0.0130- 0.0787	0.0013- 0.0197	0.0005- 0.0016	0.08- 1.76	0.006- 0.83
8.	р. Созь	0.0020- 0.0029	0.0136- 0.0144	0.0073	0.0013- 0.0034	0.07- 1.10	0.001- 0.55
9.	Иваньковское водохранилище, г. Конаково [2]	0-0.0270/ 0.0070*	0.0001- 0.1999/ 0.0259*	0-0.0289/ 0.0080*	0- 0.0242/ 0.0035*	0.03- 0.64/ 0.18*	0- 0.27/ 0.07*
ПДК <sub>рыб.</sub> [7]		0.001	0.01	0.006	0.02	0.1	0.01

\*средняя концентрация



Анализ данных химического анализа проб воды, отобранных в малых притоках, показал, что максимальные концентрации элементов превышают ПДК<sub>рыб.</sub> по меди (до 1323 ПДК), марганцу (до 530 ПДК), свинцу (до 55 ПДК), цинку (до 39 ПДК), железу общему (до 34 ПДК) и хрому (до 2,5 ПДК в р. Донховка). Максимальные концентрации элементов в воде малых притоков также превышали средние концентрации в воде водохранилища (г. Конаково): в 187 раз для меди, в 76 раз для марганца, в 41 раз для свинца, в 19 раз для железа общего, в 15 раз для цинка, в 14 раз для хрома.

В период таяния снега отмечены высокие концентрации цинка, меди и свинца в воде на участках рек в пределах городской застройки. В периоды межени в верхнем и среднем течении рек с высоким процентом заболоченности водосборной территории отмечено повышение содержания в воде железа общего и марганца.

Среднесезонные концентрации железа общего и марганца в воде притоков Иваньковского водохранилища в сравнении с ПДК<sub>рыб.</sub> [7] и количество осадков по годам за весенний период представлены на рис. 1 и 2. Концентрации железа и марганца увеличиваются в зависимости от водности сезона.

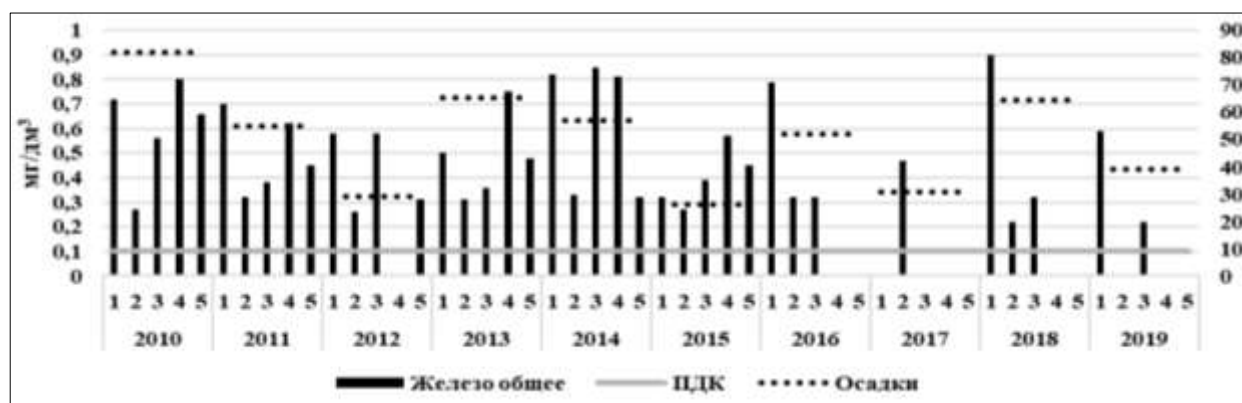


Рис. 1. Среднесезонные концентрации железа общего (мг/дм<sup>3</sup>) в воде рек Дойбица (1), Донховка (2), Сучок (3), Орша (4), Созь (5) и количество осадков (мм), весна 2010-2019 гг.

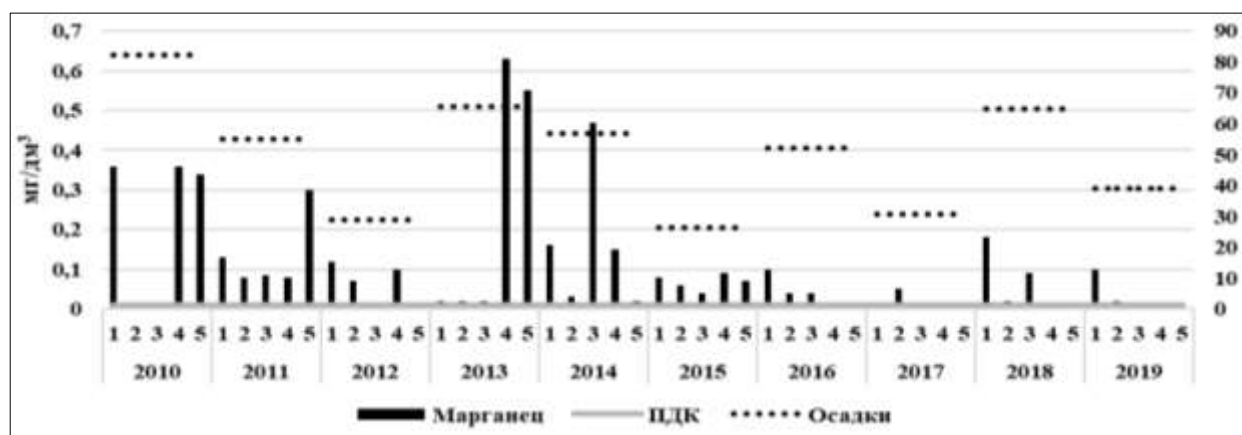


Рис. 2. Среднесезонные концентрации марганца (мг/дм<sup>3</sup>) в воде рек Дойбица (1), Донховка (2), Сучок (3), Орша (4), Созь (5) и количество осадков (мм), весна 2010-2019 гг.

Максимальные концентрации железа общего и марганца отмечены летом маловодного 2014 г. в воде р. Сучок (до 5,3 мг/дм<sup>3</sup> Mn и до 3 мг/дм<sup>3</sup> Fe<sub>общ.</sub>), в р. Донховка (до 2,6 мг/дм<sup>3</sup> Fe<sub>общ.</sub>), в р. Тропка (до 2,7 мг/дм<sup>3</sup> Mn).

Анализируя разности концентраций элементов (рис. 3) в разных створах наблюдений, можно выделить участки, где элементы попадают в водоток, а где происходит разбавление.

Например, по разности концентрации марганца на участке между точкой наблюдения наиболее близкой к истоку («вход») и точкой наблюдения наиболее близкой к устью («выход») можно понять, что к устьевому участку происходит накопление марганца в период половодья и летних паводков. Это связано со смывом с поверхности водосбора, в основном, на участке Кочедыково (16,8 км) – Мокшино (20,9 км). В меженный период концентрация марганца к подпорному участку падает, происходит разбавление концентрации элемента водами водохранилища.

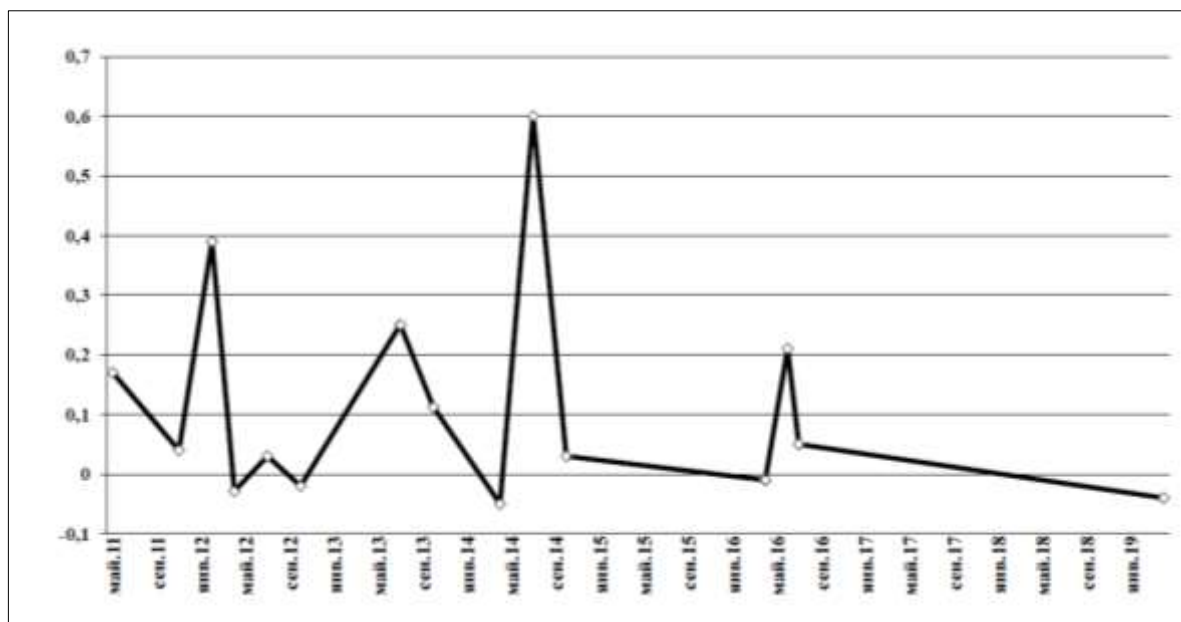


Рис. 3. Разность концентраций марганца между «входом» (д. Головкино, 6,8 км от истока) и «выходом» (д. Мокшино, 20,9 км от истока), р. Дойбица

### **Выводы**

Основным источником поступления тяжелых металлов в притоки Иваньковского водохранилища является попадание их с водосборной площади при смыве с селитебных территорий и сельскохозяйственных полей. Железо и марганец поступают в водотоки с заболоченных территорий водосбора.

Анализ гидрохимической информации представляет собой сложную задачу, в которой предпочтительно оперировать данными как о качестве воды в реках, так и о количестве осадков.

Малые реки вносят свой вклад в формирование качества воды Иваньковского водохранилища. Концентрации тяжелых металлов, в разы превышающие ПДК<sub>рыб.</sub> и содержание в водах Иваньковского водохранилища, могут формировать локальные участки загрязнения в устьевых зонах.

### **Библиографический список**

1. Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В. Геоэкология Иваньковского водохранилища и его водосбора. Конаково, 2000, 248 с.
2. Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарева Е.А. Современное состояние, источники загрязнения и возможные пути реабилитации Иваньковского водохранилища и его притоков // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Москва: Студия Ф1, 2019. С.332-336.
3. ГОСТ 3161-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб», М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.
4. ГОСТ 4011-72. Методы измерения массовой концентрации общего железа. М.: ФГУП «Стандартинформ, 2010. 8 с.
5. ПНД Ф 14.1:2.103-97. Методика выполнения измерений массовой концентрации марганца. Москва, 1997. 17 с.
6. ПНД Ф 14.1:2.4.139-98. Методика измерений массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа, серебра, кадмия и свинца. Москва, 1998. 24 с.
7. Приказ Минсельхоза от 13.12.2016 №552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.02.2021).

УДК 551.510.41, 556.5

А.В. Чередниченко<sup>1</sup>, В.С. Чередниченко<sup>2</sup>, Ал.В. Чередниченко<sup>2</sup>,  
А.С. Нысанбаева<sup>2</sup>, А.С. Мадиеков<sup>3</sup>, А.Р. Жумалипов<sup>3</sup>,

[geliograf@mail.ru](mailto:geliograf@mail.ru)

<sup>1</sup>Университет «Туран», <sup>2</sup>КазНУ им. аль-Фараби,

<sup>3</sup>АО «Институт Географии РК», г. Алматы, Республика Казахстан

### **АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ**

Рассмотрены аэросиноптические условия и особенности общей циркуляции атмосферы, определяющие уровень загрязнения снега при его выпадении, а также условия сухого выпадения и накопления загрязняющих веществ в снежном покрове. Установлены и

изучены условия экстремальных концентраций загрязняющих веществ в выпадающем снеге и снежном покрове.

*Ключевые слова:* снежный покров, загрязняющие вещества, аэросиноптические условия, крупномасштабные процессы.

A.V. Cherednichenko<sup>1</sup>, V.S. Cherednichenko<sup>2</sup>, Al.V. Cherednichenko<sup>2</sup>,  
A.S. Nyssanbayeva<sup>2</sup>, A.S. Madibekov<sup>3</sup>, A.R. Zhumalipov<sup>3</sup>

[geliograf@mail.ru](mailto:geliograf@mail.ru)

<sup>1</sup>Turan University, <sup>2</sup>Kazakh National University, <sup>3</sup>JSC Institute of Geography  
of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of Kazakhstan

## **AEROSYNOPTICAL CONDITIONS OF EXTREMELY HIGH CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS IN THE SNOW COVER**

Aerosynoptical conditions and features of the General circulation of the atmosphere, determining the level of pollution of snow at its loss, as well as the conditions of dry deposition and accumulation of pollutants in the snow cover are considered. The conditions of extreme concentrations of pollutants in snow and snow cover have been established and studied.

*Keywords:* snow cover, pollutants, aerosynoptical conditions, large-scale processes.

### ***Введение***

В отличие от жидких осадков загрязняющие вещества (ЗВ) в снежном покрове (СП) накапливаются не только во время выпадения снега, но и в течение всего периода залегания СП, поэтому содержание ЗВ в СП является интегральной характеристикой содержания ЗВ в атмосфере и выпавших на снег за весь период, пока сохранялся снежный покров.

В связи с этим и анализ аэросиноптических условий должен отличаться от анализа условий, когда мы оцениваем накопление ЗВ в жидких осадках. Для такого анализа были использованы сборно-кинематические карты, отражающие макропроцессы на изучаемой территории, за период залегания СП.

Анализ распределения ЗВ по станциям, а также в зависимости от аэросиноптических условий показывает, что максимальные концентрации ЗВ в снежном покрове наблюдаются не одновременно в восточной и западной частях исследуемой территории Республики.

### ***Методология***

В данном исследовании были использованы данные наблюдений за загрязнением снежного покрова на 48 станциях гидрометеорологической службы Казахстана за пятилетний период. Отбор и анализ проб выполнялись в соответствии с единой методикой отбора проб [3].

### ***Результаты и обсуждение***

Мы попытались выполнить анализ аэросиноптических условий, при которых имеют место высокие концентрации ЗВ в осадках во взаимосвязи с концентрациями ЗВ в воздушном бассейне городов. Трудность анализа заключается в том, что приземные концентрации ЗВ определяются регулярно, а данные о ЗВ в осадках носят усреднённый характер по всем осадкам за месяц. Однако данная ситуация разрешима. Проанализированные нами случаи

типичны, при которых имели место осадки в выбранные нами срединные месяцы сезонов года, а потому содержат прогностическую составляющую.

На примере Темиртау, а также Актюбинска (Западный Казахстан) были рассмотрены метеорологические условия, при которых имели место экстремально высокие концентрации ЗВ в осадках и в снежном покрове.

Роль метеорологических условий в формировании уровня приземных концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) известна. При неизменных величинах выбросов в зависимости от метеоусловий приземные концентрации могут изменяться в два и более раз [2].

Сильные ветры независимо от других метеорологических условий могут привести к снижению концентрации ЗВ практически до фонового режима. Штили в сочетании с приземными инверсиями и низкими температурами воздуха могут наоборот увеличить приземные концентрации по сравнению с нормой в несколько раз. Соответственно, если осадки выпадают после периода штилевой погоды, то содержание ЗВ в них оказывается достаточно высоким. Поэтому нами уделено большое внимание метеорологическим (аэросиноптическим) условиям, при которых имели место экстремальные, в первую очередь экстремально высокие концентрации ЗВ, поскольку именно высокие концентрации опасны для здоровья человека [2;3].

*Случай выпадения осадков 10 января 2010 г.* Начиная со второй половины суток 9 января, в воздушном бассейне г. Темиртау отмечались высокие концентрации основных загрязняющих веществ. Так, концентрации взвешенных веществ на постах №3 и №4 9 и 10 января находились в пределах 2 ПДК, а на посту №5 – даже 4 ПДК в разные сроки, концентрации фенола достигли в это время 8 ПДК, а аммиака - 3 ПДК, а на посту №3 – 7 ПДК. На посту №5 концентрации фенола превышали 15 ПДК.

9 января Темиртау находился на юго-восточной периферии антициклона с центром юго-западнее Новосибирска. Давление в центре антициклона составляло 1052,6 мбар, а в Темиртау около 1046 мбар. Синоптическое положение в общих чертах объясняет, почему у земли имел место слабые ветры переменных неустойчивых направлений, преимущественно восточных румбов. Рассмотрим далее ситуацию за 10 января 2010 г. Согласно карте АТ-500 за 00 ч. 10 января над первым естественным синоптическим районом имел место зональный макропроцесс типа Ш-1 по Байдалу [1].

Такой процесс считается зимним. При нем траектории перемещения циклонов смещаются далеко к северу к полярному кругу. В данном случае над севером Европейской части России на уровне АТ-500 имел место высотный циклон с центром в районе Перми. Участок ПВФЗ, огибающий данный циклон, из района Скандинавии почти меридионально опускался до центральных районов России, после чего приобретал широтное направление. Второй высотный циклон имел место над югом Восточной Сибири с центром на юге Байкала. Ложбина от этого циклона была ориентирована к юго-западу и в результате восточные районы и почти весь центр и юг Казахстана находились под влиянием этой ложбины. Только из центральных районов Каспия на Арал и далее к северо-востоку был ориентирован небольшой гребень.

Температура у земли составляла минус 23,6 °С, ветры слабые т.к. Темиртау находится практически на оси гребня, несколько северо-западнее его оси. По западной периферии антициклона проходили два фронта. Один по типу теплового, который выражен в осадках, и поле ветра только северо-западнее в районе Омска и Екатеринбурга. Ещё один остаточный фронт, слабо выраженный в поле метеорологических параметров, проходит северо-восточнее. Именно с прохождением основного фронта мы ожидали выпадения осадков.

Таким образом, 9, 10 января район Темиртау находился на периферии барического образования – Сибирского антициклона – в его гребне, ориентированном к западу – юго-западу. Антициклон в эти дни находился в стадии слабого усиления. Такие условия способствовали накоплению ЗВ в районе их выбросов, т.е. в районе г. Темиртау, а также высокой их концентрации в выпавших осадках в виде снега.

*Аэросиноптические условия экстремально высоких концентраций в снежном покрове Восточной части территории.* Для анализа были построены сборно-кинематические карты за зимний период 2008-2009 гг. Для анализа аэросиноптических условий был использован период с 1.11.08 по 28.02.2009 г. Результаты анализа представлены в таблице. Концентрации ЗВ в восточной части территории были выше нормы.

#### Анализ аэросиноптических условий

№	Типы циркуляции	Число дней	Число случаев	Характеристика
1.	W	52	11	Условия для рассеивания примесей над Северной частью территории Казахстана благоприятные, а над центральными и южными неблагоприятные
2.	C	58	11	Над районами Западного Казахстана способствует рассеиванию примесей и неблагоприятные условия в Восточной части Казахстана
3.	E	16	3	Условия для рассеивания примесей над Восточной частью Казахстана благоприятные

Из приведенных данных можно видеть, что из преобладающих типов, являются типы W и C. При зональном процессе имеет место антициклонегенез, который в Восточной части Казахстана поддерживается влиянием Сибирского антициклона. Как известно, большую часть холодного периода, гребень этого антициклона ориентирован вдоль широт 48-50 °С с небольшими колебаниями. Поэтому имеющий место зональный перенос и циклогенез наблюдаются в более высоких широтах за пределами Казахстана севернее широты 60°. Над регионом наблюдалась тихая, ясная погода, способствующая накоплению ЗВ, особенно взвешенных, и постепенному их выпадению на СП. Слабые ветры, которыми

сопровождается антициклогенез, не способствовали активному выносу ЗВ в другие регионы.

Часть ЗВ была вымыта выпадающими осадками из атмосферы, однако основное их количество выпало в ясную погоду уже на поверхность снежного покрова.

*Западный Казахстан.* Как известно, процессы в Западном и Восточном Казахстане находятся в противофазе [1;4], это приводит к разным наблюдаемым погодным условиям в этих частях Казахстана. Поэтому мы можем использовать для этого региона данные той же таблицы, но выводы будут другими.

В анализируемый период концентрации всех ЗВ были ниже нормы. Поэтому аэросиноптические условия зимнего периода 2008-2009 года, мы рассматриваем для западного Казахстана как способствующие формированию более низких концентраций, по большинству изучаемых ЗВ.

### **Заключение**

Из анализа аэросиноптических условий нами получено следующее:

- значительное количество ЗВ, обусловленных выбросами местных источников, выпадает с осадками в этом же регионе;

- при не сильных, но устойчивых по направлению ветрах в течение суток и более происходит перенос ЗВ за пределы района источника выбросов, но рассеяние их слабое. В такой ситуации осадки, обусловленные прохождением фронта, могут вымыть значительное количество ЗВ за пределами района выбросов. Орография может способствовать накоплению выносимых примесей в каком-либо регионе;

- в снежном покрове осадки накапливаются не только во время выпадения снега, но в основном в промежутке между снегопадами. Поэтому для анализа условий накопления ЗВ нами выполнялся анализ макропроцессов над регионом, где измерялось содержание ЗВ в снежном покрове;

- в районе Караганды-Темиртау условиями, способствующими накоплению высокого содержания ЗВ в снежном покрове, являются зимы с преобладанием процессов типа С и W и низкой повторяемостью процессов типа Е. Для Западного Казахстана эти же условия благоприятны для формирования низких концентраций ЗВ в снежном покрове и в атмосфере.

### **Библиографический список**

1. Байдал М.Х. Долгосрочные прогнозы и колебания климата Казахстана. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 156 с
2. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнение атмосферы. Л.: Гидрометеиздат. 1975. 263 с.
3. РД 52.04.186-89 // Методические указания по определению химического состава осадков. М., 1991. 90 с.
4. Бугаев В.А., Джорджио В.А. и др. Синоптические процессы Средней Азии. Ташкент: изд. АН Узбекской ССР. 1957. 447 с.



Г.М. Чуйко, [gchuiko@ibiw.ru](mailto:gchuiko@ibiw.ru)

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия*

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЙОНОВ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ СОЗ (ПХБ, ДДТ, ГХЦГ) ИЗ ОРГАНИЗОВАННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СТОКОВ И РАССЕЯННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Представлен методологический подход, позволяющий устанавливать пути поступления СОЗ (ПХБ, ДДТ, ГХЦГ) в водные объекты: из локальных источников или с атмосферными осадками. Предлагаемый подход основан на определении суммарного содержания каждой группы СОЗ и их отдельных компонентов в верхнем слое (0-5 см) илистых донных отложений, а также характере их пространственного распределения в водном объекте.

*Ключевые слова:* СОЗ, пути поступления, донные отложения, водные объекты, методологический подход.

G.M. Chuiko, [gchuiko@ibiw.ru](mailto:gchuiko@ibiw.ru)

*I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia*

## **METHODOLOGICAL APPROACH FOR DETERMINING AREAS OF WATER BODIES CONTAMINATED WITH POPS (PCBS, DDT, HCH) FROM ORGANIZED LOCAL RUNOFF AND DIFFUSE SOURCES**

A methodological approach is presented to determine the routes of POP (PCBs, DDT, HCH) entering water bodies: from local sources or with atmospheric precipitation. The proposed approach is based on the determination of the total content of each group of POP and their individual components in the upper layer (5 cm) of silty bottom sediments, as well as the nature of their spatial distribution in the water body.

*Keywords:* POPS, routes of entry, bottom sediments, water bodies, methodological approach.

### **Введение**

Группа стойких органических загрязняющих соединений (СОЗ) относится к особо опасным экотоксикантам. Среди них выделяются полихлорированные бифенилы (ПХБ), дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты, гексахлорциклогексан (ГХЦГ) и его изомеры, которые наиболее широко распространены в окружающей среде во всем мире, включая Россию [2-4]. Несмотря на то, что в большинстве индустриально развитых стран производство и использование СОЗ в настоящее время запрещено, они продолжают поступать и циркулировать в окружающей среде на глобальном уровне. Причиной этого служит большой запас оборудования, материалов и непосредственно самих СОЗ, которые были выведены из использования, но не утилизированы, а продолжают храниться, зачастую без соблюдения необходимых условий техники безопасности, что не исключает их попадания во внешнюю среду. В ряде стран (Китай, Индия, страны Латинской Америки и Африки) они до сих пор



используются. Все это делает поступление СОЗ во внешнюю среду и включение в глобальный атмосферный перенос актуальным.

Одна из современных задач, связанных со снижением уровня опасности СОЗ для окружающей среды и человека – мониторинг их пространственного распределения, установление путей поступления и выявление локальных источников загрязнения ими водных объектов с целью дальнейшего его прекращения. Для её решения необходимо разделять свежее загрязнение из локальных точечных источников и рассеянное, длительно циркулирующее в окружающей среде и выпадающее с атмосферными осадками с последующим терригенным склоновым стоком. При этом в качестве объекта мониторинга целесообразно использовать донные отложения (ДО) как наиболее консервативный элемент водных экосистем и место первичной аккумуляции СОЗ. Кроме того, в России нормативы содержания СОЗ в ДО отсутствуют. Для разработки нормативов и организации экологического мониторинга необходимо классифицировать СОЗ по источникам поступления.

Цель исследования – разработать и апробировать методологический подход разделения загрязнения водных объектов СОЗ, поступающих из локальных точечных и рассеянных источников, по их содержанию и качественному составу в ДО.

#### ***Материалы и методы исследования***

Исследование проводилось в 2006-2018 гг. на водных объектах четырех морфо-гидрологических типов: крупные проточные водохранилища, крупные озера, мелкие болотные озера и эстуарные участки рек (табл.1).

Таблица 1

#### **Характеристика исследованных водных объектов**

<i>Водный объект</i>	<i>Тип</i>	<i>Географическое местоположение</i>	<i>Кол-во станций</i>
Рыбинское водохранилище	озерный	Ярославская, Вологодская, Тверская области	32
Горьковское водохранилище	долинно-русловой	Ярославская, Костромская, Ивановская, Нижегородская области	33
Оз. Неро	крупное проточное	Ярославская область	6
Оз. Плещеево	крупное проточное	Ярославская область	2
Оз. Воже	крупное проточное	Вологодская область	5
Оз. Лача	крупное проточное	Архангельская область	5
Оз. Алексеевское	малое болотное	Вологодская область	1
Оз. Кишемское	малое болотное	Вологодская область	1
Оз. Панское,	малое болотное	Вологодская область	1
Оз. Трабилловское	малое болотное	Вологодская область	1
Р. Раздольная	эстуарий	Приморский край	2
Р.Суходол	эстуарий	Приморский край	1
Р.Гладкая	эстуарий	Приморский край	1

Пробы ДО отбирались дночерпателем, как описано ранее [4], с поверхностного горизонта 0-5 см. Такой горизонт выбран, чтобы оценить

текущее на момент отбора проб поступление СОЗ. Станции располагались так, чтобы охватить всю акваторию водного объекта, включая устьевые участки крупных притоков. Для анализа СОЗ использовали навеску илистых ДО из объединенной пробы, полученной в результате 3 заборов на каждой станции. Пески и песчанистые ДО из анализа исключались.

Содержания СОЗ определяли в высушенных на воздухе образцах ДО методом хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения (ХМС ВР) [5] в ИПЭЭ РАН и в НПО "Тайфун". Определялись ДДТ и его метаболиты (ДДЕ, ДДД),  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -изомеры ГХЦГ, а также суммарное содержание гомологических групп конгенов ПХБ (1 – 10-хлорированные). Содержание СОЗ выражали в микрограммах на 1 кг сухой массы ДО (мкг/кг). При анализе источников поступления СОЗ в водные объекты исходили из факта, что каждый из них представляет смеси близких по структуре и химическому составу соединений, высокоустойчивых к действию внешних факторов. При локальном свежем поступлении их состав достаточно долгое время остается близким к исходному, т.к. медленно трансформируется в сторону увеличения содержания продуктов деградации, а пространственное распределение имеет характер постепенно снижающегося градиента суммарного содержания смеси без изменения ее состава. При поступлении с атмосферными осадками, когда исходное вещество достаточно долго циркулировало в окружающей среде и состав смеси подвергся существенной трансформации в сторону увеличения продуктов деградации, пространственное распределение носит рассеянный равномерный характер, а суммарное содержание смеси ниже, чем при локальном поступлении и близко к глобальным фоновым уровням. Для оценки качественного состава ХОП рассчитывали коэффициенты  $K = \text{ДДТ} / (\text{ДДЕ} + \text{ДДД})$  и  $K = \gamma\text{-ГХЦГ} / (\alpha\text{-ГХЦГ} + \beta\text{-ГХЦГ})$ .

### ***Анализ результатов***

В силу своей высокой гидрофобности СОЗ практически отсутствуют в растворенной форме в воде. Попадая в водные объекты, они быстро сорбируются на взвешенных частицах. С ними они оседают на дно, аккумулируясь в ДО в зонах повышенной седиментации. Наибольшей аккумулирующей способностью по отношению к СОЗ обладают илистые ДО с относительно высоким содержанием органического вещества (ОВ)  $\geq 10\%$  [1]. Наиболее точно текущее поступление СОЗ в водный объект (последние 1-3 года), когда они еще не успели подвергнуться трансформации, отражает их количественное содержание и качественный состав в поверхностном горизонте 0-5 см ДО. В более глубоких горизонтах присутствуют СОЗ, поступившие в водный объект значительно раньше. Дальнейшая судьба СОЗ в окружающей среде связана с их захоронением в ДО, с одной стороны, и с миграцией по трофическим сетям, испарением и глобальным атмосферным переносом, с другой. При захоронении в ДО на горизонте свыше 20 см миграция СОЗ по трофическим сетям практически исключена в связи с отсутствием гидробионтов на этих глубинах. На горизонтах свыше 20 см СОЗ, как правило, находятся в анаэробных условиях и медленно подвергаются микробиологическому редуктивному дехлорированию.

Анализ полученных результатов показал, что в последние годы в большинстве случаев СОЗ в исследованные водные объекты поступают с атмосферными осадками (табл.2).

Таблица 2

### Содержание СОЗ в ДО исследованных водных объектах

Водный объект	$\Sigma$ ПХБ		$\Sigma$ ДДТ		$\Sigma$ ГХЦГ	
	С, мкг/кг	Соотношение, %*	С, мкг/кг	К	С, мкг/кг	К
Рыбинское в-ще:						
Шекснинский плес	<b>143-57300</b>	1:16:55:25:3	<b>2.7-27</b>	<0.1	<b>0.2-0.8</b>	<0.1
Центральный плес	<b>370</b>	5:37:44:12:2	<b>0.3-1.3</b>	<0.1	<b>0.2</b>	<0.1
Волжский плес	<b>19-149</b>	15:40:35:10:1	<b>2-5</b>	<0.1	<b>0.4-2.7</b>	0.4-0.8
Моложский плес	<b>3-47</b>	6:46:40: 7:1	<b>0.01-2</b>	<0.1	<b>0.01-0.11</b>	<0.1
Горьковское в-ще:						
Русловый участок	<b>18-56</b>	21:29:32:18:0	<b>2-5</b>	0.01-0.26	<b>1.3-1.9</b>	0.01-0.26
Озерно-русловой	<b>141-286</b>	5:15:48:28:4	<b>1-11</b>	0.17-0.39	<b>2.2-8.4</b>	0.04-0.77
Озерный	<b>18-85</b>	12:24:41:21:2	<b>7-26</b>	0.01-0.25	<b>1.3-7.3</b>	0.21-0.24
Оз. Неро	<b>13-28</b>	18:33:33:15:1	1.8-5.3	0.11-0.18	<b>0.39-1.30</b>	0.28-0.35

Окончание табл.2

Водный объект	$\Sigma$ ПХБ		$\Sigma$ ДДТ		$\Sigma$ ГХЦГ	
	С, мкг/кг	Соотношение, %*	С, мкг/кг	К	С, мкг/кг	К
Оз. Плещеево	<b>27</b>	8:33:44:12:3	<b>4</b>	0.03	<b>9.7</b>	0.04
Оз. Воже	<b>4-9</b>	4:42:38:15:1	<b>0.24-0.70</b>	0.5-0.9	<b>0.17-0.39</b>	0.7-1.9
Оз. Лача	<b>18-21</b>	4:39:39:17:1	<b>0.17-1.64</b>	0.1-1.2	<b>0.26-0.42</b>	1.0-1.5
Оз. Алексеевское	<b>158</b>	7:33:48:11:1	<b>7.0</b>	0.8	<b>5.8</b>	0.4
Оз. Кишемское	<b>363</b>	9:31:47:11:2	<b>11.2</b>	1.2	<b>10.6</b>	0.46
Оз. Панское,	<b>250</b>	15:27:34:14:1 0	<b>5.6</b>	4.0	<b>7.5</b>	0.74
Оз. Трабиловское	<b>168</b>	8:25:41:20:6	<b>5.1</b>	0.4	<b>9.1</b>	0.37
Р. Раздольная	<b>17-33</b>	7:36:46:10:1	<b>40.5-44.7</b>	2.8-3.3	<b>2.0-2.2</b>	2.2-2.6
Р.Суходол	<b>12</b>	2:27:59:12:1	<b>12.9</b>	2.1	<b>0.4</b>	2.3
Р.Гладкая	<b>7</b>	16:32:44: 9:1	<b>6.3</b>	1.3	<b>0.5</b>	3.0
Aroclor 1254		1:16:57:25:1		-		
Совол		1:23:53:22:1		-		

\*соотношение гомологических групп 3ХБ:4ХБ:5ХБ:6ХБ:7ХБ

Об этом свидетельствуют трансформированные в сторону дехлорирования по сравнению с исходной коммерческой смесью спектры гомологических групп ПХБ и преобладание продуктов метаболизма ДДТ и ГХЦГ ( $K < 1$ ) по сравнению с исходными веществами в верхних слоях ДО, а также рассеянный равномерный характер их пространственного распределения.

Вместе с тем, в Шекснинском плесе Рыбинского, озерно-русловом участке Горьковского водохранилища и р. Суходол существуют источники локального поступления ПХБ. На это указывает практически нетрансформированный спектр

гомологических групп относительно исходных коммерческих смесей Araclog 1254 или Совол, а также градиентный характер их пространственного распределения наряду с достаточно высокими концентрациями ПХБ. Обращает на себя внимание, что в малых озерах и в Центральном плесе Рыбинского водохранилища при трансформированном спектре содержание ПХБ относительно высокое. Причиной этого может служить концентрирование ПХБ в относительно небольшом объеме ДО малого озера при поступлении с больших водосборных площадей. В Рыбинском водохранилище такой феномен наблюдается на небольшом, наиболее глубоком озерном участке Центрального плеса, где происходит смешивание водных масс с остальных плесов и процессы седиментации взвешенного вещества идут наиболее интенсивно.

Более высокие уровни исходных коммерческих ХОП ( $K > 1$ ) по сравнению с их метаболитами также обнаружены в некоторых исследованных водных объектах. Для ДДТ – это реки дальневосточного региона, два малых озера (Панское, Кишемское) и одно крупное (Лача). Для ГХЦГ – это дальневосточные реки и два крупных озера (Воже, Лача). Особо обращает на себя внимание, что суммарное содержание ХОП в малых озерах и в дальневосточных реках выше, чем в остальных исследованных водных объектах. При этом, если в Европейской части РФ в исследованных водных объектах по суммарному содержанию значительно преобладают ПХБ [4], то в дальневосточных они встречаются в таких же количествах, как и ХОП или даже в меньших [2]. Все это свидетельствует о существовании локальных источников поступления ХОП в данные водные объекты.

### **Выводы**

Таким образом, для установления путей поступления СОЗ в водные объекты необходимо: использовать верхний слой (0-5 см) илистых ДО; оценить суммарное содержание каждой группы (ПХБ, ДДТ, ГХЦГ) и отдельно исходного вещества и составляющих её компонентов (соответственно гомологические группы, метаболиты, изомеры); определить характер пространственного распределения соединений по акватории.

*Работа выполнена в рамках плановой темы № г/р АААА-А18-118012690123-4 и приоритетного проекта Оздоровление Волги по теме № г.р. АААА-А18-118052590015-9.*

### **Библиографический список**

1. Герман А.В., Законнов В.В. Аккумуляция полихлорированных бифенилов в Шекснинском плесе Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. №5. С. 571–575.
2. Лукьянова О.Н., Бродский Е.С., Чуйко Г.М. Стойкие органические загрязняющие вещества в донных отложениях эстуарных зон трех рек залива Петра Великого (Японское море) // Вестник ТюмГУ. 2012. №12. С. 30-40.
3. Майстренко В.Н., Клюев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: ВИНОМ, 2004. 323 с.
4. Чуйко Г.М., Законнов В.В., Морозов А.А., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б. Пространственное распределение и качественный состав

полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП) в донных отложениях и леще (*Abramis brama* L.) Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2010. № 2. С. 98-108.

5. Шелепчиков А.А., Бродский Е.С., Фешин Д.Б., Жильников В.Г. Определение полихлорированных бифенилов и пестицидов в объектах окружающей среды и биоматериалах методом хроматомасс-спектрометрии высокого разрешения // Масс-спектрометрия. 2008. Т.5. № 4. С.245-258.

УДК 504.455+556+574.52

Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, И.Н. Далечина,

[shash.elena2010@yandex.ru](mailto:shash.elena2010@yandex.ru)

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Саратовский филиал, г. Саратов, Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОНА КРУПНОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ГОДЫ, КОНТРАСТНЫЕ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКОМУ И ТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕЖИМУ**

Показаны особенности содержания растворенного кислорода, органического вещества и биогенных элементов, а также структуры фитопланктонного сообщества Волгоградского водохранилища в 2008, 2010 и 2019 гг., контрастные по гидрологическому и термическому режиму. Аномально высокие летние температуры воды 2010 г. не привели к существенным изменениям гидрохимического режима водохранилища вследствие устойчивости его экосистемы. Более существенным оказалось снижение объема паводкового притока 2019 г., что возможно повлияло на уменьшение содержания аллохтонной органики, минерального азота, кремния, железа и, как следствие, биомассы фитопланктона. Не исключено, что изменения концентраций этих показателей лежат в пределах отрицательных трендов, наблюдаемых в последние годы.

*Ключевые слова:* гидрохимический режим, Волгоградское водохранилище, водный приток, аномально высокая температура воды.

E.A. Shashulovskaya, S.A. Mosiyash, I.N. Dalechina,

[shash.elena2010@yandex.ru](mailto:shash.elena2010@yandex.ru)

*Russian Federal Research Institute for Fishery and Oceanography,  
Saratov Branch, Saratov, Russia*

## **SPECIFIC FEATURES OF THE HYDROCHEMICAL COMPOSITION AND STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON OF A LARGE RESERVOIR IN YEARS, CONTRAST ON THE HYDROLOGICAL AND TEMPERATURE REGIME**

The features of the content of dissolved oxygen, organic matter and biogenic elements, as well as the structure of the phytoplankton community of the Volgograd Reservoir in 2008, 2010, and 2019, which are contrasting in hydrological and thermal regimes, are shown. The abnormally high summer

temperatures of water in 2010 did not lead to significant changes in the hydrochemical regime of the reservoir due to the stability of its ecosystem. The decrease in the volume of the flood inflow in 2019 turned out to be more significant, which probably influenced the decrease in the content of allochthonous organic matter, mineral nitrogen, silicon, iron and, as a consequence, the biomass of phytoplankton. It is possible that changes in the concentrations of these indicators are within the range of negative trends observed in recent years.

*Keywords:* hydrochemical regime, Volgograd reservoir, water inflow, abnormally high water temperature.

### ***Введение***

Климатические условия в начале XXI в. вызывают изменения в экосистемах озер и водохранилищ, выражающиеся в снижении прозрачности и содержания кислорода, увеличении количества растворенного органического вещества, перестройке циклов биогенных элементов, росте темпов процессов эвтрофирования [1]. Вследствие наблюдающегося глобального потепления возрастает вероятность частоты и интенсивности аномальных климатических явлений. Лето 2010 г. стало одним из самых жарких за всю историю метеонаблюдений в регионе Средней и Нижней Волги. Превышение температуры воды на 8,7 °С по сравнению с обычным термическим режимом отмечено в Чебоксарском водохранилище [3], наблюдали экстремальный рост первичной продукции в Рыбинском, Горьковском и Саратовском водохранилищах [1;4]. В водоемах Нижней Волги влияние аномальных температурных условий 2010 г. усугублялось полным отсутствием осадков, и регулирование водного стока осуществлялось в критических условиях.

Цель работы – оценить изменения основных гидрохимических показателей и структуры фитопланктона Волгоградского водохранилища в периоды, различающиеся (контрастные) по объему годового притока, его внутригодовому распределению, среднелетней температуре воды.

### ***Материал и методы исследования***

Работы проводили на Волгоградском водохранилище в 2008, 2010 и 2019 гг. по стандартным мониторинговым разрезам (прибрежная и русловая части) в сезонном аспекте. Всего отобрано и обработано проб: 243 воды и 185 фитопланктона. Анализировали кислородный режим, органическое вещество (ОВ) и биогенные элементы. Гидрохимический анализ и камеральную обработку фитопланктона осуществляли общепринятыми методами.

### ***Анализ результатов***

Объем годового притока 2008 г. характеризовался средними величинами, стандартным распределением с наибольшими значениями в апреле-мае и июльской температурой воды близкой к среднемноголетней. 2010 г. относился к маловодным (табл.1) с максимумом объема притока в мае и резким снижением до минимальных значений в августе. Вследствие аномальных погодных условий в летний период температура воздуха была существенно выше, а осадки – ниже нормы, что привело к увеличению летней температуры воды (26,2°С) и маловодью.

Таблица 1

**Некоторые гидрологические и термические характеристики  
Волгоградского водохранилища в разные периоды исследования**

<i>Год исследования</i>	<i>Годовой приток, км<sup>3</sup></i>	<i>Приток в паводок, км<sup>3</sup></i>	<i>Средняя температура в июле, °С</i>
2008	241,1	88,3	22,5
2010	195,2	68,6	26,2
2019	227,9	56,4	22,0

Годовой объем притока в 2019 г. был выше, чем в 2010 г., но характеризовался аномальным внутригодовым распределением: его величина в апреле-мае была в 1,6 - 1,2 раза ниже, чем в 2008 и 2010 гг. соответственно, а в ноябре наблюдали второй максимум в результате дождевых паводков. Летняя температура в этот год была близка к среднегодовой.

Кислородный режим в рассматриваемые годы благоприятен для жизнедеятельности гидробионтов (6,4-13,1 мг/дм<sup>3</sup>). Минимальное насыщение кислородом (49%) фиксировали весной 2010 г. в придонном горизонте на станции ниже г. Саратова, а максимальное (118-124%) отмечали летом этого года в прибрежных зонах нижнего участка водоема. В летний период 2010 г. концентрация кислорода не снижалась ниже 7,9 мг/дм<sup>3</sup> (99%) и наблюдалась незначительная стратификация его содержания: средняя величина в поверхностном горизонте составила 8,2 мг/дм<sup>3</sup> (101 % насыщения), в придонном – 7,3 мг/дм<sup>3</sup> и 92 % насыщения.

Содержание аллохтонного (по перманганатной окисляемости (ПО)) и общего органического вещества (по ХПК) в годы пониженной водности (2010 и 2019) было ниже, чем в 2008 г. Более высокая концентрация легкоокисляемого ОВ (по БПК<sub>5</sub>) как максимальная, так и среднесезонная отмечена в 2010 г., а наиболее низкое значение показателя за вегетационный период – в 2019 г. Соответственно, в годы минимальной водности аллохтонное ОВ составляло меньшую долю от общего, а максимальный процент легкоокисляемой органики зарегистрирован в аномальное жаркое лето 2010 г. (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание органического вещества в воде Волгоградского  
водохранилища в летний период исследуемых лет (в числителе – пределы  
колебания показателя, в знаменателе –среднее значение)**

<i>Годы исследования</i>	<i>ПО, мгО/дм<sup>3</sup></i>	<i>ХПК, мгО/дм<sup>3</sup></i>	<i>БПК<sub>5</sub>, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup></i>	<i>ПО/БО, %</i>	<i>БПК<sub>5</sub>/БО, %</i>
2008 г.	$\frac{8,3 - 11,8}{9,8}$	$\frac{17 - 37}{27}$	$\frac{0,4 - 4,5}{2,3}$	$\frac{26 - 53}{38}$	$\frac{1 - 19}{9}$
2010 г.	$\frac{5,4 - 8,4}{6,5}$	$\frac{18 - 28}{24}$	$\frac{1,3 - 6,8}{3,2}$	$\frac{22 - 34}{26}$	$\frac{5 - 25}{13}$
2019 г.	$\frac{6,6 - 8,5}{7,5}$	$\frac{16 - 30}{22}$	$\frac{0,3 - 5,6}{1,7}$	$\frac{24 - 43}{36}$	$\frac{1 - 21}{8}$

Наиболее низкое содержание аммонийного азота фиксировали в 2019 г. (рис.1А). Ранее нами отмечалось [5], что доминирующим источником в генезисе аммония на нижеволжских водохранилищах является его поступление с поверхностным стоком. Также аммонийный азот может образовываться при минерализации ОВ, в связи с чем наблюдается повышение его концентрации в период максимальных биопродукционных процессов (летний период 2008 и 2019 гг.). Осенью 2010 г. при более высокой, чем в 2008 и 2019 гг. температуре воды отмечено увеличение количества аммония и в этот период.

Содержание нитритов в Волгоградском водохранилище в рассматриваемые годы традиционно низкое, в единичных пробах наблюдали повышение концентрации ингредиента, очевидно в связи с локальным торможением нитрификации. Величины нитратов колебались в исследуемые годы в одних пределах. Средневегетационное содержание их в годы низкой водности меньше, чем в 2008 г. (см. рис.1А), а сезонная динамика, характеризующаяся повышенными значениями весной и снижением в летний период, выражена во все годы.

Максимальное содержание минерального фосфора, второго важнейшего биогенного элемента, определяющего биологическую продуктивность, зарегистрировано весной 2008 г. (рис.1 Б), летом и осенью концентрация элемента снижалась. В 2010 и 2019 гг. количество фосфатов оставалось стабильным в течение всего сезона, но в 2019 г. их уровень был почти в 2 раза ниже.

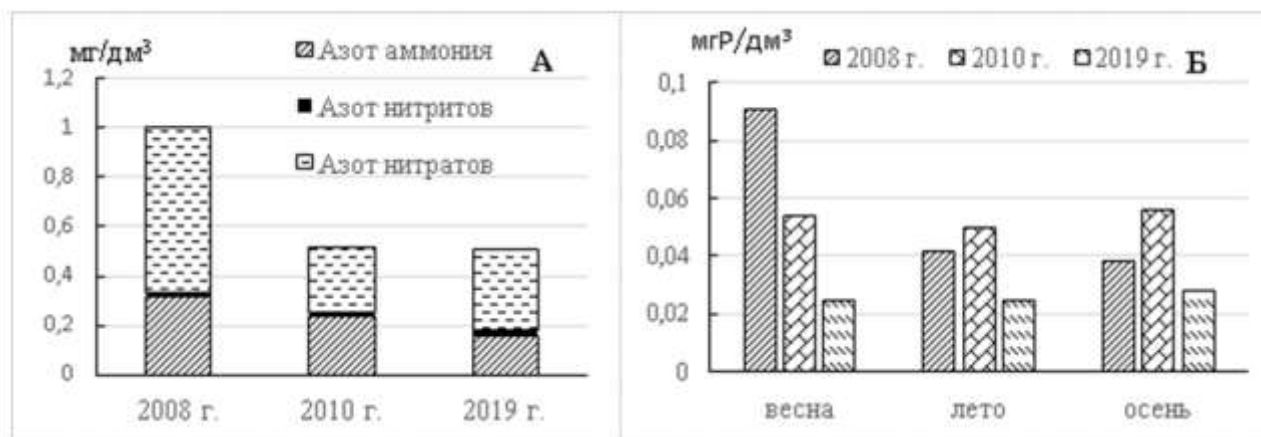


Рис. 1. Содержание соединений минерального азота (А) и сезонная динамика фосфатов (Б) в исследуемые годы в воде Волгоградского водохранилища

Изменения концентрации минерального фосфора находятся в тесной связи с гидрологическими условиями и интенсивностью протекания биопродукционных процессов. Ранее было установлено, что при возрастании водности водохранилища происходит снижение концентрации минерального фосфора, а при уменьшении объема водного притока содержание фосфатов увеличивается [2]. Это обстоятельство позволило сделать вывод о преимущественно внутриводоемном происхождении фосфора. Накопление этого соединения по продольной оси водоема в летне-осенний и летний периоды



2010 и 2019 гг. соответственно, указывают, вероятно, на роль биотической составляющей в оборачиваемости этого элемента. В то же время велико значение паводка в динамике фосфора: уменьшение объема притока весной 2019 г. привело к низким концентрациям фосфатов в течение всего вегетационного сезона, как и некоторых других элементов. Так, содержание железа и кремния в 2019 г. также было самым низким по сравнению с 2008 и 2010 гг.

Первичным откликом экосистемы на изменение абиотических факторов является трансформация количественных и структурных характеристик альгоценоза. Летняя биомасса фитопланктона в 2019 г. была ниже таковой в 2008 г. почти в 4 раза (рис. 2). Сократилось представительство всех групп микроводорослей, за исключением *Cyanoprocaryota* и зеленых. В 2010 г. биомасса цианопрокариот увеличилась в 3 раза по сравнению с 2008 г. Изменилось соотношение функциональных групп фитопланктона: снизилась доля криптофитовых при увеличении *Cyanoprocaryota* и *Dinophyta*. Уменьшились размерные характеристики, и изменился ход сезонной динамики биомассы от доминирования весеннего пика диатомовых водорослей к преобладанию летнего максимума *Cyanoprocaryota*.

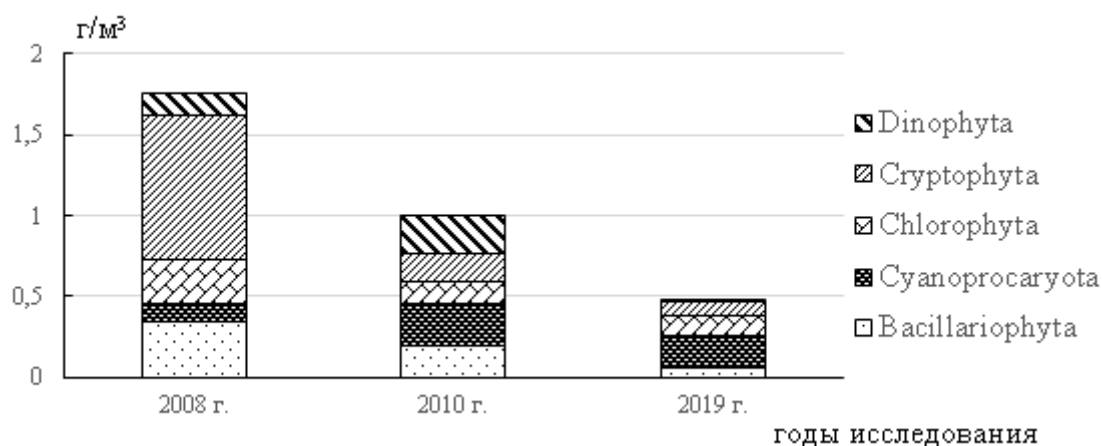


Рис. 2. Характеристика летней биомассы фитопланктона Волгоградского водохранилища в различные годы исследования

### Выводы

Таким образом, изменения объема притока и его внутригодового распределения, аномально высокие летние температуры воды и воздуха не привели к существенным изменениям гидрохимического режима Волгоградского водохранилища вследствие большой буферной емкости и, соответственно, устойчивости его экосистемы. Можно отметить повышение содержания легкоокисляемой органики и преимущественное доминирование *Cyanoprocaryota* в результате увеличения летней температуры воды, хотя их значения не выходили за пределы максимальных величин, регистрируемых в водохранилище в последние два десятилетия. Более существенным оказалось снижение объема паводкового притока, что возможно повлияло на уменьшение содержания аллохтонной органики, аммонийного и нитратного азота, кремния, железа и, как следствие, биомассы фитопланктона. Однако не исключено, что

изменения концентраций этих показателей лежат в пределах отрицательных трендов, наблюдаемых в последние годы.

*Работа выполнена в рамках государственного задания №076-00005-20-02.*

### **Библиографический список**

1. Копылов А.И., Масленникова Т.С., Косолапов Д.Б. Сезонные и межгодовые колебания первичной продукции фитопланктона в Рыбинском водохранилище: влияние погодных и климатических изменений // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. №3. С. 270-277.
2. Котляр С.Г., Лизина Н.Н., Мосияш С.С., Шашуловская Е.А. Экосистемный подход к регламентации содержания биогенных элементов в водоеме // Научные тетради ГосНИОРХ. 2004. Вып.9. 36 с.
3. Лазарева В.И., Минеева Н.М., Жданова С.М. Пространственное распределение планктона в водохранилищах Верхней и Средней Волги в годы с различными термическими условиями // Поволжский экологический журнал. 2012. №4. С. 394-407.
4. Селезнева А.В., Селезнев В.А., Беспалова К.В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья // Поволжский экологический журнал. 2014. №1. С. 88-96.
5. Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г. и др. Особенности многолетней динамики гидрохимических показателей водохранилищ Нижней Волги и реки Урал (на примере Саратовского, Волгоградского и Ириклинского водохранилищ) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. №3. С. 72-93.

УДК 550.42

В.П. Шестеркин, [shesterkin@ivep.as.khb.ru](mailto:shesterkin@ivep.as.khb.ru)

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

### **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА В ВОДЕ БУРЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Представлены результаты исследования содержания минеральных форм азота в воде Бурейского водохранилища в 2003–2008, 2010, 2019–2020 гг. Наибольшие концентрации аммонийного азота отмечены в начале заполнения и в маловодные 2007–2008 гг. в период затопления заболоченных земель, наименьшие – многоводном 2020 г. Показано, что среднегодовое содержание нитритного азота не превышает 0,001 мг N/л, нитратного – 0,01 мг N/л. Наименьшие концентрации нитратного азота (< 0,02 мг N/л) установлены в начале заполнения и в придонных слоях воды зимой. Рассмотрено влияние оползня на содержание минеральных форм азота в воде водохранилища.

*Ключевые слова:* Бурейское водохранилище, минеральные формы азота, содержание.

## LONG-TERM DYNAMICS OF CONTENT OF MINERAL FORMS OF NITROGEN IN WATER AT THE BUREYA RESERVOIR

The results of the study of the content of mineral forms of nitrogen in the water of the Bureya reservoir in 2003–2008, 2010, 2019–2020 are presented. The highest concentrations of ammonium nitrogen were observed at the beginning of filling and in the low-water years 2007–2008 during the flooding of wetlands, the lowest – in the high-water year 2020. It is shown that the average annual content of nitrite nitrogen does not exceed 0.001 mg N/L, nitrate – 0.01 mg N/L. The lowest concentrations of nitrate nitrogen (< 0.02 mg N/L) were found at the beginning of filling and in the bottom layers of water in winter. The influence of the landslide on the content of mineral forms of nitrogen in the water of the reservoir is considered.

*Keywords:* Bureya reservoir, mineral forms of nitrogen, content.

### Введение

Гидротехническое строительство оказывает значительное влияние на содержание и сток растворенных веществ в воде рек. Происходит трансформация их химического состава, снижается за счет самоочищения содержание в воде биогенных и органических веществ и т.д. [1; 3].

Бурейское водохранилище – крупный искусственный водоем в бассейне р. Амур. Плотина Бурейской ГЭС расположена в 186 км выше устья р. Буря. Максимальная глубина водохранилища при НПУ 256 м составляет 118 м, длина – 140 км, площадь водосбора – 64,8 тыс. км<sup>2</sup>, площадь зеркала – 750 км<sup>2</sup>, полный объем – 20,9 км<sup>3</sup>.

Заполнение Бурейского водохранилища началось весной 2003 г. В период наполнения химический состав воды формировался в условиях высокого водного обмена: в 2004, 2009, 2010, 2012, 2013, 2016 и 2019 гг. приток воды превышал среднемноголетнее значение (27,3 км<sup>3</sup>). Максимальный приток наблюдался в 2019 г., в 2 раза ниже он был в 2008 г. Параметры водохранилища за период 2005–2019 гг. представлены в таблице.

**Параметры Бурейского водохранилища в 2005–2019 гг., км<sup>3</sup>**

Показатель	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Приток	24,9	21,9	22,8	20,0	34,1	29,5	20,4	32,8	38,2	21,9	24,6	37,1	28,3	27,3	41,9
Объем	9,2	13,5	14,3	17,5	20,9	20,3	19,4	20,9	20,9	19,3	20,9	20,5	20,6	20,5	20,6
Сток (XII–III)	4,8	4,6	4,8	4,6	6,1	8,2	7,5	7,3	5,8	7,9	6,3	8,4	7,8	8,5	8,5
Сток (IV–XI)	19,5	14,8	17,7	11,8	28,1	22,9	13,3	22,9	30,3	15,8	16,0	30,2	16,6	18,8	34,0

Во время заполнения водохранилища основное влияние на формирование химического состава воды оказал сток питающих его рек. Выработка электроэнергии в период строительства в 2003–2008 гг. снизило влияние затопленных почв и растительности на качество воды водохранилища. В последующие годы большое влияние на содержание биогенных веществ оказали

внутриводоемные процессы. Мониторинг на водохранилище с первых дней существования дал возможность рассмотреть многолетнюю динамику содержания минеральных форм азота, что важно для прогнозирования качества воды проектируемых водохранилищ России.

### ***Материалы и методы исследования***

Наблюдения на Бурейском водохранилище осуществляли в период наполнения 2003–2008 гг. на 5-ти, охватывающих основную часть акватории, участках. Пробы воды отбирали с поверхности, среднего и придонного горизонтов зимой, летом и осенью. На Приплотинном и Чеугдинском створах пробы воды отбирали на 3-х, равномерно распределенных по ширине водоема вертикалях, на Сектаглинском, Тырминском и Мельгинском створах на середине. В январе и июле 2019 г. пробы воды брали с поверхности в районе оползня (Сандарский створ), в июле 2020 г. – на 8 створах на середине.

Аналитические работы осуществляли в ЦКП при ИВЭП ДВО РАН по принятым при гидрохимических исследованиях методам. В работе использовали материалы Амурского БВУ за 2003–2020 гг.

### ***Анализ результатов***

Химический состав воды Бурейского водохранилища формируется в результате смешения вод основных притоков – рр. Бурей и Тирма, водосборы которых в хозяйственном отношении слабо освоены. До зарегулирования содержание нитратного азота изменялось от 0,01 до 0,16 мг N/л. В половодье оно снижалась до 0,02 мг N/л. Наименьшее значение отмечалось летом. Содержание аммонийного азота по сравнению с нитратным изменялось в более широких пределах (0,03–1,34 мг N/л), в среднем составляло 0,53 мг N/л. Минимальная концентрация отмечалась зимой, в половодье и паводки она возрастала в несколько раз, достигая максимальных за год значений [3].

В начале заполнения водохранилища наибольшее содержание иона аммония отмечалось весной, когда в его питании преобладали талые снеговые воды [6]. Некоторая их часть поступала из затопленных почв и растительности. Поэтому максимальная концентрация аммонийного азота наблюдалась как в придонных, так и поверхностных слоях воды у плотины (до 0,87 мг N/л.)

Летом и осенью постепенное заполнение водохранилища (приток составил 24,6 км<sup>3</sup>) обусловило снижение концентрации аммонийного азота (до 0,68 мг N/л), сглаживание ее различий по глубине.

Сезонная динамика нитратного азота существенно отличалась от динамики аммонийного азота. Весной его концентрация была наименьшей (до 0,05 мг N/л), осенью в придонных слоях воды возрастала до 0,17 мг N/л. Такое повышение содержания нитратного азота могло быть вызвано влиянием пирогенного фактора. Наблюдения в бассейне р. Анной свидетельствуют о высоком его содержании (до 1,6 мг N/л) в воде малых таежных рек, которые дренировали пирогенно измененные водосборы [7].

Среднегодовая концентрация аммонийного азота в 2003 г. составляла 0,45 мг N/л, нитратного азота – 0,08 мг N/л.

В марте 2004 г. содержание аммонийного азота снизилось в среднем до 0,12 мг N/л, а нитратного азота возросло до 0,14 мг N/л, причем максимальные

их значения отмечались в поверхностных слоях воды, что свидетельствовало о слабом влиянии затопленной растительности и почв. Наибольшие различия в содержании этих форм азота между поверхностными и придонными слоями наблюдались в районе плотины, на Тырминском створе они отсутствовали из-за малой глубины (< 25 м).

Повышенное содержание иона аммония (0,68 мг N/л) наблюдалось в июне 2004 г. Наибольшие значения отмечались на Приплотинном и Чеугдинском створах, причем большие различия в содержании между поверхностными и придонными слоями отсутствовали. В придонном слое Тырминского створа она была выше на 0,12 мг N/л, чем в поверхностном слое.

Содержание нитратного азота в это время находилось в пределах 0,02–0,38 мг N/л, в среднем составляло 0,1 мг N/л. Наибольшие значения отмечались на Приплотинном створе, наименьшие – в верхней части водохранилища. Среднегодовая концентрация аммонийного азота в 2004 г. достигала 0,34 мг N/л, нитратного азота – 0,07 мг N/л.

В мае-июне 2005 г. значительный приток воды (13,4 км<sup>3</sup>) привел летом к повышению концентрации аммонийного азота в придонных горизонтах воды Чеугдинского створа до 1,0 мг N/л, на Тырминском и Мельгинском створах оно в 2 раза было ниже. Содержание нитратного азота находилось в пределах (0,02–0,16 мг N/л), по глубине распределялось мозаично. Осенью снижение притока воды вызвало уменьшение содержания иона аммония до 0,09–0,28 мг N/л и относительно равномерное его распределение по глубине. Концентрация нитратного азота по сравнению с летом возросла в 2 раза, по акватории и глубине распределялась в широких пределах [4].

В марте 2006 г. содержание нитратного азота в придонных слоях воды Чеугдинского створа находилось ниже 0,005 мг N/л., в поверхностных слоях воды оно изменялось от 0,12 до 0,17 мг N/л. Подобная стратификация отмечалась и на остальных участках. Такое снижение концентрации могло быть обусловлено влиянием бактерий, которые используют кислород нитратов в условиях его дефицита на окисление органических веществ. Концентрация аммонийного азота изменялась в широких пределах (0,04–0,53 мг N/л), максимальными значениями характеризовались придонные горизонты.

Малый приток воды летом 2006 г. (таблица) не вызвал заметного снижения содержания аммонийного азота, которое варьировало от 0,22 до 0,79 мг N/л. Максимальные значения отмечались в придонных слоях Сектаглинского и Мельгинского створов. В распределении содержания нитратного и нитритного азота по глубине и акватории больших различий не отмечалось.

Среднегодовые концентрации аммонийного и нитратного азота в 2005–2006 гг. были на уровне значений 2004 г.

В 2007 г. затопление заболоченных земель в верхней части водоема в условиях малого притока привело к повышению среднегодовой концентрации аммонийного азота до 0,47 мг N/л и неравномерному распределению по глубине [4]. Наибольшие различия в содержании летом отмечались на Тырминском (0,35–1,02 мг N/л) и Мельгинском (0,30–1,13 мг N/л) створах, т.е. в верхней части водохранилища. Содержание нитратного азота изменялось в широких пределах

(0,02-0,15 мг N/л), нитритного не превышало 0,003 мг N/л. Осенью 2007 г. значительные различия в содержании минеральных форм азота в воде водохранилища отсутствовали.

В 2008 г. в условиях самого низкого притока содержание аммонийного азота изменялось от 0,08 до 0,94 мг N/л. Максимальное значение отмечалось в придонных слоях Мельгинского створа. Выше здесь было и различие в содержании между поверхностным и придонными слоями (до 0,58 мг N/л). На остальных створах содержание аммонийного азота, также как нитратного и нитритного распределялось в воде относительно равномерно. Среднегодовое содержание аммонийного и нитратного азота составляло 0,33 и 0,09 мг N/л соответственно, нитритного азота было ниже 0,001 мг N/л.

Исследования осенью 2010 г. у плотины свидетельствовали о низком содержании нитритного азота (0,001–0,002 мг N/л) и широком диапазоне аммонийного (0,19-0,41 мг N/л) и нитратного (0,01-0,16 мг N/л) азота.

Наблюдения в январе 2019 г. в районе оползня, разделившего водоем на две части в декабре 2018 г., свидетельствовали об узких пределах колебаний содержания нитратного азота (0,20–0,22 мг N/л) выше и ниже оползня [5]. Концентрация же аммонийного азота выше оползня и у левого берега ниже оползня находилась в пределах 0,08–0,10 мг N/л, в то время как правого берега из-за поступления смытых почв и древесных остатков достигало 0,23 мг N/л.

Использование динамита для прокладки канала могло вызвать весной поступление в водоем 37 т азота, что в 9 раз было выше его количества, которое поступало в 2014 г. в р. Бурея со сточными водами [2]. Такой дополнительный вынос минеральных форм азота не мог не оказать влияния на их содержание. Между тем исследования в июле 2020 г. на участке между оползнем и плотиной свидетельствовали об отсутствии резких различий в содержании минеральных форм азота. Концентрация аммонийной формы находилась в пределах 0,02–0,03 мг N/л, нитратной – 0,04–0,07 мг N/л, нитритной – 0,003–0,004 мг N/л.

### **Выводы**

В период заполнения высокий водный обмен и большие различия в химическом составе вод рек Бурея и Тырма обусловили пространственно-временную неоднородность химического состава воды в водохранилище. Максимальное содержание аммонийного азота отмечалось в июне в первые годы заполнения в нижней части водохранилища, в последующие годы – в верхней части. Максимальное содержание аммонийного, нитратного и нитритного азота не превышало 1,13; 0,38 и 0,008 мг N/л.

### **Библиографический список**

1. Авакян А.Б., Кочарян А.Г., Малютин А.Н., Марголина Г.Л. Оценка роли водохранилищ в изменении качества речных вод // Водные ресурсы. 1988. № 3. С. 5–16.
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2014 году. Хабаровск: ООО Принт. 2015. 219 с.

3. Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л. Река Бурей: гидрология, гидрохимия и ихтиофауна. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2006. 149 с.

4. Шестеркин В.П. Динамика содержания аммонийного азота в воде Бурейского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Химический состав и качество воды. Пермь, 2011. Т. II. С. 203–207.

5. Шестеркин В.П. Гидрохимия Бурейского водохранилища в районе оползня в январе 2019 года // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь, 2019. Т. 2. С. 215–218.

6. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Гидрохимия Бурейского водохранилища в период заполнения (2005-2006 гг.) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь, 2007. Т. 2. С. 100–104.

7. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Многолетняя динамика химического состава вод таежных рек на горах северного Сихотэ-Алиня // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Т. 28. № 2. С.56–70.

УДК 504.453

А.С. Шешнёв, Д.С. Маджид, [sheshnev@inbox.ru](mailto:sheshnev@inbox.ru)

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия*

## **ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В НАНОСАХ ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГОРОДОВ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Приведены результаты исследования содержания тяжелых металлов в приповерхностном слое наносов овражно-балочных комплексов с постоянным водотоком на территории городов Правобережья Волгоградского водохранилища (Вольск, Саратов, Камышин). Исследование материала, выносимого в водохранилище, выполнено по устьевым створам городских балок. Результаты показывают, что при отсутствии систем очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий в водные объекты попадают не только загрязненные воды, но и грунты.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, овражно-балочные системы, урбанизированные территории, Волгоградское водохранилище, Нижнее Поволжье.

A.S. Sheshnev, D.S. Majeed, [sheshnev@inbox.ru](mailto:sheshnev@inbox.ru)

*Saratov state University, Saratov, Russia*

## **HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF GULLY SYSTEMS IN THE CITIES OF THE RIGHT BANK OF THE VOLGOGRAD RESERVOIR**

The results of a study of the content of heavy metals in the near-surface layer of sediments of gully complexes with a permanent watercourse on the territory of the cities of the Right Bank of the



Volgograd reservoir (Volsk, Saratov, Kamyshin) are presented. The study of the material carried out into the reservoir was carried out along the mouth sections of urban gullies. The results show that in the absence of systems for treating surface runoff from urbanized areas, not only polluted waters, but also soils, enter water bodies.

*Keywords:* heavy metals, gully systems, urbanized areas, Volgograd reservoir, Lower Volga region.

### ***Введение***

Овражно-балочные комплексы – важный путь поступления осадкообразующего материала в приемный водоем флювиальными потоками. Формируемые русловые отложения, обогащенные техногенным материалом, можно обозначить как современный техногенный овражно-балочный аллювий.

Вклад разных источников в поступление осадочного материала в городские овражно-балочные комплексы в течение года различен. По аналогии с другими водными объектами, следует ожидать проявления сезонных циклов накопления осадка, различий в физико-механических свойствах и содержании ряда веществ. Поллютанты попадают на поверхность почв и грунтов преимущественно аэрогенным путем, затем сносятся в овражно-балочные комплексы, транспортируются в виде наносов и частично депонируются в донных отложениях. Эрозионная сеть выполняет дренажную функцию, принимая водный и твердый сток городской ливневой сети. В условиях промышленных городов исследование состава проб донных отложений из устьевых участков дает достаточно надежные сведения о техногенном загрязнении водотоков [3].

Донные отложения с геоэкологических позиций представляют особый интерес, отражая совокупные особенности водосбора, самого водного объекта и техногенных источников сбросов. Данные по загрязнению приповерхностного слоя (0–1 см) наносов представляют интегрированный показатель для определенного времени, например, гидрологических сезонов. Выбор тяжелых металлов в качестве определяемых показателей связан с их способностью к аккумуляции и высокой токсичностью.

Правобережье Волгоградского водохранилища – район высокого эрозионного расчленения склонов Приволжской возвышенности. Для изучения геохимических особенностей наносов, выносимых по оврагам и балкам в водохранилище, проведены исследования на территории трех городов – Саратова, Камышина и Вольска (рисунок).

### ***Материалы и методы исследования***

Анализировались загрязняющие вещества, выявляемые в качестве приоритетных при литогеохимических съемках на территории городов севера Нижнего Поволжья. Учитывая характер водных объектов (водотоки в овражно-балочных комплексах) и их гидродинамический режим, отбор проб проводился пластмассовым совком с хранением в герметичных пластиковых пакетах. Поверхностный слой осадков отбирался с глубины 0–1 см. В этом слое формируется техногенный наиллак в виде насыщенной суспензии, и надежно отражаются сезонные изменения химического состава отложений.





Схема расположения исследованных городских территорий

Пробы в устьевых створах водотоков отобраны в августе 2020 г. на удалении от Волгоградского водохранилища вне зоны затопления во время паводка. Все пробы отобраны из постоянных водотоков, кроме двух проб на территории Камышина, относящихся к наносам временных водотоков в балках, пересыхающих в летний период.

Объединенная проба состояла из 3–5 частных, отобранных по поперечному профилю водотока. Образцы осадка просушивались, доводились до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре в лабораторных условиях и измельчались. Средняя проба отбиралась методом квартования. В качестве экстрагента использованы вытяжки 1 моль/дм<sup>3</sup> раствором HNO<sub>3</sub>, характеризующие содержание кислоторастворимых форм металлов. Содержание тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr) в полученном растворе определено методом атомно-абсорбционной спектromетрии в режиме пламенной атомизации на спектрофотометре «Квант-2А» в лаборатории геоэкологии Саратовского госуниверситета.

### ***Анализ результатов***

Для оценки результатов исследования применена методика [4] в упрощенном виде. В оригинальной методике, разработанной для озерных водных систем, в качестве фонового значения принимается «стандартный доиндустриальный уровень», определяемый из глубинных донных отложений, образовавшихся до начала техногенного воздействия. В настоящем исследовании в качестве местных фоновых значений для территории каждого города принято содержание тяжелых металлов в наносах водотоков балок вне зоны техногенного воздействия.

Поэлементное значение степени техногенного загрязнения донных наносов оценивалось по коэффициенту загрязнения ( $K_3$ ):

$$K_3 = C_i / C_{\phi},$$

где  $C_i$  – фактическая концентрация элемента,  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация.

Степень поэлементного загрязнения определялась по схеме:  $K_3 < 1$  – загрязнение отсутствует;  $1 \leq K_3 < 3$  – умеренное;  $3 \leq K_3 < 6$  – значительное;  $K_3 \geq 6$  – высокое загрязнение (табл. 1). Совокупное воздействие нескольких загрязнителей в пробе оценивалось по интегральному показателю – степени загрязнения ( $C_3$ ):  $C_3 = \sum K_3 = \sum C_i / C_{\phi}$ .

Характеристика степени загрязнения проводилась по классификации, учитывающей количество определяемых тяжелых металлов ( $N$ ):  $C_3 < 2N$  – умеренная,  $2N \leq C_3 < 4N$  – значительная,  $C_3 \geq 4N$  – высокая степень загрязнения [1]. В исследовании определялись шесть элементов, поэтому градация уровней  $C_3$  имеет вид:  $C_3 < 6$  – загрязнение отсутствует;  $6 \leq C_3 < 12$  – умеренная;  $12 \leq C_3 < 24$  – значительная;  $C_3 \geq 24$  – высокая степень загрязнения (табл. 2).

Таблица 1

### Поэлементная оценка проб по коэффициенту загрязнения $K_3$

Степень техногенного загрязнения	Количество проб, относимых к категории загрязнения					
	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
	Саратов (n=11)					
отсутствует	5	2	3	–	2	1
умеренное	6	5	3	3	4	5
значительное	–	2	1	5	4	3
высокое	–	2	4	3	1	2
	Камышин (n=7)					
отсутствует	–	1	1	–	1	1
умеренное	5	2	3	7	1	3
значительное	2	4	2	–	3	3
высокое	–	–	1	–	2	–
	Вольск (n=2)					
отсутствует	1	–	–	–	–	–
умеренное	1	1	1	2	2	1
значительное	–	–	1	–	–	–
высокое	–	1	–	–	–	1

Таблица 2

### Интегральная оценка проб по степени загрязнения $C_3$

Степень загрязнения	Число проб, отнесенных к степени загрязнения		
	Саратов (n=11)	Камышин (n=7)	Вольск (n=2)
умеренная	4	2	–
значительная	3	3	2
высокая	4	2	–

Наиболее загрязнены наносы в овражно-балочных комплексах, водосбор которых расположен в промышленных зонах. Таковы на территории Саратова водотоки промышленного Заводского района – Токмаковский ( $C_3 = 102,95$ ),

Мутный ключ (129,67), Назаровка (46,38), Крутенький (28,5). В Камышине наиболее загрязнены водотоки Елшанка ( $C_3 = 45,21$ ) и Первый (26,25).

Вне промышленных зон и при разреженной сети автодорог содержание загрязняющих веществ падает, а в гранулометрическом составе возрастает доля песчаной фракции. Сходные закономерности загрязнения вод овражно-балочных комплексов выявлены ранее для территории Саратова [2].

### **Выводы**

В наносах овражно-балочных комплексов тяжелые металлы наиболее интенсивно накапливаются в промышленных районах городов. Учитывая, что в городах на берегах Волгоградского водохранилища вопреки природоохранному законодательству и градостроительным нормам отсутствует система очистки поверхностного стока, подобные водотоки следует рассматривать как источники многолетнего негативного воздействия на приемный бассейн.

При организации сети мониторинга качества вод Волгоградского водохранилища особое внимание следует уделять водам и донным отложениям около устьев городских балок, водный и твердый сток по которым поступает как открытым потоком, так и в закрытых коллекторах.

Выносимые водотоками твердые частицы в отдельных случаях формируют конусы выноса из балок в водохранилище. Сезонная и многолетняя аккумуляция загрязняющих веществ в донных отложениях городских водотоков позволяет относить подобные грунты к загрязненным и предусматривать обращение с ними как с отходом соответствующего класса опасности.

*Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (проект МК-33.2020.5).*

### **Библиографический список**

1. Фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан. Региональные нормативы. Казань: Минприроды РТ, 2019.URL: [http://pravo.tatarstan.ru/rus/oiv/min/eco/?nra\\_id=352971](http://pravo.tatarstan.ru/rus/oiv/min/eco/?nra_id=352971) (дата обращения 10.01.2021).

2. *Шешнёв А.С.* Сезонная динамика химического состава вод овражно-балочных систем городских территорий (на примере Саратова) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 7. С. 7–14.

3. *Янин Е.П.* Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002. 52 с.

4. *Håkanson L.* An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water Researches. 1980. V. 14. Iss. 8. P. 975–1001.

С.В. Ясинский<sup>1</sup>, Е.В. Веницианов<sup>2</sup>, Е.А. Кашутина<sup>1</sup>, М.В. Сидорова<sup>1</sup>,  
А.А. Ершова<sup>3</sup>, И.Н. Макеева<sup>3</sup>

[eugeny.venitsianov@gmail.ru](mailto:eugeny.venitsianov@gmail.ru), [kashutina@igras.ru](mailto:kashutina@igras.ru)

<sup>1</sup>*Институт географии РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup>*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **ВКЛАД МИКРОЧАСТИЦ В ПЕРЕНОС ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКАМИ И ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ В КРУПНОМ ГОРОДЕ**

Большинство компонентов состава природных вод существуют в нескольких фазах – в водной массе, во взвешях, коллоидах, на гидроксидах Fe и Mn, детрите. Они зачастую характеризуются различной токсичностью. Чем меньше частица взвеси, тем выше ее сорбционная способность. Выявлены приоритетные загрязняющие вещества и их содержание в городских водных объектах Нижнего Новгорода в летне-осеннюю межень 2020 г.: органические вещества, нефтепродукты, аммоний, СПАВ, железо и марганец. Более половины их суммарного переноса осуществляется взвешями. В устьях рек с частицами в диапазоне 0,22 – 2 мкм переносится до 70% железа, переносимого взвешями, до 45% марганца, около половины нефтепродуктов и СПАВ. Воды загрязнены синтетическими микроволокнами антропогенного происхождения.

*Ключевые слова:* городские реки, компоненты загрязнения, взвеси, химический состав, микропластик.

S.V. Yasinskii<sup>1</sup>, E.V. Venitsianov<sup>2</sup>, E.A. Kashutina<sup>1</sup>, M.V. Sidorova<sup>1</sup>,  
A.A. Ershova<sup>3</sup>, I.N. Makeeva<sup>3</sup>

[eugeny.venitsianov@gmail.ru](mailto:eugeny.venitsianov@gmail.ru), [kashutina@igras.ru](mailto:kashutina@igras.ru)

<sup>1</sup>*Institute of Geography of the RAS, Moscow, Russia*

*Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia*

## **CONTRIBUTION OF MICROPARTICLES TO THE TRANSPORT OF POLLUTION BY RIVERS AND GROUNDWATER IN A LARGE CITY**

Most components of the composition of natural waters exist in several phases – in the water mass, in suspensions, colloids, on Fe and Mn hydroxides, detritus. They are often characterized by different toxicity. The smaller the particle of the suspension, the higher its sorption capacity. Priority pollutants and their content in urban water bodies of Nizhny Novgorod in the summer-autumn low water period of 2020 were identified: organic substances, petroleum products, ammonium, surfactants, iron and manganese. More than half of their total transport is carried out by suspensions. In the estuaries of rivers with particles in the range of 0.22-2 microns, up to 70% of iron carried by suspensions, up to 45% of manganese, about half of petroleum products and surfactants are transferred. The waters are polluted with synthetic microfibers of anthropogenic origin.

*Keywords:* urban rivers, the components of pollution, suspended solids, chemical composition, microplastics.

## ***Введение***

В измерениях качества воды обычно определяются валовые концентрации компонентов. Однако большинство компонентов состава воды, прежде всего тяжелых металлов, существуют в нескольких фазах, зачастую характеризующихся различной токсичностью. Фактически представляемые концентрации является суммой нескольких концентраций – в водной массе, во взвесах (минеральных, органических), в органических коллоидах, в организмах водной биоты, на гидроксидах Fe и Mn. Между этими фазами происходит взаимодействие и основным механизмом является сорбция, т.е. поглощение молекул (ионов) вещества, содержащихся в одной из фаз, другой контактирующей с ней фазой [2].

В водных объектах практически всегда содержатся взвеси разных размеров: песчаные, глинистые, илистые частицы, детрит и т.п. Это могут быть частицы как природного, так и антропогенного происхождения.

Уменьшение размеров частиц взвесей приводит к увеличению площади их удельной поверхности и усилению их сорбционной способности [1]. Микрочастицы взвеси поэтому являются переносчиками других, в том числе загрязняющих веществ [7]. Речной взвесью также хорошо адсорбируются бактерии и вирусы [10].

Микрочастицы практически не осаждаются в потоке. Так, если частицы размером более 0,08 мм осаждаются при скорости воды более 3–5 см/с (естественные водотоки и пруды), то скорость осаждения частиц размером 0,03–0,05 мм уменьшается до 0,25 мм/с и возможна только в стоячей воде [6]. Частицы субмикронных размеров и менее практически не осаждаются в воде. Чем меньше частица, тем длиннее путь ее миграции как в воде, так и в живых организмах при их поглощении. Наиболее вредное воздействие на здоровье оказывают частицы, имеющие размер до 10 мкм и особенно наночастицы [3], причем вред могут нести как сами микрочастицы, так и сорбированные ими поллютанты. Рост производства и использования наноматериалов приводит к росту их содержания в окружающей среде, что может иметь серьезные последствия для здоровья человека и окружающей среды [11]. Наиболее опасны для биоты и человека ксенобиотики [15]. Возможно их синергетическое действие [15].

В последние годы резко возрос интерес к изучению микропластика как неизбежного следствия роста производства и потребления синтетических материалов, которые сами по себе могут быть безопасными, однако при диспергировании превращаются в высокоэффективный сорбент для токсикантов. Микропластик находят во всех водоемах планеты, даже в самых удаленных, включая Арктику и Антарктику [12; 16].

Крупные города являются наиболее важными источниками загрязнения водных объектов разнообразными токсикантами. Спектр загрязняющих веществ от мегаполисов, как правило, является значительно более широким, чем от неурбанизированных территорий [4]. В городских районах автомобили являются источником более 50% всех частиц размерности менее 10 мкм [16].

В качестве модельного полигона изучения роли взвешенных наносов и микрочастиц взвесей в переносе загрязнителей исследовались водные объекты

Нижнего Новгорода, города с численностью населения более миллиона человек, промышленного центра Волжского бассейна. Источниками водоснабжения города и приемниками сточных и ливневых вод служат рр. Ока и Волга, что предъявляет высокие требования к качеству их вод.

### ***Материалы и методы исследования***

Важным этапом исследований микрозагрязнителей как носителей сорбированных ими загрязняющих веществ является схема химического анализа, которая включает три основные стадии:

- фракционирование взвесей по размерам частиц;
- многостадийная десорбция сорбированных компонентов с поверхности микрочастиц с целью выделения групп компонентов (металлов, органических соединений);
- химический анализ элюата современными методами (хроматомасс-спектрометрия, ICP-MS и др.).

В период летне-осенней межени (июль – сентябрь 2020 г.) сотрудниками Института географии РАН были отобраны пробы речных вод в бассейнах рек Левинки в Заречной части Нижнего Новгорода и Рахмы в его Нагорной части. Кроме того, взяты пробы подземных вод, включая родники и воды штолен – искусственных подземных сооружений Нижнего Новгорода, предназначенных для дренажа подземных вод. Для оценки потоков веществ параллельно с отбором проб проводилось измерение расходов воды. Отобранные пробы воды анализировались в ЦКП НИИ Химии Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского. Анализ воды на содержание микропластика выполнялся в Российском государственном гидрометеорологическом университете (г.Санкт-Петербург). Применялись стандартные методики определения химических веществ в водных объектах. Анализировались как валовые показатели загрязнения, так и фазовый состав загрязнителей.

Определялись:

- концентрации взвешенных веществ и их дисперсный состав;
- БПК<sub>5</sub>, ХПК;
- ионы аммония, СПАВ, фенолы, нефтепродукты;
- микроэлементы: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Al, Pb, As, Cr, Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, Si, Ag;
- анионы: хлориды, сульфаты, нитраты, фосфаты, нитриты.

Концентрации компонентов в водных объектах определялись в растворах и разными фракциями взвесей. Пробы воды последовательно пропускались через фильтр «синяя лента» с диаметром пор 2 мкм, а затем через ацетат-целлюлозный фильтр с порами 0,22 мкм. Анализировались исходные отобранные пробы воды, последовательные фильтраты, а также осадки на фильтрах.

### ***Анализ результатов***

В городских водных объектах Нижнего Новгорода в межень 2020 г. наблюдались повышенные концентрации органических веществ (по ХПК), нефтепродуктов, аммония, СПАВ, железа и марганца. Данные анализов репрезентативны, выявленные загрязнители являются «традиционными» для рек

Нижегород [5;8;9]. В период летне-осенней межени 2020 г. не менее половины суммарного переноса приоритетных загрязняющих веществ воды городских рек осуществляется взвесьми. При этом при прохождении потоков по руслам рек к устьям сокращалась доля переноса частицами более 2 мкм и увеличивалась доля переноса частицами в диапазоне 0,22 – 2 мкм. В летне-осеннюю межень 2020 г. в устьях рек с частицами в этом диапазоне размеров частиц взвесей переносится до 70% от потока железа, переносимого взвесьми, до 45% марганца, около половины потоков нефтепродуктов и СПАВ.

Поверхностные и подземные воды Нижнего Новгорода характеризуются значительным загрязнением микроволокнами антропогенного происхождения: большая часть – это нитевидные синтетические волокна разных цветов размером от 90 до 2000 мкм, средние концентрации – от 0,5 до 1,3 частиц на литр. Наиболее вероятными источниками данных волокон в водных объектах можно считать стоки бытовых сточных вод.

### **Выводы**

Определены характерные интервалы концентраций приоритетных загрязняющих веществ рек Нижнего Новгорода. Наблюдаются повышенные концентрации органических веществ (по ХПК), нефтепродуктов, аммония, СПАВ, железа, марганца. Впервые для малых рек и подземных вод крупного города получены оценки вклада микрочастиц в перенос веществ с территории города. В период летне-осенней межени 2020 г. не менее половины суммарного переноса указанных выше приоритетных загрязняющих веществ осуществляется взвесьми. Примерно четверть потока этих загрязнений связана с переносом микрочастицами размера 0,22-2 мкм (для железа – около трети). Впервые получены оценки загрязнения городских подземных вод микропластиком. Полученные выводы имеют значение для выбора водоохраных мероприятий.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50082.*

### **Библиографический список**

1. Веницианов Е.В., Лепихин А.П. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах / Под науч. ред. А.М. Черняева. ФГУП КамНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002.
2. Веницианов Е.В., Соколова О.В. Сорбция ионных форм металлов на взвесьях при залповых сбросах сточных вод в русловый поток // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 1. С. 117-122.
3. Голохваст К.С., Кодинцев В.В., Памирский И.Э., Чайка В.В., Белоус Р.А. Микрогазовое загрязнение атмосферы города Благовещенска // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2016. Вып.60. С.52–56.
4. Дрюпина Е.Ю., Эйрих А.Н., Эйрих С.С., Папина Т.С. Влияние крупных городов на качество речных вод (на примере р. Обь в районе г. Барнаула) // Вода: химия и экология. 2014. № 7. С. 3–9.

5. Козлов А.В., Клочков Е.А., Бодякина М.А., Береснев А.А., Калиничева З.С., Фирова А.А. Выявление тенденций в эколого-гидрохимических свойствах малых проточных водотоков в условиях техногенной нагрузки города Нижнего Новгорода // Успехи современного естествознания. 2019. №12-2. С. 280-287.
6. Орлов Б.В., Бойкова И. Г., Печников В. Г. Экологическая реабилитация московской городской водоотводящей системы // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 7. С.51-57.
7. Поздняков Ш.Р., Мартинсон К.Д. Исследование характеристик субмикронных частиц в реках для современного решения проблем их оздоровления // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: Сб. науч. трудов. Москва: Студия Ф1, 2019. С.26-30.
8. Экологическое состояние водных объектов Нижнего Новгорода: монография / Д.Б. Гелашвили, А.Г. Охупкин, А.И. Доронина, В.И. Колкутин, Е.Ф. Иванов. Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. 414с.
9. Экология Нижнего Новгорода: монография / Д.Б. Гелашвили, Е.В. Копосов, Л.А. Лаптев; под общ. Ред. Д.Б. Гелашвили; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2008. 530 с.
10. Янин Е.П. Химический состав и особенности поставки твердых взвешенных веществ в малую реку с канализационным стоком города // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2013. № 6. С. 2–16.
11. Anastasio C., Martin S. T. Atmospheric nanoparticles // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2001. Т. 44. №. 1. С. 293-349.
12. Cózar et al., The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation, Science Advances, 2017: Vol. 3, no. 4, e1600582, DOI: 10.1126/sciadv.1600582
13. Endo S., Takizawa R., Okuda K., Takada H., Chiba K. Kanehiro H., Ogi H., Yamashita R., Date T. Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences // Mar. Pollut. Bull. 2005. V. 50. P.1103–1114.
14. Isobe A., Uchiyama-Matsumoto K., Uchida K., Tokai T. Microplastics in the Southern Ocean, Mar.Poll.Bulletin, Vol.114, 1, 2017, P. 623-626, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.037>.
15. Nowack B., Bucheli T. D. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment // Environmental pollution. 2007. Т. 150. №. 1. С. 5-22
16. Wrobel A., Rokita E., Maenhaut W. Transport of traffic-related aerosols in urban areas // Science of the Total Environment. 2000. Т. 257. №. 2-3. С. 199-211.



А.А. Возняк, [AAVoznyak@gmail.com](mailto:AAVoznyak@gmail.com)

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования  
и охраны водных ресурсов, Камский филиал, г. Пермь, Россия*

## **ДИФфуЗНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КАМСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ**

Рассмотрен естественный гидрохимический режим и техногенное загрязнение Камского и Воткинского водохранилищ, обусловленное различными источниками поступления загрязняющих веществ. Проанализировано определение диффузного загрязнения. Предложено уточнение по расчету диффузного стока относительно ранее предложенного метода. Выполнена оценка диффузного стока для Камских водохранилищ по отдельным участкам. Показано, что для участков водохранилищ, где наблюдается существенный боковой приток, даже при значительном положительном привносе загрязняющих веществ диффузная составляющая может быть нулевой, а весь привнос обусловлен впадающими притоками

*Ключевые слова:* гидрохимический режим водного объекта, техногенное загрязнение, качество природных вод, диффузное загрязнение.

A.A. Wozniak, [AAVoznyak@gmail.com](mailto:AAVoznyak@gmail.com)

*Perm State National Research University, Perm, Russia*

*Russian Research Institute for the Integrated Use and Protection of Water  
Resources, Kama Branch, Perm, Russia*

## **DIFFUSE POLLUTION OF THE KAMA RESERVOIRS**

The natural hydrochemical regime and technogenic pollution of the Kama and Votkinsk reservoirs, caused by various sources of pollutants, are considered. The definition of diffuse pollution is analyzed. A refinement is proposed for calculating the diffuse runoff relative to the previously proposed method. An assessment of the diffuse runoff for the Kama reservoirs was carried out for individual areas. It is shown that for the sections of reservoirs where there is a significant lateral inflow, even with a significant positive input of pollutants, the diffuse component can be zero, and the entire input is due to the inflowing tributaries.

*Key words:* hydrochemical regime of a water body, technogenic pollution, quality of natural waters, diffuse pollution.

### ***Введение***

Формирование химического состава речных вод определяется как естественными, климатическими и почвенно-гидрогеологическими условиями, так и антропогенными факторами. Естественный гидрохимический режим водохранилищ обуславливается химическим составом впадающих в него рек, который, в свою очередь, находится в прямой зависимости от химического состава почв и пород, слагающих водосборы этих рек. Антропогенное загрязнение водного объекта определяется видом деятельности промышленных или сельскохозяйственных предприятий, находящихся на берегах этого объекта. При этом объем и химический состав сбрасываемых сточных вод, подотчетный по 2-ТП, не отвечает полностью за привносимое загрязнение, так как существует

достаточное количество неучтенных, латентных источников загрязнения, которые могут иметь как антропогенное, так и естественное происхождение.

Загрязнение, привносимое этими латентными источниками, можно назвать диффузным загрязнением. Однако, прежде чем адаптировать разработанные методы расчета диффузного стока загрязняющих веществ с водосборов водных объектов к конкретным рассматриваемым водным объектам, необходимо разобраться, что же из себя представляет диффузное загрязнение.

В [1] формулируется понятие диффузного рассеянного загрязнения водных объектов как процесса выноса загрязняющих веществ с расположенных на водосборе источников загрязнения в результате гидролого-геохимических процессов на его территории в период весеннего снеготаяния и их трансформации в овражно-балочной сети.

Действительно, для большей части территории России формирование диффузного загрязнения происходит в период весеннего половодья. Содержащиеся в почве химические элементы вместе с талыми и дождевыми водами, просачиваясь через зону аэрации, поступают в грунтовые подземные воды, вызывая их загрязнение, особенно сильное в местах расположения животноводческих, свиноводческих и птицеводческих ферм. По [1] загрязнения непосредственно воды водного объекта в этот период не происходит, поскольку в период снеготаяния поступление подземных вод в водные объекты весьма ограничено. И только в летнюю и зимнюю межень поступившие в водоносный горизонт химические ЗВ при разгрузке подземных вод поступают в водный объект, приводя к ухудшению качества воды в них.

Таким образом, на значительной части территории России основными источниками диффузного загрязнения являются объекты сельского хозяйства и селитебные территории, включая территории малых населенных пунктов, дачных и коттеджных поселков.

По мере продвижения ЗВ по длине водного объекта происходит редукция потока ЗВ в связи с поглощением этих веществ высшей водной растительностью и донными отложениями, а также процессами самоочищения [2], то есть обратные процессы, связанные с поступлением уже в воду ЗВ от водной растительности и донных отложений.

Однако есть другие источники диффузного загрязнения водных объектов – это отвалы горных пород и промышленные площадки горнодобывающих предприятий. Они носят локальный характер, на карте России занимают не столь значительное место, как первые, но масштаб диффузного загрязнения, привносимого ими, поистине огромен. Эти объекты приурочены, в основном, к территориям или разработки различных месторождений полезных ископаемых, или где стоят заводы, их перерабатывающие.

В качестве объекта рассмотрения выбраны Камское и Воткинское водохранилища, на водосборах которых отмечаются и техногенно нагруженные территории с горнодобывающими предприятиями, и селитебные обширные территории (город-миллионник), и сельскохозяйственные фермы и поля, хотя и не столь значительные, как в центральных и южных областях Европейской части РФ.

### ***Материалы и методы исследования***

Для расчета диффузного загрязнения авторы [1] предлагают ландшафтно-гидрологический метод. В рамках этого подхода общая величина диффузного стока складывается из потоков ЗВ с каждого вида подстилающей поверхности, а именно: вынос ЗВ с жидким стоком, вынос ЗВ со стоком наносов и вынос ЗВ с подземным стоком. В Пермском крае не проводится и не проводилось наблюдений за склоновым стоком, а, тем более, с разделением его на поверхностный склоновый, подземный и сток верховодки, как это делается в предлагаемом в [1] методе, и на чем, собственно, данный метод и основан.

В настоящей работе используется косвенный, балансовый метод оценки, основанный на анализе невязки химического баланса водотоков, дренирующих рассматриваемую территорию. Метод дает интегральную, объемную оценку диффузного загрязнения. Он может быть применен только при выполнении определенных условий:

- наличие в начале и в конце рассматриваемого участка водного объекта створов, имеющих выровненные по ширине и глубине потока распределения концентраций загрязняющих веществ, обычно выравнивание концентраций происходит после прохождения потоком излучин, крутых поворотов, сужений русла;

- значительные размеры участка по длине, чтобы процессы перемешивания и разбавления загрязняющих веществ завершились;

- по ширине участок должен занимать всю ширину водного объекта, включая и основное русло, и все боковые протоки;

- в начальных и конечных створах участка должны быть проведены полевые исследования или должны быть данные многолетнего мониторинга за качеством воды.

Для акваторий Камского и Воткинского водохранилищ приведенные условия выполняются.

Для расчетов используются материалы сетевых наблюдений подразделений Росгидромета за качеством воды в створах Камских водохранилищ.

Для выделения из общего потока загрязняющих веществ (далее ЗВ) в створах объемов от регламентированных сбросов сточных вод используются материалы государственной отчетности 2-ТП (водхоз).

Материалы ЦГМС содержат концентрации ЗВ в воде в пунктах отбора проб воды на рассматриваемом участке. Умножив эти концентрации на объемы воды в этих пунктах и в эти сроки отбора, можно определить объемы загрязняющих веществ, переносимых рекой в данных пунктах. Необходимо отметить расчет объемов воды в створах. В связи с расположением почти всех створов наблюдений на акватории водохранилища, расходы воды на них не измеряются. Обычно, для створов Соликамск, Березники, Огурдино и др. для расчетов использовался расход в пгт Тюлькино, для створов Воткинского водохранилища – объемы сбросов через плотину КамГЭС. В данном исследовании мы постарались учесть основной промежуточный приток.

Материалы госотчетности 2-ТП (водхоз) дают объемы ЗВ, поступающие в водные объекты между выбранными створами от сбросов предприятий, то есть

регламентируемые. Разность между приростом объема ЗВ по наблюдениям ЦГМС и объемами из 2-ТП (водхоз) дает объемы латентного, диффузного загрязнения от не регламентируемых источников.

### **Анализ результатов**

В таблице приведены рассчитанные объемы ЗВ на участках Камских водохранилищ между створами наблюдений за качеством воды. Положительный привнос ЗВ наблюдается в районе промышленных узлов: Соликамск-Березники, Пермь-Краснокамск, Чайковский.

Для более точного определения величины диффузного стока были рассчитаны объемы привноса ЗВ притоками на каждом участке. Как показывает последняя графа таблицы, даже при значительном положительном привносе ЗВ диффузная составляющая может быть нулевой, а весь привнос обусловлен впадающими притоками.

### **Объемы загрязняющих веществ на участках Камских водохранилищ между створами наблюдений за качеством воды**

<b>Границы участка</b> <i>Впадающие реки</i>	Расстояние от устья, км	F <sub>вдсб</sub> пост км <sup>2</sup>	$\bar{Q}$ , м <sup>3</sup> /с	M <sub>ЦГМС</sub> , мг/л	W <sub>ЗВ</sub> в створе, т	W <sub>ЗВ</sub> на участке, т	
						Полн.	без 2-ТП /дифф.
<b>Гайны</b>	1168	27400	229	90,3	0,65		
<i>Коса</i>		6340	45,3	281	0,40		
<i>Пильва</i>		1870	19,3	184	0,11		
<i>Вишера</i>		30900	506	184	2,94		
<b>Тюлькино</b>	944	81800	926	140	4,10	3,45	3,45/0
<i>Мошевица</i>		275	2,64	149	0,01		
<b>Соликамск в.г.</b>	930	83600	945	188	5,61	1,51	1,51/1,5
<i>Боровая</i>		456	4,33	150	0,02		
<i>Усолка</i>			4,66	382	0,06		
<b>Соликамск н.г.</b>	916	84100	954	272	8,19	2,58	2,36/2,28
<i>Лысьва</i>			2,66				
<b>Березники</b>	895	84400	957	209	6,32	-1,87	-1,87
<i>Зырянка</i>		363	3,36	388	0,04		
<b>Огурдино</b>	880	91600	965	316	9,62	3,30	2,97/2,93
<i>Яйва</i>		5700	98,6	350	1,09		
<i>Кондас</i>		896	7,19	280	0,06		
<b>Усть-Пожва</b>	835	95200	1070	187	6,31	-3,31	-3,32
<i>Косьва</i>		6220	88,3				
<i>Иньва-Слудка</i>		5210	38,9	377	0,46		
<i>Обва-Ильинское</i>		7390	48,8	391	0,60		
<i>Чермоз</i>			4,94				
<i>Добрянка</i>		245	2,37				
<i>Тюсь</i>		58	0,43				
<i>Полуденная</i>			1,45				
<i>Гаревая</i>			1,22				
<b>Добрянка</b>	745	120000	1257	112	4,44	-1,88	-1,88
<i>Полазна</i>		59,2	0,56				
<i>Чусовая-Лямино</i>		21500	215	198	1,35		
<i>Чусовая-Н.Шалыги</i>		23300	233	235	1,72		
<i>Сылва-Подкаменное</i>		19700	154	698	3,39		

## Окончание таблицы

Пермь Камское	691	168000	1705	220	11,81	7,38	7,31/2,19
Гайва		306	2,77				
Пермь Воткинское	690	169000	1760	218	12,10	0,29	0,29
Мулянка Верхняя		336	1,8				
Пермь н.г.	671	169500	1762	246	13,67	1,57	1,55
Краснокамск в.г.	639	170000	1762	222	12,32	-1,35	-1,42
Ласьва			2,67				
Сюзьва			2,71				
Краснокамск н.г.	624	171000	1767	232	12,93	0,60	0,571
Нытва		477	2,74				
Поломка			2,18				
Оханск	539	173000	1772	266	14,87	1,94	1,94
Очер		1190	7,62				
Тулва		1890	13,9				
Пизьма			2,04				
Частая			1,05				
Головниха			0,534				
Елово	427	182000	1797	250	14,15	-0,71	-0,72
Ножовка			0,878				
Чайковский	357	184000	1798	185	10,50	-3,65	-3,65
Сайгатка		291	2,11				
Чайковский н.г.	340		1752	202	11,14	0,64	0,63

**Выводы**

Была предпринята попытка уточнить метод расчета диффузного стока, предложенный в [3] путем учета привноса ЗВ притоками. Проведенные расчеты показали, что для участков водохранилищ, где наблюдается существенный боковой приток, данное уточнение играет решающую роль. Даже при значительном положительном привносе ЗВ диффузная составляющая может быть нулевой, а весь привнос обусловлен впадающими притоками.

**Библиографический список**

1. Ясинский С.В., Веницианов Е.В., Вишневская И.А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Водные ресурсы. 2019. Т.46. № 2. С. 232–244.
2. Reckhow K.H., Beanlac M.N., Simpson J.T. Modeling phosphorus loading and lakeresponce underuncertainty: amanual andcompilation of export coefficients. 1980. EPA – 440/s-80-0.
3. Lepikhin, A.P., Wozniak, A.A., Lyakhin, Yu, S, Bogomolov, A. V. Scope and structure of diffuse pollution of the Kama reservoir // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 321 (2019) 012050. doi:10.1088/1755-1315/321/1/012050.

И.Н. Алфёров<sup>1</sup>, А.Я. Гаев<sup>2</sup>, [maneb-or@mail.ru](mailto:maneb-or@mail.ru)

<sup>1</sup>*Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup>*Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН,  
г. Оренбург, Россия*

## ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РЕГИОНАХ С НЕДОСТАТОЧНЫМ УВЛАЖНЕНИЕМ

Научно-техническая революция (НТР) вызвала резкий рост техногенной нагрузки на окружающую среду (ОС). Наиболее значительный экологический ущерб несут регионы с недостаточным увлажнением, особенно от потери лесистости на планете и биоты в океанах и поймах рек. Опасно нарушаются водный и газовый баланс, отражающие изменения климата особенно в зоне недостаточного увлажнения с аридизацией климата, усилением стихийных бедствий и смещениями границы аридной зоны на север. Эти процессы показаны на примере Оренбуржья и особенно убедительно в бассейне Аральского моря, где экологическая катастрофа обусловлена орошаемым земледелием с отсталой технологией. Переход на капельное орошение и организационно-технологическая модернизация водопользования позволит сократить затраты вод на орошение в 3 раза. Трансграничные водные ресурсы должны обеспечивать здоровье и жизнь людей, живущих и будущих поколений, а также устойчивое социально-экономическое развитие государств. Для этого вода должна стать товаром с учетом ее качества. Тот, кто загрязняет, должен платить за ее очистку, руководствуясь принципом «не навреди соседу». Переход на рыночные отношения с внедрением новых технологий и передовых организационных мер поднимет эффективность освоения регионов с недостаточным увлажнением типа Оренбуржья и возродит к активной жизни такие регионы, как бассейн Аральского моря.

*Ключевые слова:* трансграничные водные ресурсы, вода должна стать товаром, аридизация климата, экологическая катастрофа, торговые отношения.

I.N. Alferov<sup>1</sup>, A.Ya. Gaev<sup>2</sup>, [maneb-or@mail.ru](mailto:maneb-or@mail.ru)

<sup>1</sup>*Institute of Economics, Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russia*

<sup>2</sup>*Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of the RAS, Orenburg, Russia*

## GENERATION OF THE HYDROGEOECOLOGICAL SITUATION IN REGIONS WITH DEFICIENT HUMIDIFICATION

Scientific and technological revolution (STR) has caused a great increase in anthropogenic pressure on the environment (EE). The most significant environmental damage is suffered by regions with insufficient moisture, especially from the loss of forest cover on the planet and biota in the oceans and floodplains of rivers. Water and gas balances are dangerously disturbed reflecting climate changes especially in the zone of insufficient humidification with climate aridization, intensification of natural disasters and shifts of arid zone border to the north. These processes are shown on example of Orenburg region and especially convincingly in the Aral Sea basin, where ecological disaster is caused by irrigated agriculture with backward technology. Transition to drip irrigation and

organizational and technological modernization of water use will allow reducing water consumption for irrigation by 3 times. Transboundary water resources should ensure health and life of people living and future generations as well as sustainable socio-economic development of states. For this purpose, water should become a commodity in terms of its quality. Those who pollute should pay for its treatment, guided by the principle "do no harm to neighbor". Transition to market relations with introduction of new technologies and advanced organizational measures will raise efficiency of under-watered regions development such as Orenburg region and revive such regions as the Aral Sea basin to active life.

*Keywords:* transboundary water resources, water should become a goods, climate aridization, ecological disaster, trade relations.

### ***Введение***

После отмены крепостного права производительные силы России развиваются быстрее, хотя и рывками. Но почти не учитываются возможности природного комплекса противостоять негативным экологическим последствиям вторжения человека в окружающую среду и гидросферу. В недостаточной мере исследуются и учитываются эволюционные процессы в системе В.И. Вернадского вода-порода-газ-живое вещество [23] и взаимосвязи вторжения человека в природу с ее состоянием и изменениями климата. До появления человека и его технологий природный комплекс развивался под воздействием эндогенных и экзогенных процессов, но иначе, чем сегодня, когда резко теряется лесистость на планете и биота в океанах и поймах рек.

Нарушения водного баланса на планете приобретают крайне опасные масштабы. В совокупности они отражаются в изменении климата планеты. Их проявление имеют нелинейный характер и особенно контрастны в зоне недостаточного увлажнения. Вариации влажности и температуры во внешних оболочках Земли характеризуются аридизацией климата с усилением и ростом частоты стихийных бедствий и, в частности, смещением границы между гумидной и аридной зонами в северном направлении. Эти изменения происходят значительно быстрее, чем обычно в естественных условиях. Эта закономерность проявляется не только в Оренбуржье, где границы сухих степей за последние столетия сместились на север, оставив в степях таежные реликты типа Бузулукского бора. Негативные процессы охватили даже горные районы ЦА [1; 14; 15]. Скорость процессов аридизации климата нарастает с середины прошлого века по мере усиления техногенной нагрузки и геоэкологических преобразований [4; 5]. Эти негативные изменения происходят на планете повсеместно, и их ярким примером служит экологическая катастрофа в бассейне Аральского моря.

**Распределение водных ресурсов в горных и равнинных государствах.** Экологическая катастрофа в виде аридизации климата проявилась наиболее контрастно и скоротечно из-за не обоснованного и грубого нарушения водного баланса территории. В СССР, в условиях плановой экономики и комплексного использования природных и водных ресурсов осуществлялось разделение труда между регионами и республиками. В горных районах Центральной Азии (ЦА), богатых ледниками и водными ресурсами, для управления водно-энергетическими ресурсами в горных республиках в 30-х гг. XX столетия

развернулось гидроэнергетическое и ирригационное строительство. В горных районах был построен каскад водохранилищ и огромная сеть каналов, обеспечивавших управление водным стоком и комплексное, плановое использование водных ресурсов региона. Был создан крупный энергетический центр со среднеазиатской водохозяйственной, энергетической и ирригационной системой. Мощные энергоагрегаты построены на Нурекской и Головной ГЭС на р. Вахш, Кайраккумской на р. Сырдарья, на электростанциях Вахшского магистрального и Варзобского деривационного каналов. Только в Таджикистане сеть каналов (магистральных и распределительных) составила до 200 протяженностью в 28 тыс. км. В Кыргызстане протяженность каналов составляет 19200 км, а коллекторно-дренажной сети – 5436 км. Здесь построено до 620 водохранилищ [2]. В регионе в целом к XXI столетию осуществлена сплошная электрификация промышленности и сельского хозяйства, что позволило построить и электроемкие предприятия. Потенциальные энергоресурсы только Таджикистана составляют 527 млрд кВт·час / год (из доклада Э. Рахмонова, 04.12.2007), из которых используется только 5% [19, 20].

**Роль водопользования в специализации экономики региона.** Основные водные ресурсы расходуются на орошение земель на равнинах Узбекистана, Казахстана и Туркмении. Регион с пятью республиками, ныне суверенными государствами с самого начала имел общую ирригационно-энергетическую направленность. Он был обеспечен водой и электроэнергией с расчетом даже на маловодные годы, будучи включенным в энергетическую систему СССР. В ЦА производство электроэнергии было сосредоточено в Кыргызстане и Таджикистане, а использовались водные ресурсы, в основном, на орошение в Казахстане, Узбекистане и Туркменистане. На территории этих пяти республик сформировался единый водохозяйственный и энергетический регион, ставший ведущим в СССР по производству хлопка, зерна, мяса и шерсти. В каждой республике была сформирована своя узкая специализация экономики. В Кыргызстане и Таджикистане ведущими отраслями хозяйства стали гидроэнергетика и горнодобывающая промышленность. В Казахстане, Узбекистане и Туркмении главным в экономике стало орошаемое земледелие с широким использованием пресных вод на орошаемых сельскохозяйственных землях, обводняемых пастбищах и сенокосных угодьях. Удовлетворялись так же коммунально-бытовые нужды населения и местной промышленности. Регион относится к аридной зоне, но благодаря горным системам с большим количеством ледников и атмосферных осадков он хорошо обеспечен водой. Ее ресурсы формируют «карасу» (родниковый сток). Даже после собственного водопотребления с территории Таджикистана и Кыргызстана водный сток рек превышает 70 км<sup>3</sup>/год. Если учесть, что Кыргызстан и Таджикистан относятся к аридной зоне, то, очевидно, что они обеспечены водой очень хорошо. Среднегодовой поверхностный сток с 1 км<sup>2</sup> их территории варьирует в пределах 10-11,5 л/с, уступая только Грузии (24,4 л/с). С территории б. СССР водный сток почти вдвое меньше (6,25 л/с), а с равнин государств ЦА – еще меньше (2,9 л/с). Высокая обеспеченность региона водой обусловлена наличием горно-ледниковой зоны Памиро-Алая и Тянь-Шаня с количеством атмосферных



осадков до 2500 мм в год [10]. По водному стоку выделяются бассейны рр. Пяндж и Вахш. В Таджикистане эксплуатируются 44 месторождения подземных вод с эксплуатационными запасами 2,196 км<sup>3</sup>/год, а в Кыргызстане детально изучены 44 месторождения с эксплуатационными запасами 5,3 км<sup>3</sup>/год, хотя выявлено 106 месторождений [16; 18; 25]. Пока используются систематически для водоснабжения населения и промышленности только 20 месторождений, а, в целом, прогнозные запасы подземных вод питьевого качества превышают 13 млн. км<sup>3</sup>/год [12]. В горных республиках подземные воды используются для питья, хозяйственно-бытовых и технических нужд, в т.ч. для орошения, но используются их запасы менее, чем на 20 %. Каждый житель этих республик обеспечен пресной водой в количестве 15 тыс. м<sup>3</sup>/год. Несмотря на такое изобилие, из-за снижения качества растет дефицит питьевых вод. Осложняет ситуацию крайняя неравномерность в распределении водного стока в пространстве, по сезонам года и в многолетнем плане [13; 21; 24]. А поскольку орошение требует воду в определенные периоды, то в горных республиках ЦА созданы многочисленные водохранилища для решения задач ирригации и энергетики с сезонным регулированием общим объемом воды в Таджикистане и Кыргызстане до 50 млрд. м<sup>3</sup>, без учета вод в озерах. Гидротехническое строительство в регионе продолжается. Все больше воды потребляется растущим и, к сожалению, слишком водоемким орошаемым земледелием. Промышленные предприятия (азотнотуковых удобрений, алюминиевый, кабельный и др.) тоже водо-затратные, расходуя сотни м<sup>3</sup> воды на производство тонны продукции, 35 м<sup>3</sup> идет только на переработку 1 т нефти. Недостаточно очищенными сточными водами загрязняются водоемы. Строительство очистных сооружений и систем оборотного водоснабжения, исключающих сброс сточных вод в водоемы с развалом СССР затянулось на годы, хотя на предприятиях существуют планы перевода их на замкнутые системы водоснабжения с забором воды только в объеме безвозвратных потерь. А пока коммунальные хозяйства и предприятия сбрасывают недостаточно очищенные стоки в водоемы, загрязняя их. Объемов речных вод для разбавления сточных вод не хватает. Санитарные нормы речных вод нарушаются на урбанизированных территориях, особенно в летне-осенний сезон, когда воды, стекающие с орошаемых земель, повсеместно теряют прозрачность и загрязнены бактериологически [19; 20].

**Водохозяйственные противоречия государств ЦА** нарастают, поскольку основные расходы и инвестиции ложатся на горные республики. На свои нужды они расходуют не более 10-20 % вод, формирующихся у них в горах, а главными потребителями вод являются государства равнин. Так, только Узбекистан расходует воды в объеме до 65 км<sup>3</sup>/год, и не менее половины этого объема возвращает в реки с коллекторно-дренажными и сточными водами, загрязняя их [22]. В целом по ЦА возвратные воды составляют до 38 км<sup>3</sup>/год [12]. Максимально загрязняются урбанизированные территории. Даже в горном Таджикистане, у Душанбе и у городов Регар и Денау загрязнены реки Кафирниган и Сурхандарья. Река Варзоб после впадения р. Такоб дренирует стоки плавиково-шпатового комбината с тяжелыми металлами.

Неравномерность водного стока (сезонная и многолетняя) дестабилизирует электроэнергетику. Зимой, когда ледники не тают, воды для работы гидроэлектростанций не хватает, что создает перебои с подачей в необходимых объемах электроэнергии населению и предприятиям. В советский период на искусственных водоемах развивались рыбные прудовые хозяйства. С распадом СССР крупнейшие водохранилища оказались в разных государствах. Межведомственные противоречия превратились в межгосударственные. Крупные объемы воды на орошаемых землях в равнинных государствах ЦА породили острый недостаток ее в зимний период для выработки электроэнергии на электростанциях Таджикистана и Кыргызстана. Обострились противоречия между потребителями, использующими 91,6 % водных ресурсов на орошаемое земледелие из 110,46 км<sup>3</sup> общих затрат пяти республик, в т.ч. 9,3 км<sup>3</sup> подземных вод. На хозяйственно-питьевое водоснабжение и коммунальные нужды тратится менее 3,6 % вод, промышленностью расходуется 1,92 %, сельским населением – 1,56 %, а рыбным хозяйством – 0,78 %. Затраты воды государствами ЦА не соответствуют их водным ресурсам и вкладу в водохозяйственные проблемы. Таджикистан и Кыргызстан используют соответственно поверхностных и подземных вод по 11-12 км<sup>3</sup> (10-11 %). Это значительно меньше остальных государств. Так, Узбекистан расходует больше половины вод региона (51,1 %), Туркменистан – почти четверть (23,1 %). Горный рельеф в Таджикистане и Кыргызстане обусловил дефицит земельных ресурсов, соответственно 0,13 и 0,17 га/чел., что несоизмеримо с соседними государствами. Несоизмеримо и использование природных вод в этих странах (11,06 и 4,59 км<sup>3</sup> поверхностных и 0,97 и 0,51 км<sup>3</sup> подземных вод). Например, в Узбекистане использование их составляет соответственно 51,68 и 6,9 км<sup>3</sup> [12].

Водохозяйственные противоречия между горными и равнинными государствами свидетельствуют о необходимости разработки новых научно-производственных подходов к проблеме, чтобы выйти из сложившейся тупиковой ситуации. Перераспределение трансграничных водных ресурсов было отвергнуто в конце советского периода из-за явного несовершенства технологий использования вод при орошении и их межбассейнового транспортирования. Это и привело к ситуации погибающего Аральского моря. Выходу из сложившейся тупиковой ситуации сегодня препятствует не столько отставание в развитии и уровне внедрения технологии капельного орошения, сколько разобщенность государств ЦА. Эта ситуация обусловлена:

1. Глубиной водохозяйственного кризиса, вызванного грубым нарушением водного баланса в регионе из-за необоснованных объемов забора пресных вод для орошения земель.

2. Отсталой, затратной технологией производства с необоснованно высокими затратами воды, прежде всего, при орошении земель при наличии в мировой практике более совершенных капельной и оборотных замкнутых технологий.

3. Противоречиями водохозяйственных интересов энергетики государств горных районов Таджикистана и Кыргызстана и орошаемого земледелия на равнинах Узбекистана, Казахстана и Туркмении, которые являются главными

потребителями водных ресурсов. Эти противоречия закреплены в конституционных правах и законах о воде суверенных государств. Они, защищая водохозяйственные интересы суверенов, фактически торпедируют интересы региона в целом. До распада СССР решение проблем водного баланса виделось в перебросках в бассейн Аральского моря вод из Сибирских рек. Теоретически это могло бы стабилизировать водохозяйственную ситуацию, но практически этому препятствовало несовершенство технологий, особенно в орошаемом земледелии и при транспортировке вод. Чрезмерно большие потери воды в этих проектах превращали их в затратные и в не эффективные.

**О возможных перспективах водопользования в ЦА.** С переходом на рыночную экономику вода приобрела качества товара. И только при таком подходе могут быть обоснованы мероприятия по рациональному использованию воды, их транспортировке с потерями на инфильтрацию и испарение из водоемов. Эти потери разными исследователями оцениваются от 10-12 до 20 км<sup>3</sup> и более. При оценке воды в качестве товара, все операции, с ней связанные, включая систему мониторинга, мероприятия по снижению потерь и внедрение капельного орошения будут так же экономически оправданы. Дело сдвинется, если потери воды и затраты на нее при орошении будут понижены в 2-3 раза. Реальность решения этой проблемы видится в правильной постановке первоочередных задач, и не следует пытаться сразу преодолеть катастрофическую ситуацию в бассейне Аральского моря. Сначала государствам ЦА необходимо принять решение и создать в регионе свободную экономическую зону с международным организационным центром для размещения административно-управленческого органа. Он будет заниматься созданием в Приаралье предприятий по освоению свободной экономической зоны и формированию здесь социально-экономических и природных оазисов. Надо организовывать технопарки и предприятия с наукоемкими технологиями, привлекая крупные инвестиции и средства из благотворительных фондов для освоения региона с засоленными песками и водоемами. Вместе со значительными инвестициями необходимо повысить интеллектуальный потенциал территории для ее возрождения, освоения и дальнейшего развития. Пусть сначала на гибнущей территории Приаралья возникнут отдельные оазисы, как некогда было при освоении Голодной степи. Но это создаст перелом в решении проблем водного хозяйства и землепользования в бассейне Арала.

Мы ограничились двумя фрагментами деградации систем управления водными ресурсами на территории бывшего СССР с советского периода. Почти повсеместно перестало контролироваться и регулироваться качество природных вод. В ЦА сохранились только реликты в сфере деления поверхностных водных ресурсов. Сохранились лимиты на водные ресурсы с советского времени, отдававшие предпочтение орошению земель. Таджикистану и Кыргызстану выделяется всего 10,9 и 4,5 % соответственно при их, доле в формировании водного стока 55,4 и 25,3 %. А они вынуждены сами закупать зимой в ущерб себе и своей экономике энергоносители. Очевидна необходимость модернизации системы распределения водных ресурсов, чтобы не довести противоречия до антагонистических. При наличии заявлений и соглашений между государствами

ЦА об изменении стратегии водохозяйственной деятельности, существенные сдвиги в этом сложном вопросе пока отсутствуют. Каждое государство стратегически стремится к устойчивому социально-экономическому развитию с оптимальным, комплексным и рациональным использованием и охраной природных ресурсов. На словах провозглашаются приоритеты в водопользовании трансграничными водными ресурсами.

Система орошаемого земледелия, сложившаяся в СССР в районах недостаточного увлажнения, характеризуется большой затратностью и требует существенного уменьшения водоемкости орошаемого земледелия. Расходы воды при переходе на капельное орошение могут быть сокращены, как минимум, в 3 раза. Переход на рыночные отношения при умелом экономическом подходе и внедрении самых передовых организационных и научно-технических средств и технологий позволит поднять эффективность освоения регионов с недостаточным увлажнением, в том числе, Оренбуржья и бассейна Аральского моря.

Неравномерность распределения ресурсов подземных вод по сезонам года и в многолетнем плане в регионах с недостаточным увлажнением требует применения методов восполнения их запасов за счет паводковых вод. Наиболее простым способом этой технологии служит обустройство инфильтрационных аллювиальных водозаборов по берегам водоемов. При инфильтрации из водоемов происходит самоочищение поверхностных вод, нередко загрязненных, со значительным улучшением их качества, что исключает их дополнительную очистку и подготовку. Качество вод можно и нужно улучшать путем создания геохимических и гидродинамических барьеров [3; 17]. По простоте и не высокой стоимости их использования они значительно превосходят известные методы очистки вод [6-8; 11]. Для регионов ЦА наряду с внедрением новых методов полезно использовать опыт предков по строительству и эксплуатации кяризов и других устройств каптирования подземных вод.

### **Выводы**

НТР сопровождается резким ростом техногенной нагрузки на ОС и природные воды. Наиболее значительный экологический ущерб несут регионы с недостаточным увлажнением, особенно от потери лесистости на планете и биоты в поймах рек и в океанах. Опасные масштабы приобретают нарушения водного и газового баланса, проявляющиеся особенно контрастно в зоне недостаточного увлажнения с аридизацией климата, усилением стихийных бедствий и смещениями границы аридной зоны на север. Эти процессы показаны на примере Оренбуржья и особенно убедительно в регионе Аральского моря. Нарушение водного баланса с необоснованными масштабами применения орошаемого земледелия с отсталой технологией привело к экологической катастрофе. Переход на капельное орошение и организационно-технологическая модернизация водопользования сократит затраты вод на орошение более, чем в 3 раза. Трансграничные водные ресурсы должны обеспечивать здоровье и жизнь людей, живущих и будущих поколений, а также устойчивое социально-экономическое развитие государств. Для этого вода должна стать товаром с учетом ее качества. Тот, кто загрязняет, должен платить за ее очистку,

руководствуясь принципом «не навреди соседу». Переход на рыночные отношения с внедрением передовых технологий и организационных мер повысит эффективность освоения регионов с недостаточным увлажнением типа Восточного Оренбуржья и возродит к активной жизни бассейн Аральского моря.

*Работа выполнена в рамках темы № 0404-2019-0019 в соответствии с планом НИР ИЭ УрО РАН.*

### **Библиографический список**

1. Абдурахимов С.Я., Саидова Д.Н. Антропогенные изменения основных экологических компонентов в Таджикистане // Центрально-Азиатские гуманитарные исследования. Худжанд: Вароруд. 1999. № 3. С. 65–72.
2. Аламанов С.К. Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии. Москва-Бишкек: ИПО Лев Толстой, 2006. 188 с.
3. Бабушкин В.Д., Гаев А.Я., Гацков В.Г. и др. Научно-методические основы защиты от загрязнения водозаборов хозяйственно-питьевого назначения. Пермь: Перм. ун-т, 2003. 264 с.
4. Второе Национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Бишкек, 2008. 216 с.
5. Второй отчет о прогрессе в достижении Целей развития Тысячелетия. Бишкек, 2010. 158 с.
6. Гаев А.Я., Алферов И.Н., Гацков В.Г. и др. Экологические основы водохозяйственной деятельности (на примере Оренбургской области и сопредельных районов); под ред. А.Я Гаева. Пермь-Оренбург, 2007. 327 с.
7. Гаев А.Я., Алферов И.Н., Алферова Н.С., Лихненко Е.В. Установка совмещенного вертикального и горизонтального дренажа при локализации загрязненных флюидов. Патент № 47914, зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ 10 сентября 2005 г.
8. Гаев А.Я., Алферов И.Н., Алферова Н.С. и др. Устройство барьерного типа перед водозабором пресных подземных вод. Патент № 55382, зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ 10.08.06 г.
9. Герасимов И.П. Научные проблемы преобразования природы Средней Азии для развития орошаемого земледелия и пастбищного животноводства // Проблемы преобразования природы Средней Азии. М.: Наука, 1967. С. 5–23.
10. Гидрогеология СССР. Таджикистан. М.: Недра, 1972. Том ХLI. 374 с.
11. Клейменова И.Е., Беликова Н.Г., Гаев А.Я. Патент на полезную модель № 66702 от 27 сентября 2007 г.
12. Маматканов Д.М. Комплексное использование и охрана водных ресурсов Центральной Азии // Вода и устойчивое развитие Центральной Азии: материалы проектов (2000). Бишкек: Элита, 2001. С. 69–77.
13. Национальный диалог по водной политике в Кыргызстане в сфере интегрированного управления водными ресурсами // Процесс и результаты за 2008-2013 гг. Бишкек, 2013. 48 с.

14. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Кыргызской Республики за 2011-2014 гг. Бишкек, 2016. 163 с.
15. Окружающая среда в Кыргызской Республике 2010-2014 гг. // Статистический сборник. Бишкек, 2015. 82 с.
16. *Оролбаева Л.Э.* Геогидрология горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая). Бишкек: Текник, 2013. 185 с.
17. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
18. *Подрезов О.А.* Современный климат Бишкека, Чуйской долины и Северного склона Киргизского хребта. Бишкек, 2013. 201 с.
19. *Рахимов А.И., Саидова Д.Н., Абдурахимов С.Я.* Гидрогеоэкологические особенности территории Северного Таджикистана // Мат. VI Междунар. науч.-практ. конф. «Татищевские чтения». Актуальные проблемы экологии и охраны ОС. Тольятти: Волжский ун-т им. В.Н. Татищева, 2009. С. 227–233.
20. *Рахимов А.И.* О водохозяйственных проблемах Республики Таджикистан // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий: материалы 2-ой Всерос. науч.-практ конф. Екатеринбург, 2009. С. 137–140.
21. *Саидова Д.Н.* Геоэкологические особенности природно-технических систем и их оценка (на примере Северного Таджикистана с целью оптимизации природопользования): Автореф. дисс ... к.г-м.н. Оренбург: Оренбургский госуниверситет, 2008. 16 с.
22. *Усков Ю.С.* Водный режим рек и гидрогеологическое районирование: Таджикистан: природа и природные ресурсы. Душанбе, 1982. 127 с.
23. *Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А. и др.* Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т.2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза. Новосибирск: СО РАН, 2007. 389 с.
24. *Эргешов А.А., Цигельная И.Д., Музакеев М.А.* Водный баланс Кыргызстана. Бишкек: Илим, 1992. 151 с.
25. Antoine Chandonnet. Environment, climate change and migration In the Kyrgyz Republic/ [Antoine Chandonnet, Z. Mamadalieva, L. Orolbaeva and oth.]. Bishkek, 2016. 108 p.

Т.А. Балина, Р.С. Николаев, В.А. Столбов, Л.Ю. Чекменева, [seg@psu.ru](mailto:seg@psu.ru)  
*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

## **КАМСКАЯ РЕЧНАЯ СИСТЕМА КАК ДРАЙВЕР РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ**

Рассмотрена роль и функции Камской речной системы как природной основы социально-экономического развития Пермского края. Выявлены конкурентные преимущества Прикамья в контексте развития транспортно-логистической системы, энергопроизводства, рыбного хозяйства и аквакультуры, туризма и рекреации. Особое внимание уделено проблемам взаимодействия ведущих отраслей промышленности Пермского края с Камской речной системой. Показаны основные направления вовлечения речной системы в народнохозяйственный комплекс края в новых рыночных условиях. Обоснована необходимость позиционирования Камы как бренда Пермского края.

*Ключевые слова:* Камская речная система, транспортно-логистическая система, Пермский край.

T.A. Balina, R.S. Nikolaev, V.A. Stolbov, L.Yu. Chekmeneva, [seg@psu.ru](mailto:seg@psu.ru)  
*Perm State University, Perm, Russia*

## **KAMSKAYA RIVER SYSTEM AS A DRIVER REGIONAL DEVELOPMENT**

The role and functions of the Kama river system as a natural basis for the socio-economic development of the Perm region are considered. The competitive advantages of the Kama region are revealed in the context of the development of the transport and logistics system, energy production, fisheries and aquaculture, tourism and recreation. Particular attention is paid to the problems of interaction between the leading industries of the Perm Territory and the Kama river system. The main directions of involving the river system in the national economic complex of the region in the new market conditions are shown. The necessity of positioning Kama as a brand of the Perm Region has been substantiated.

*Keywords:* Kama river system, transport and logistics system, Perm region.

### ***Введение***

Пермский край, как и многие индустриальные регионы, испытывает трудности перехода к постиндустриальному этапу развития. Как показывает мировая практика и опыт высокоразвитых стран, старопромышленные районы могут выйти на новый этап развития благодаря новым формам организации производства и перехода к инновационным видам деятельности. Важную роль в этих трансформационных процессах играет выгодность экономико-географического положения, которое определяет возможности освоения и реализации природно-ресурсного потенциала территории, ее связи с

сопредельными регионами, степень включенности в процессы международного разделения труда.

Пермский край имеет очень выгодное экономико-географическое положение, которому способствует наличие сложной полимодальной транспортной системы. В истоках ее формирования лежала речная сеть, благодаря которой началось заселение и освоение края, сформировалась его промышленная специализация, возникла система расселения. Исторически сложилось, что на протяжении пяти веков Камская речная сеть была драйвером регионального развития.

Пермский край, взяв курс на развитие рыночных отношений, переход к постиндустриальной экономике и инновационные производства, утратил свое главное конкурентное преимущество – наличие разветвленной речной системы и сформировавшейся на ней транспортно-логистической инфраструктуры. Социально-экономическое развитие региона требует возрождения речной инфраструктуры как важнейшего элемента транспортной системы Прикамья.

### *Материалы и обсуждение*

Территорию Пермского края недаром называют Уральским Прикамьем. Она почти полностью расположена в бассейне р. Камы – крупнейшего притока Волги. Бассейновый характер границ края придает целостность его природно-хозяйственному комплексу, облегчает экологический контроль на территории, создает благоприятные предпосылки для рационального природопользования [2; 4; 10].

В свое время Кама и ее притоки послужили важнейшим путем проникновения русских в Сибирь, а позже – основным источником энергии и главной транспортной артерией вывоза продукции уральских горных заводов. По состоянию на 1733 г. из 33 металлургических заводов Урала 11 располагались полосой вдоль Камы и в бассейне Сылвы, пять заводов – по Чусовой и впадающим в нее речкам [4].

В настоящее время Кама является частью единой глубоководной системы Европейской части страны с гарантированными глубинами 4 м и протяженностью 6,5 тыс. км, что через ряд каналов обеспечивает краю выход к пяти морям (Каспийскому, Азовскому, Черному, Балтийскому и Белому) и выполняет роль «морских ворот».

Выгодное транспортно-географическое положение накладывает свой отпечаток на функционирование главенствующих производств Прикамья. Ведущим в Пермском краевом территориально-производственном комплексе является горно-химический кластер, представленный предприятиями ОАО «Уралкалий», ЗАО «Верхнекамская калийная компания» и «ЕвроХим». Они единственные в стране осуществляют добычу сильвинита, его обогащение и производство конечного продукта – калийных удобрений.

В то время как в целом по миру производство удобрений приближено к местам их потребления, калийный бизнес «привязан» к местам добычи руды, поскольку возить ее даже на небольшие расстояния невыгодно. Месторождений



сильвинита в мире немного. Всего лишь на двух месторождениях в России и Канаде сконцентрировано почти 80% мировых запасов этого минерала. И если потребляются калийные удобрения практически во всех государствах мира, то их производством заняты всего полтора десятка компаний из одиннадцати стран.

Исследования показывают, что наши калийные предприятия уже не являются лидерами по конечной себестоимости продукции. Их производственные издержки в последние годы быстро росли вместе с оплатой труда и ценами на энергоносители. А преимущества по заводской себестоимости были нивелированы высокими транспортными расходами. Главный конкурентный недостаток производства – удаленность от экспортных терминалов. Это заставляет предприятия наращивать кластер транспортной инфраструктурой. Производители калийных удобрений для экспорта своей продукции были вынуждены приобрести морские погрузочные терминалы.

Специфика работы предприятий, продукция которых пользуется огромным спросом на экспортных рынках, с учетом удаленности от морских портов, ставит особые задачи в сфере логистики и перевозок. Рост объемов производства, неуклонно повышает нагрузку на транспортный сектор. В этой связи на предприятиях поставлена задача по снижению транспортных расходов, поскольку в отдельные периоды транспортная составляющая в структуре коммерческих расходов предприятий достигает 80%.

В связи с тем, что Соликамск является железнодорожным тупиком, удаленным от морских портов, «Сильвинит» дифференцировал свои транспортные потоки за счет отгрузки минеральных удобрений через собственный порт на р. Кама, поскольку свыше 90% продукции «Сильвинита» идет на экспорт. Соликамский железнодорожный узел рассчитан на отправку 4,5 млн т грузов в год. В 2005 году только «Сильвинит» отправил по железной дороге свыше 5,2 млн т своей продукции, поэтому в летнее время он активно использовал дополнительную – водную транспортную артерию. Для этого применялись суда типа «река-море», производимые на пермском судозаводе «Кама». В 2005 г. Соликамский порт отгрузил около 700 тыс. т продукции предприятия. По итогам 2006 г. Промпорт «Сильвинита» стал лидером по отгрузке продукции в навигацию 2006 г. среди речных портов на Кама.

Стабильно высокие показатели перевалки продукции промпорта «Сильвинита» – это был совместный успех всех сотрудников порта, специалистов транспортного отдела и управления железнодорожного транспорта ОАО «Сильвинит», которые организовывали уникальную ритмичность грузопотоков. Со своей стороны, портовики «Сильвинита» не допустили ни одной задержки судов. Избежать этого удалось, в том числе и за счёт своевременного проведения работ по углублению фарватера, что обеспечивало возможность более полной загрузки судов. Всего за период навигации 2006 г. из Соликамского промпорта отправилось 242 судна с продукцией «Сильвинита».

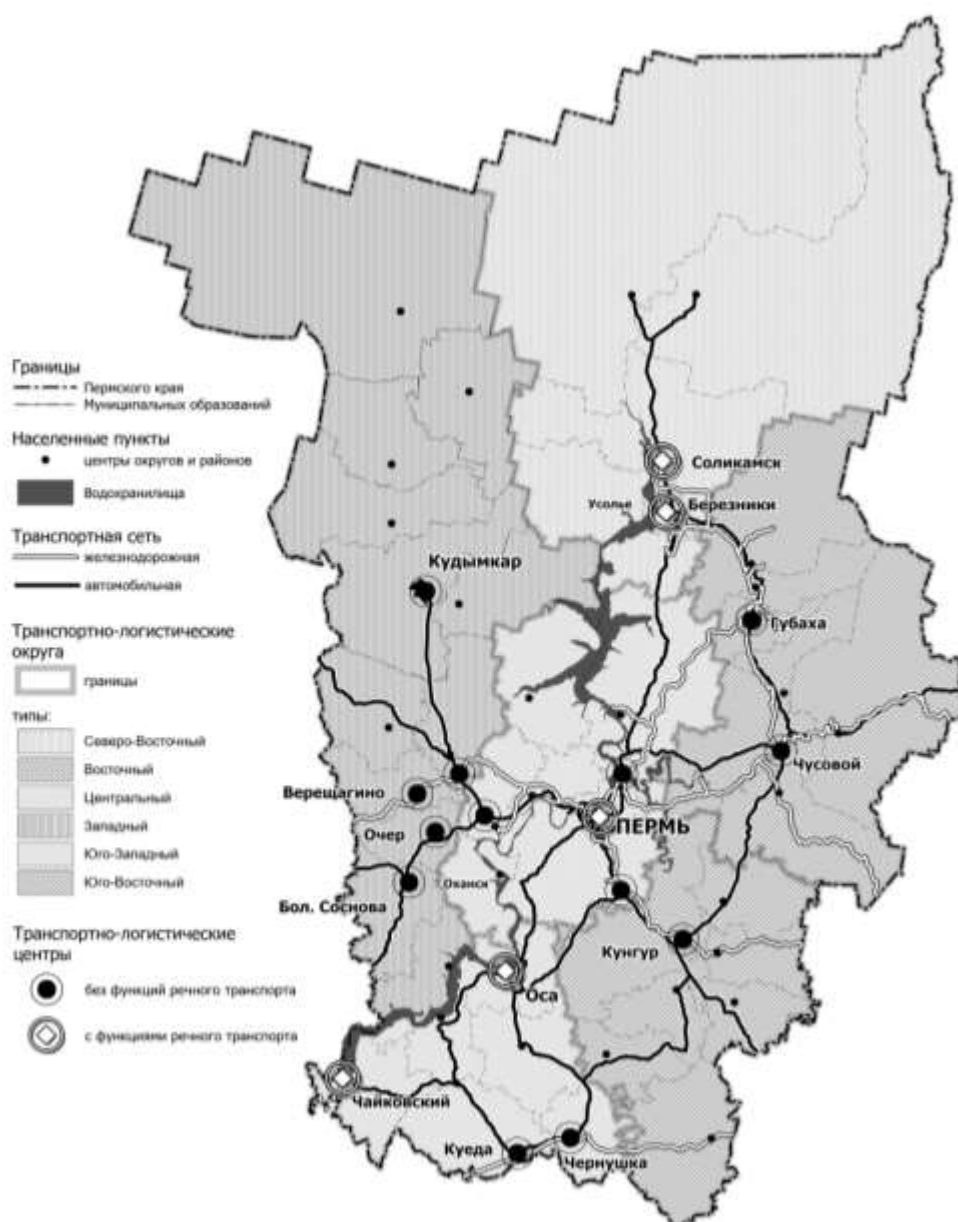
После слияния в 2011 г. «Сильвинита» с «Уралкалием» логистическая политика объединенной компании в корне изменилась. Суда были проданы, заказы на их постройку аннулированы и судозавод «Кама» в итоге обанкротился. Сегодня компания практически не уделяет внимания развитию внутреннего водного транспорта.

Приведенный пример развития ключевой отрасли промышленности Пермского края подтверждает необходимость развития речной транспортной системы, позволяющей усилить не только внутрорегиональные, но и внешнеэкономические связи России.

В Пермском крае можно выделить от 5 до 7 транспортно-логистических округов в зависимости от используемых подходов [7]. Три округа участвуют в речных грузоперевозках: *Северо-Восточный округ*, охватывающий Верхнекамско-Вишерскую часть региона, в которой имеется два речных порта (в Соликамске и Березниках). Оба порта функционируют в разное время с разной степенью интенсивности, обслуживая химическую и целлюлозно-бумажную отрасли (рисунок). В *Центральном округе* основным системообразующим узлом является Пермь с тремя суб-узлами: (Пальниковский, Кукуштанский и Нтывенский). Помимо существующих речных портов здесь есть предпосылки для формирования мощного мультимодального узла в Оханске, где ведущую роль будет играть водный транспорт.

*Юго-Западный округ* включает три транспортно-логистических района, которые в настоящее время функционируют внесистемно. В округе выделяется четыре транспортно-логистических узла, ни в одно из которых полностью не сформировалась максимальная степень мультимодальности и полиструктурности. Так, в г.Осе отсутствует железнодорожный транспорт, в Чернушке и Куеде отсутствует речное сообщение. Кроме того, максимальная эффективность данных узлов с точки зрения распределительного потенциала достигается только при их совместном рассмотрении. Чайковский узел ограничен с точки зрения транзита, так как находится в удалении от железнодорожного сообщения.

Весом гидроэнергетический потенциал водных артерий Прикамья. По обеспеченности водными ресурсами край занимает одно из лидирующих положений в Европейской части страны и первое место на Урале. Значительная величина среднегогодового годового поверхностного стока ( $57,4 \text{ км}^3$ ) и большой высотный градиент (более 1400 м) обусловили первое место края в Уральском экономическом районе по запасам гидроэнергоресурсов. Они оцениваются в 4 млн кВт (более 60% запасов всех рек Урала), но на 40% уже используются [1].



Транспортно-логистическая система Пермского края

Гидроэнергетические ресурсы обеспечивают высокий уровень рентабельности генерирующих компаний. Например, себестоимость кВт/ч электроэнергии, производимой на Воткинской ГЭС в Пермском крае, составила в 2020 г. 42,2 коп., а тариф для населения на первую половину 2020 г. был установлен в размере 4,13 руб., т. е. превышал себестоимость почти в десять раз [9]. Эти параметры себестоимости примерно в шесть раз выше показателей электростанций Ангаро-Енисейского каскада ГЭС [8], но лучшие в Европейской части страны.

Значительная часть этой прибыли оседает у федеральных и региональных посредников – ФОРЭМ, "Пермэнерго", муниципальных сетевых компаний и т. д., но она формируется за счет доходов населения и изъятие ее противоречит его нуждам. Крупнейшие ГЭС края – Камская и Воткинская принадлежат компании "РУСГИДРО", поэтому прибыль станции уходит за пределы региона, что также

не соответствует интересам территории. Подобная ситуация не только противоречит региональным интересам, но и лишает территории стимулов к эффективному использованию имеющегося гидроэнергетического потенциала.

Перспективным направлением в регионе является развитие малой гидроэнергетики, то есть строительство ГЭС мощностью менее 10 тыс. кВт [11]. Пик ее развития в Пермской области пришелся на 1958 г., когда на территории современного края действовали малые сельские гидроэлектростанции общей мощностью 12,1 тыс. кВт, производившие в год 14,7 млн кВт/час электроэнергии [6].

Необходимо отметить важное рыбохозяйственное и аквакультурное значение Камского речного бассейна. По данным специалистов, возможный вылов рыбы в Воткинском и Камском водохранилищах составляет приблизительно 300-350 т в год [5], но эти ресурсы осваиваются приблизительно на половину.

Помимо выше перечисленных конкурентным преимуществам Пермского края необходимо отнести растущую роль туристско-рекреационной деятельности, где особая роль принадлежит Каме и ее притокам. В условиях значительного спада выездного туризма в условиях пандемии, Кама открывает широкие перспективы для развития внутреннего туризма на реках. Традиционно реки рассматриваются как важнейший элемент туристско-рекреационного потенциала региона и яркий территориальный бренд. Пермский край обладает уникальными возможностями для развития туристической индустрии благодаря «разветвленности речной сети, чистой воде верховьев, скульптурным долинам, водохранилищам, навигационной связи с речной системой Волги и реками европейской части страны» [3]. По оценкам специалистов в водных спортивных путешествиях по рекам региона ежегодно участвует более 100 тыс. человек [3].

Говоря о перспективах социально-экономического развития Пермского края на основе использования потенциала Камской речной сети, необходимо помнить об экологических последствиях эксплуатации водных ресурсов. Интенсификация социально-экономического развития региона связана с использованием водных объектов и водных ресурсов, хотя и относящихся к возобновимым, однако имеющим, как и другие ресурсы, пределы возможного использования. Относясь к региональным, водные ресурсы в то же время обеспечивают возможность жизни современного и будущих поколений людей и развитие многих других регионов [2].

Таким образом, социально-экономическое развитие Пермского края тесно связано с интенсивным использованием речной системы и водных ресурсов. Играя важную роль в развитии промышленного и сельскохозяйственного производства, обеспечивая внешнеэкономические связи, они являются основой для развития транспортной инфраструктуры и сферы услуг, что особенно актуально при переходе к постиндустриальному обществу.

## **Выводы**

Транспортные коммуникации – «кровеносная система» экономики на всех территориальных уровнях. Наличие развитой речной системы и её удачное географическое положение является конкурентным преимуществом Пермского края в его социально-экономических преобразованиях.

Возрождение эффективных мультимодальных грузовых перевозок с использованием речного транспорта потребует огромных временных и стоимостных затрат, но это возможно при желании региональных властей, их взаимовыгодном сотрудничестве с бизнес-структурами и научном обосновании.

В условиях перехода к постиндустриальному этапу социально-экономического развития ведущее значение приобретают отрасли сферы услуг, среди которых особую роль играет туризм. Первым шагом к использованию Камы как драйвера регионального развития может стать организованное речное пассажирское туристическое сообщение. Кама – узнаваемый туристический бренд Пермского края – открывает перспективы для развития индустрии регионального речного туризма.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-010-00562.*

## **Библиографический список**

1. Гагарский М. Д., Столбов В. А. Пермская область: отрасли, регионы, города. Пермь, 1997. 262 с.
2. Двинских С.А., Блюмензаат Ф., Ларченко О.В., Тереханова Т.А. Современные концепции управления ресурсами речных бассейнов // Географический вестник. 2011. № 4 (19). С. 20–25.
3. Зырянов А. И. Теоретические аспекты географии туризма. Пермь, 2013. 158 с.
4. Комар И.В. Урал. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 368 с.
5. Макаров П.М. Современное состояние и перспективы развития прудового рыбоводства в колхозах и совхозах Пермской области // Биологические ресурсы водоемов Западного Урала (вопросы рыбного хозяйства): Межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1986. С. 106-112.
6. Народное хозяйство Пермской области. Статистический сборник. Свердловск: Гос. стат. изд-во, 1961. 158 с.
7. Николаев Р.С. Пространственно-функциональная структура территориальной транспортно-логистической системы Пермского края. Дис. ...канд. геогр. наук. Пермь, 2013.
8. Тарифы на электроэнергию в Перми и Пермском крае в 2020 году. <https://tarif-zkh.ru/perm/elektroenergiya-v-permi-2020/>. Дата обращения: 1.04.2021.
9. Федченко Е.С. Экологический атлас Пермского края. Пермь: "ИнПроКом", 2007. 96 с.
10. Шарыгин М.Д., Гагарский М.Д., Меркушев С.А., Резвых В.В. Города и районы Пермского края. Пермь, 2011. 401 с.

11. Электроэнергетика. Основные виды производства электроэнергии на территории России. [Электронный ресурс]. [http: // minenergo.gov.ru /activity/powerindustry/powersector/structure/types/](http://minenergo.gov.ru/activity/powerindustry/powersector/structure/types/).

УДК 504

Е.А. Васькова<sup>1,2</sup>, [hydroeco.vaskova@gmail.com](mailto:hydroeco.vaskova@gmail.com)

<sup>1</sup>Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

## БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Безопасность гидротехнических сооружений входит в область экологической безопасности, характеризующей способность общества, государства защищать человека и среду его обитания от потенциальных или реальных угроз, создаваемых негативными воздействиями на окружающую среду, ее загрязнения в связи с хозяйственной деятельностью общества, функционирования производственных объектов, а также в результате стихийных бедствий и катастроф. Способность гидротехнических сооружений сохранять свои свойства и параметры режимов и устойчиво выполнять задаваемые им социально-экономические функции без нарушения функций жизнеобеспечения характеризует сохранение экономического и социального благосостояния страны. В работе использованы геоинформационный и аналитический подходы к оценке безопасности населения, проживающего в области влияния гидротехнических сооружений. В ходе исследования были выявлены территории с высокими потенциальными уровнями опасности возникновения чрезвычайных ситуаций.

*Ключевые слова:* безопасность гидротехнического сооружения, гидродинамическая чрезвычайная ситуация, экологическая безопасность.

Е.А. Vaskova<sup>1,2</sup>, [hydroeco.vaskova@gmail.com](mailto:hydroeco.vaskova@gmail.com)

<sup>1</sup>State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

## SAFETY OF HYDRAULIC FACILITIES

The safety of hydraulic facilities is part of environmental safety. Hence, the stability of hydraulic facilities is the main condition of the population's good life and normal development of the country. The main methods of this work are using of geographic information system. In the result of the research is found that the Southern Federal District is the place, where it is observed the high risk of hydrodynamic emergency as a result of dam destruction.

*Keywords:* safety of hydraulic facility, hydrodynamic emergency, environmental safety.

### Введение

Проблема обеспечения безопасности ГТС является стратегически важной задачей и актуальной в научной среде [5-7; 12], что связано в первую очередь с состоянием защищенности населения от угрозы гидродинамической чрезвычайной ситуации (ЧС).

Основные причины снижения уровня безопасности сооружений в ответ на внешние физические факторы такие как суффозия, влияние животных на плотину, сейсмичность и т.д. связаны с: 1 – изменением нормативного регулирования в отношении ГТС; 2 – устареванием фонда ГТС и его износом; 3 – снижением проектной обеспеченности расходов, что увеличивает вероятность разрушения ГТС в результате наводнений.

### ***Материалы и методы исследования***

Основой для исследования послужили данные Российского регистра гидротехнических сооружений с 2015 по 2019 гг. [8-11], а также Государственный доклад МЧС России с 2013 по 2016 гг. [1-4] и данные статей отечественных исследователей [5-7,12]. В Российском регистре гидротехнических сооружений отбирались данные о сооружениях с опасным уровнем безопасности.

Анализ данных, представленных в упомянутых источниках, производился с использованием программных обеспечений Microsoft Excel и QGIS3.

### ***Анализ результатов***

На рис. 1 представлена гистограмма соотношения ГТС с опасным уровнем безопасности и общего количества сооружений. Данные по общему количеству ГТС и их числу с опасным уровнем безопасности или иначе – сооружения, находящиеся в предаварийном (критическом) состоянии, представлены в Российском регистре гидротехнических сооружений [8-11].

Согласно рис. 1 с 2015 по 2019 г. происходит постепенное уменьшение количества сооружений с опасным уровнем, в то время как общее количество ГТС увеличивается и скорость данного увеличения в 2 раза больше в сравнении с уменьшением опасных ГТС. Увеличение количества ГТС является следствием расширения городских агломераций, ростом численности населения, что оказывает прямое и косвенное влияние на количество потребляемых водных ресурсов для коммунально-бытовых и производственных нужд, выработки электроэнергии и орошения.

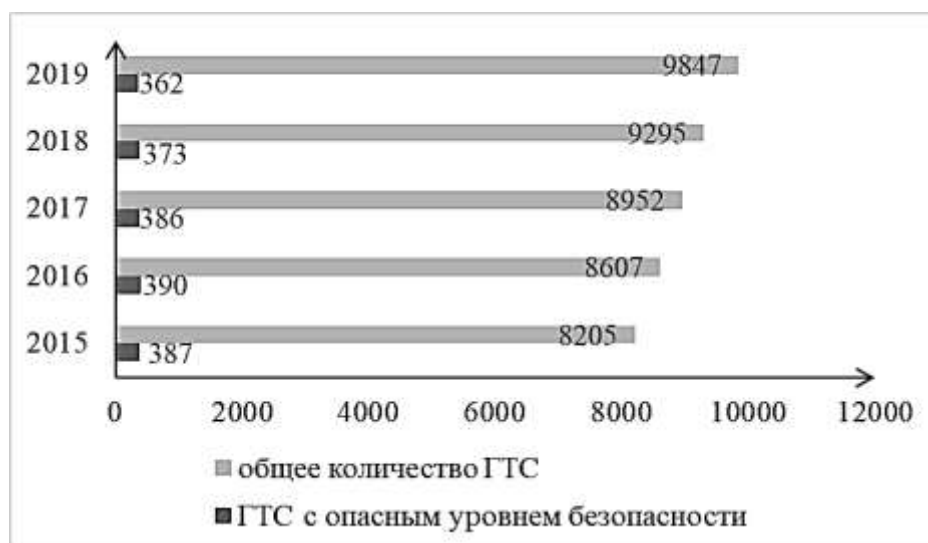


Рис. 1. Процентное соотношение гидротехнических сооружений с опасным уровнем безопасности в России

При этом большая часть опасных ГТС выполняет роль прудов, малых водохранилищ хозяйственно-питьевого назначения в малочисленных населенных пунктах и принадлежит сельскохозяйственным производственным кооперативам, которые либо ликвидированы, либо находятся в стадии ликвидации, что не позволяет вовлекать данные ГТС в современный оборот водных ресурсов. Тем самым роль и значимость последних снижается, ослабляется контроль и мониторинг за опасными ГТС. Впоследствии данные факторы могут послужить причиной гидродинамической чрезвычайной ситуации и нанести урон населению, проживающему в эпицентре потенциальной аварии.

Согласно данным государственных докладов МЧС России за 2013-2016 гг. [1-4], численность населения в зонах вероятных гидродинамических ЧС увеличилась. Результаты данных зависимости численности населения в зоне вероятной гидродинамической аварии с соответствующим годом, представлены на рис.2.

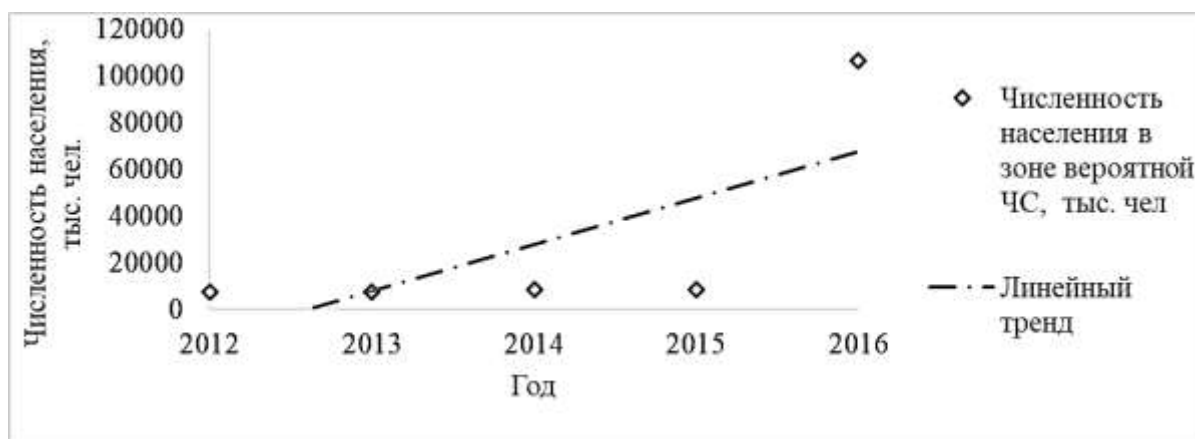


Рис. 2. Численность населения в зоне вероятной чрезвычайной ситуации

Согласно рис. 2 в 2016 г. произошло резкое увеличение численности населения, оказывающегося в зоне вероятностной ЧС. Причиной данного скачка могут быть: увеличение случаев сверхнизких обеспеченностей расходов воды на реках, количества ГТС в предаварийном состоянии, а также увеличения численности населения за счет естественного прироста и миграции.

Необходимо отметить также, что по данным государственного доклада МЧС России 2016 г. Южный Федеральный округ имеет наибольшую численность населения в зоне вероятной гидродинамической чрезвычайной ситуации. На рис. 3 представлены данные численности населения по федеральным округам РФ.

Южный Федеральный округ сочетает в себе благоприятные условия для благополучной жизни населения, но в тоже время имеет большое количество природных опасностей: сели, наводнения и др. явления.



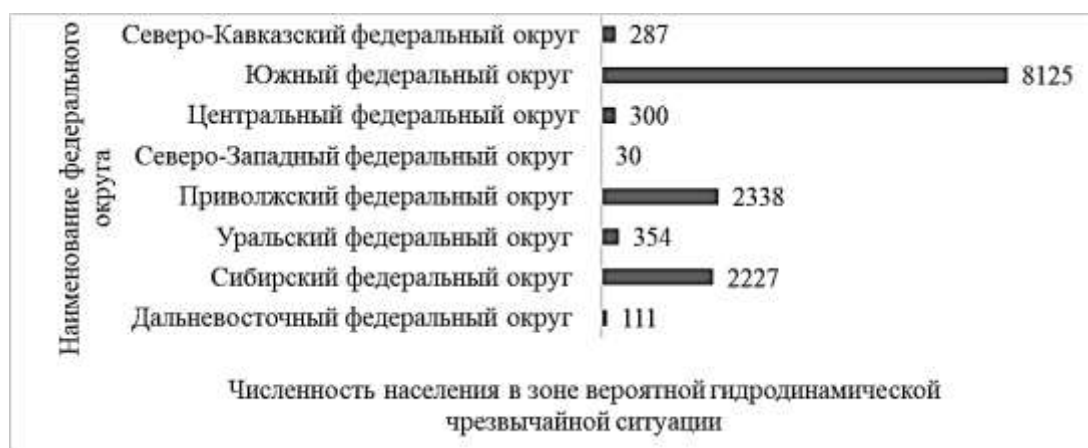


Рис. 3. Численность населения в зоне вероятной гидродинамической чрезвычайной ситуации в 2016 г. по каждому федеральному округу

На основании данных Российского регистра ГТС 2018 г. [11] построена карта ГТС опасного уровня, представленная на рис. 4. На данном рисунке видно, что большое скопление ГТС предаварийного состояния приходится на Южный Федеральный округ (ЮФО). Присутствие данных сооружений в ЮФО увеличивает значение числа населения в зоне вероятной ЧС.



Рис. 4. Распределение ГТС с опасным уровнем безопасности

Необходимо также отметить, что в данном округе происходит рост общего числа ГТС, в то время как снижение числа опасных ГТС – незначительно.

### **Выводы**

Анализ данных по числу опасных ГТС, их распределения, специфики позволил определить локацию необходимых мер по защите населения от гидродинамической ЧС, а также необходимости: 1 – принятия превентивных мероприятий в увеличении уровня безопасности ГТС в ЮФО на локальном,

региональном и государственном уровнях, что позволит снизить численность населения в зоне вероятной гидродинамической ЧС и тем самым обеспечит их безопасность; 2 – совершенствования системы мониторинга безопасности сооружений на геоинформационной основе, развития методов оценки устойчивости ГТС для труднодоступных территории, где располагаются сооружения опасного уровня.

### Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2013 году». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2014. 344 с.
2. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2014 году». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 350 с.
3. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2015 году». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. 390 с.
4. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2016 году». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2017. 360 с.
5. *Дмитриев В. В., Федорова И. В., Бирюкова А. С.* Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем Часть IV. Интегральная оценка экологического благополучия наземных и водных геосистем // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. Геология. География. 2016. Вып. 2. С. 37–53. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.204.
6. *Жильникова Н.А., Шишкин И.А., Мателенок И.В., Вишнякова А.И.,* Система повышения безопасности комплекса гидротехнических сооружений Ижорского водохранилища // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сборник докладов Научной сессии ГУАП. Санкт-Петербург, 2019. С. 139-149.
7. *Растяпина, О.А.; Крахоткин, С.М.; Фень К.А.,* Основы строительства гидротехнических сооружений, определяющие их безопасность, на примере ГЭС «Санься» в Китае // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. №78. С. 297-310.
8. Российский регистр гидротехнических сооружений 2015. Справочное пособие. М.: Ростехнадзор, ФГБУ «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений», 2015. 443 с.
9. Российский регистр гидротехнических сооружений 2016. Справочное пособие. М.: Ростехнадзор, ФГБУ «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений», 2016. 466 с.
10. Российский регистр гидротехнических сооружений 2017. Справочное пособие. М.: Ростехнадзор, ФГБУ «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений», 2017. 485 с.

11. Российский регистр гидротехнических сооружений 2018. Справочное пособие. М.: Ростехнадзор, ФГБУ «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений», 2018. 495 с.

12. Турушева Т.В., Повышение безопасности гидротехнического сооружения на реке Нерча Забайкальского края // Безопасность 2020. Чита, 2020. С. 112-115.

УДК 556.551.588

А.И. Второва<sup>1</sup>, Н.В. Мякишева<sup>2</sup>, [avtorova86@mail.ru](mailto:avtorova86@mail.ru)

<sup>1</sup>*Отдел водных ресурсов по Челябинской области Нижне-Обского бассейнового водного управления, г. Челябинск, Россия*

<sup>2</sup>*Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА РЕКИ УЙ**

Проведен вероятностный анализ внутригодовой и межгодовой изменчивости речного стока бассейна р. Уй с применением теории случайных процессов. Результаты анализа обобщены в терминах вероятностной модели. Оценена регулирующая способность водосбора и техногенных сооружений. Материалы наблюдений позволили оценить гидрологическую структуру проточных водоемов и воздействие сбросных вод от тепловых электростанций. Анализ гидрологического и гидрохимического режима водохранилищ показал, что динамическое перемешивание играет значительную роль в режиме водоемов.

*Ключевые слова:* водохранилища, пруд-охладитель, тепловой поток, гидрохимический режим, слой стока, разномасштабная изменчивость, вероятностный анализ, квантильный анализ, случайный процесс.

A.I. Vtorova<sup>1</sup>, N.V. Myakisheva<sup>2</sup>, [avtorova86@mail.ru](mailto:avtorova86@mail.ru)

<sup>1</sup>*Department of water resources in the Chelyabinsk region of the lower Ob basin water management, Chelyabinsk, Russia*

<sup>2</sup>*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia*

## **FEATURES OF THE IMPACT OF THERMAL POWER PLANTS ON THE ENVIRONMENT ON THE EXAMPLE OF THE UY RIVER BASIN**

The probabilistic analysis of intra-and inter-annual variability of river flow in the Uy river basin is carried out using the theory of random processes. The results of the analysis are summarized in terms of a probabilistic model. The regulatory capacity of the catchment area and man-made structures is estimated. The observations made it possible to assess the hydrological structure of flowing water bodies and the impact of waste water from thermal power plants. Analysis of the hydrological and hydrochemical regime of reservoirs has shown that dynamic mixing plays a significant role in the regime of reservoirs.

*Keywords:* reservoir, cooling pond, heat flow, hydrochemical regime, runoff layer, multi-scale variability, probabilistic analysis, quantile analysis, random process.

## ***Введение***

Большая доля электроэнергии (63,2%) в мире вырабатывается на ТЭС. Воздействия ТЭС на окружающую среду значительно отличаются по видам топлива. Факторами воздействия ТЭС, работающих на твердом топливе, являются выбросы систем складирования, транспортировки, пылеприготовления и золоудаления. При сжигании образуется больше всего пылевых частиц и оксидов серы. До 50% вредных веществ приходится на диоксид серы, примерно 30% – на оксид азота, до 25% – на летучую золу. Однако точных данных о поведении этих веществ в воздухе практически нет. Одним из факторов взаимодействия ТЭС с водной средой является потребление воды системами технического водоснабжения, в т.ч. безвозвратное потребление воды. Основная часть расхода воды в этих системах идёт на охлаждение конденсаторов паровых турбин. Остальные потребители технической воды (системы золо- и шлакоудаления, химводоочистки, охлаждения и промывки оборудования) потребляют около 7% общего расхода воды. В тоже время именно они являются основными источниками примесного загрязнения водной среды.

## ***Материалы и методы исследования***

В орографическом отношении территория Челябинской области расположена на границах верховьев трех бассейнов рек: Урал, Кама, Тобол (Иртыш-Обь), поэтому делится на три бассейна.

В бассейне р. Уй (Тобол-Иртыш-Обь) расположены Южноуральская и Троицкая ГРЭС, работающие на твердом топливе, а одноименные водохранилища используются как пруды-охладители.

В работе использовались данные о стоке на гидропостах Росгидромета (табл. 1.). Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и среднемесячной и среднегодовой температуре воздуха по наблюдениям метеостанций. База данных была сформирована преимущественно с помощью публикаций издательств Гидрометеиздат и информационного ресурса meteo.ru.

Таблица 1

### **Информация об изученности исследуемых водных объектах**

<i>Наименование гидропоста</i>	<i>F водосбора, км<sup>2</sup></i>	<i>Период</i>
Р. Уй–с. Степное	3600	1935-2019
Р. Уй–Троицкий плодopитомнический совхоз	7660	1938-2019
Троицкое водохранилище на р. Уй (объем при НПУ = 45,0 млн.м <sup>3</sup> )	15100	1963-2020
Р. Увелька- с. Красносельское	3620	1965-2019
Р. Увелька- п. Карсинский	5100	1969-2019
Южноуральское водохранилище на р.Увелька (объем при НПУ =71,55 млн.м <sup>3</sup> )	4750	2010-2020
<i>Наименование метеостанции</i>	<i>Высота, м БС</i>	<i>Период</i>
МС Троицк, осадки	180	1936-2019
МС Троицк, температура	180	1925-2019
МС Южноуральск, осадки	207	1936-2018
МС Южноуральск, температура	207	1935-2018

По водохранилищам использованы данные, предоставленные эксплуатирующими организациями гидротехнических сооружений [1].

### **Анализ результатов**

Для оценки зарегулированности стока используются параметры  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , их численные значения представлены в табл. 2. Параметр  $\varphi_1$ , характеризующий коррелированность между смежными месяцами внутри года, значим в период межени для всех пунктов, что отражает регулируемую роль водосбора.

Таблица 2

### **Численные значения оценок математического ожидания слоя стока $m(t)$ , дисперсии $D(t)$ , параметров авторегрессии $\varphi_1$ внутригодового и $\varphi_2$ многолетнего хода слоя стока**

Характеристик <i>a</i>	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Уй– с. Степное												
$m(t)$ , мм	0,34	0,2	0,58	28,75	9,93	4,94	4,36	3,90	2,32	2,35	1,81	0,74
$D(t)$ , (мм) <sup>2</sup>	0,12	0,1	1,83	505	65,5	27,14	39,41	38,66	5,68	4,83	2,50	0,31
$\varphi_1$	0,86	0,5	0,17	0,41	0,36	0,77	0,36	0,84	0,81	0,76	0,73	0,75
$\varphi_2$	0,18	0,2	0,19	0,31	0,21	0,08	0,17	0,13	0,25	0,43	0,27	0,36
р. Уй – Троицкий плодопитомнический совхоз												
$m(t)$ , мм	0,93	0,9	2,50	57,06	16,79	7,74	6,62	6,27	3,85	3,93	2,81	1,39
$D(t)$ , (мм) <sup>2</sup>	0,48	1,7	18,4	1832	162	65,8	87,1	142,7	14,1	12,4	4,77	0,81
$\varphi_1$	0,53	0,2	0,15	0,41	0,36	0,81	0,26	0,80	0,82	0,82	0,72	0,88
$\varphi_2$	0,42	0,2	0,08	0,24	0,20	0,06	0,20	0,03	0,21	0,38	0,34	0,38
р. Уй – створ Троицкого водохранилища (притоки)												
$m(t)$ , мм	2,41	2,5	9,33	94,59	21,26	9,01	7,99	7,35	4,85	5,36	4,52	3,05
$D(t)$ , (мм) <sup>2</sup>	2,73	2,7	78,5	4387	253,2	70,29	133,4	155,4	20,99	13,8	8,00	3,93
$\varphi_1$	0,87	0,5	0,17	0,50	0,37	0,82	0,24	0,86	0,88	0,81	0,81	0,89
$\varphi_2$	0,35	0,44	0,14	0,168	0,190	0,217	0,164	0,065	0,154	0,11	0,24	0,30
р. Уй– створ Троицкого водохранилища (сбросы)												
$m(t)$ , мм	2,40	5,5	9,4	94,5	21,3	9,0	8,0	7,34	4,84	5,37	4,54	3,05
$D(t)$ , (мм) <sup>2</sup>	2,70	2,7	80,3	4391	253,3	70,30	133,5	155,4	21,1	13,8	7,87	3,93
$\varphi_1$	0,87	0,49	0,166	0,501	0,370	0,819	0,241	0,863	0,882	0,81	0,81	0,9
$\varphi_2$	0,34	0,43	0,14	0,168	0,190	0,217	0,164	0,065	0,155	0,11	0,23	0,30
р. Уй– створ Троицкого водохранилища (испарение)												
$m(t)$ , мм	74	70	54	16	94	125	118	121	109	79	51	67
$D(t)$ , (мм) <sup>2</sup>	193	241	380	338	2008	1547	2521	2078	1333	1115	420	304
$\varphi_1$	0,175	0,171	-0,01	-0,03	0,342	0,215	0,544	0,522	0,648	0,33	0,27	0,15
$\varphi_2$	0,046	0,204	0,15	-0,11	0,057	0,221	0,303	0,371	0,217	0,38	0,18	0,03

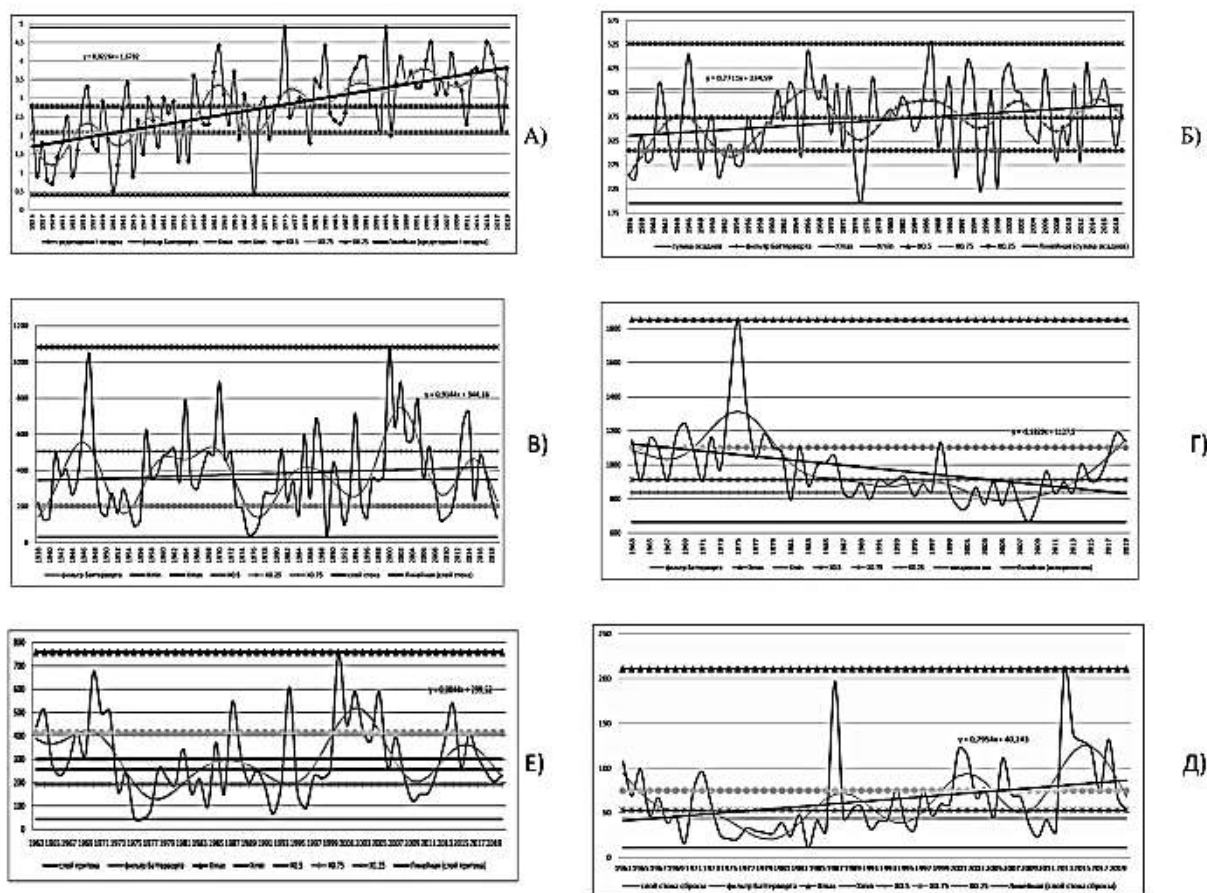
Для анализа многолетней изменчивости использовались ряды среднегодовых расходов и ежегодные последовательности значений для характерных месяцев года, которые рассматривались как стационарные случайные процессы, привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта [2;3;4].

Для оценки водности рек производился расчет квантилей: каждый временной ряд рассматривался как реализация случайного процесса  $x(t)$ , за основную вероятностную характеристику которого принималась функция распределения  $F(x_p)$  и ее квантили  $X_p$ . На основе пяти квантилей  $X_{\min}$ ,  $X_{0,25}$ ,  $X_{0,5}$ ,  $X_{0,75}$ ,  $X_{\max}$  оценивались  $R$  – размах,  $Q$  – интерквантильное расстояние,  $T^*$  - трехсреднее

значение, а также  $X_V$  и  $X_H$  – верхняя и нижняя границы распределения данных в ряду.

Для выявления особенностей внутригодовых колебаний использовались ряды среднемесячных слоев стока, интерпретируемые как периодически коррелированные случайные процессы. Для обобщения результатов анализа привлекались вероятностные модели, по которым оценивалось влияние техногенных сооружений на водный режим реки (рисунок).

Для определения тенденции или тренда повышения или понижения значений временных рядов использовалась цифровая тангенсная низкочастотная фильтрация Баттерворта.



Реализации гидрометеорологических характеристик: А) среднегодовая температура воздуха МС Троицк, Б) суммы осадков за год МС Троицк, В) среднегодовой слой стока р. Уй – Плодопитомнический совхоз, Г) испарение с Троицкого водохранилища, Д) р. Уй-створ Троицкого водохранилища (сбросы), Е) р. Уй-створ Троицкого водохранилища (притоки)

## Выводы

Для освещения химического состава Троицкого и Южноуральского водохранилищ привлечены материалы Росгидромета. Материалы показывают, что по всем пунктам наблюдений химический состав воды имеет однозначные показатели. Реакция среды в воде изменяется от нейтральной к щелочной. Из анионов доминируют сульфаты, из катионов – кальций. В зимний период вода имеет повышенную жесткость, по сухому остатку в интервале 500-700 мг/л.

Особенностью химического состава воды является ее значительная загрязненность – превышение ПДК фиксируется по большинству рассматриваемых компонентов. Наиболее значительны и устойчивы по длине водного тракта превышения по фосфатам, меди, фтору, цинку и ванадию.

Норма испарения с водной поверхности для территории г. Троицка в соответствии с натурным рядом наблюдений по ГГИ–3000 составляет 700 мм. Среднемноголетнее расчетное испарение, выполненное для Троицкого водохранилища за период (1963-2019 гг.) составляет – 977 мм.

В периоды наибольшего прогрева значения среднемесячных температур воды в отдельные годы превышают до 29-30<sup>0</sup>С. Суточные максимумы достигают 34-35<sup>0</sup>С.

Внутригодовое распределение характеристик отражает свойства рек восточно-европейского типа.

Результаты квантильного анализа позволили определить, что многоводные и маловодные годы в период с 1936 по 2019 гг. группируются в фазы водности продолжительностью от 3-4 до 10 лет. В последние 10 лет наблюдается асинхронность колебаний: высокая водность сопровождается периодом низкой водности на главной реке после водохранилища, где выполняется сезонное регулирование (рисунок).

В бассейне р. Уй имеется тенденция на увеличение осадков и температуры, что согласуется с трендом сумм осадков и среднегодовой температурой. Фактором, формирующим квазицикличность процессов, являются атмосферные осадки.

Разница параметров вероятностной модели, описывающих временную изменчивость слоя стока в пункте до водохранилищ и после них, отражает антропогенное влияние на сток. Обобщение результатов анализа внутригодовых и межгодовых колебаний слоя стока и осадков в терминах вероятностной модели позволяет оценить регулируемую способность водосбора.

### **Библиографический список**

1. *Второва А.И., Мякишева Н.В., Горбатенко А.А.* Внешний водообмен водохранилищ Южного Урала // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Пермь, 2019. Т I. С. 64-68.

2. *Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А.* Вероятностный анализ и моделирование речного стока водосборного бассейна Балтийского моря // Режимобразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в Балтийском море. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. С. 16-34.

3. *Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А.* Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал, Река Ай // Естественные и технические науки. 2018. № 2. С. 108-114.

4. *Мякишева Н.В.* Речной сток // Гидрометеорология и гидрохимия морей, Балтийское море, Гидрометеорологические условия. С-Пб.: Гидрометеоиздат, 1994. Т. III. Вып. 1. С. 196-214.

В.С. Горячев, [v.goryachev2011@yandex.ru](mailto:v.goryachev2011@yandex.ru)

*Филиал по мониторингу водных объектов рек Белой и Урала  
ФГБУ «Центррегионводхоз» г. Уфа, Россия*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ БЕЛОЙ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

Рассмотрены вопросы водообеспечения водопользователей среднего течения реки Белой в условиях изменяющегося климата и развития гг. Кумертау, Мелеуз, Ишимбай, Салават и Стерлитамак. Изучены проблемы, связанные с гарантированной работой водозаборов и регулирование режимов р. Белой за счет созданной Среднебельской водохозяйственной системы.

*Ключевые слова:* водное хозяйство, регулирование водных ресурсов, водозабор, сброс сточных вод.

V.S. Goryachev, [v.goryachev2011@yandex.ru](mailto:v.goryachev2011@yandex.ru)

*The Department of monitoring of water bodies the Belaya River and the Urals Rivers  
«Centrregionvodhoz», Ufa, Russia*

## **PROVIDING WATER SUPPLY TO CITIES AND TOWNS IN THE MIDDLE REACHES OF THE RIVER IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN IN THE FACE OF CHANGING CLIMATE**

The water supply of water users of the middle flow of the Belaya River in the conditions of changing climate and development of the cities of Kumertau, Meleuz, Ishimbai, Salavat and Sterlitamak is considered. The problems related to the guaranteed operation of water intakes and regulation of the regimes of the Beloya River at the expense of the middle-bank water system have been studied.

*Keywords:* water management, water resources management, water intake, wastewater discharge.

### ***Введение***

Река Белая в своем среднем течении испытывает наибольшую нагрузку от водопользования населения и объектов экономики. В меженный период из-за сброса недостаточно очищенных сточных вод и поступления неорганизованных загрязненных вод с территории ее водосборного бассейна ухудшается качество вод. На территории бассейна реки находятся крупнейшие водопользователи, деятельность которых ухудшает водобалансовые и природные показатели качества воды. Шлейф загрязнений от этих предприятий распространяется далее по течению реки Белой вплоть до города Уфы.



Из-за возрастающего антропогенного влияния, а также часто повторяющихся маловодных периодов в следствии изменения климата, ухудшается работа питьевых и промышленных водозаборов.

### ***Материалы и методы исследования***

Исследованиями охвачено среднее течение р. Белой, где расположены города Мелеуз (61 тыс. жителей), Ишимбай (66 тыс. жителей), Салават (156 тыс. жителей), Стерлитамак (273 тыс. жителей) и значительное количество населенных пунктов.

Города получили высокое экономическое развитие. Здесь расположены предприятия нефтехимии, химии, энергетики, машиностроения, пищевой и строительной индустрии. Доля валового объема выпускаемой в республике продукции – 70 %, из которых  $\frac{3}{4}$  производится в гг.Стерлитамак и Салават [3].

Водохозяйственные границы региона исследования определяются от створа гидротехнических сооружений Юмагузинского водохранилища и далее по р. Белой до г. Стерлитамака включительно.

Цель исследования – изучение влияния природных и техногенных факторов на водообеспечение населения и промышленных предприятий

### ***Анализ результатов***

Основная водная артерия водохозяйственной системы – р. Белая, протяженность ее на участке от створа Юмагузинского гидроузла до г.Стерлитамак – 205 км. В нее впадают рр. Нугуш, Мелеуз, Ашкадар, Стерля и множество мелких притоков. Площадь водосбора в замыкающем створе участка составляет 21 000 км<sup>2</sup>. Минимальные естественные расходы воды реки Белой на участке до плотины Юмагузинского гидроузла в период зимней межени составляют 3-5 м<sup>3</sup>/с, максимальные 1% обеспеченности в период весеннего половодья 2500 м<sup>3</sup>/с.

Из-за высокого влияния антропогенных факторов на климат, а значит и на речной сток, минимальная водность за период 1970-2020 гг. р. Белая у г.Стерлитамак снизилась до критических показателей – 18 м<sup>3</sup>/с (1981 г.) и привела к ухудшению работы водозаборных сооружений водопотребителей, расположенных в городах Кумертау, Мелеуз, Ишимбай, Салават, Стерлитамак.

Водные ресурсы водохозяйственного участка не обеспечивали потребности развивающихся водопользователей. Один из крупнейших водопользователей Салаватнефтеоргсинтез был вынужден для улучшения работы береговых сооружений из-за снижения уровней и расходов р. Белой проводить специальные гидротехнические мероприятия.

Для этих целей ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» были построены: правобережная оградительная дамба длиной 936 м, шириной по верху 5,0 м и средней высотой 2,0 м; струенаправляющие шпоры на правом берегу р. Белой длиной от 12 до 60 м, в количестве 5 штук; водоподпорное сооружение шандорного типа, расположенное в 50 метрах ниже водозаборного сооружения НС-3 (рисунок).

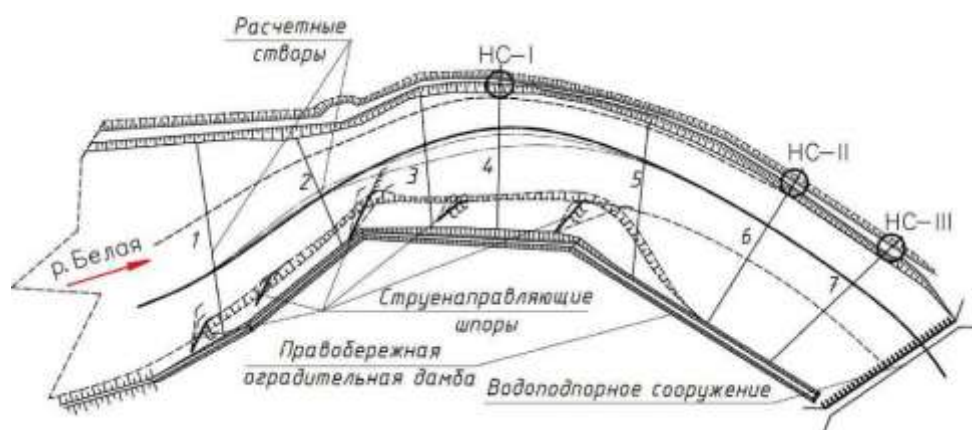


Схема специальных гидротехнических сооружений на береговом водозаборе  
Салаватнефтеоргсинтеза [1]

В маловодный период в летние месяцы ухудшалось водоснабжение Кумертауской ТЭЦ, которая у водозабора на р. Белой выше п. Ира была вынуждена возводить полуплотину для подъема уровня воды у водозаборных сооружений. Снизился дебет подруслового питьевого Зирганского водозабора, обеспечивающего водой города Салават, Sterлитамак, Ишимбай и поселки Зирган, Корнеевка и расположенного в пойме реки Белой на острове у п. Зирган.

Крупнейшее в Европе предприятие по производству соды – объединение «Сода», производственным сырьём которого являются известняки месторождения Шихан. За 70 лет работы содового производства в результате сброса сточных вод в шламонакопители для осветления, в Sterлитамаке накопители – «белые моря» – заняли площадь более 460 га. На сегодня «белые моря» БСК содержат 60 млн т отходов производства, и ежегодно это количество увеличивается на полмиллиона тонн. По причинам технической и экологической безопасности дальнейшее наращивание накопителей невозможно. Поэтому в период половодья предприятие осуществляло частичный сброс с «белых морей»

Основные водозаборы водопользователей среднего течения р. Белой осуществляются предприятиями в основном из поверхностных вод реки, а питьевые водозаборы для водоснабжения населения используют подрусловые воды бассейна реки и родниковые воды (табл. 1).

Таблица 1

**Использован водных ресурсов в среднем течении реки Белой по городам  
по данным 2гп (Водхоз) за 2018 год (млн м<sup>3</sup>)**

№	Город	Забрано воды всего	В том числе из подземных вод	Сброшено в природные воды
1.	Стерлитамак	100,1	8,79	78,9
2.	Салават	37,3	0,49	0
3.	Ишимбай	15,2	3,86	40,4
4.	Мелеуз	3,22	3,21	0
5.	Кумертау	4,36	4,36	3,52
	Всего	160,18	20,71	122,82

Общий забор воды по гг. Sterлитамак, Салават, Мелеуз, Ишимбай, Кумертау из всех природных источников около 160 млн м<sup>3</sup> воды.

При рассмотрении использования водных ресурсов р. Белой по водохозяйственным участкам можно выявить в засушливые годы летней и зимней межени дефициты водных ресурсов.

С целью покрытия водного дефицита и обеспечения водопользователей в среднем течении р. Белой Республики Башкортостан было построено Нугушское водохранилище, которое введено в эксплуатацию в 1967 г. Оно позволило увеличить меженный сток реки в створе г.Стерлитамака с 6,07 м<sup>3</sup>/с до 22-24 м<sup>3</sup>/с в летнюю и зимнюю межень. Это ненадолго улучшило ситуацию с водообеспечением.

Анализ водохозяйственного баланса р. Белой в створе г. Стерлитамака показал, что в связи с изменением водохозяйственной ситуации, тенденции увеличения водозаборов на участке Южного промышленного узла Республики Башкортостан начало нарастать истощение реки. Тренд тенденции маловодных лет продолжал снижаться.

Наличие водоемких отраслей промышленности и высокая плотность населения привели к тому, что качество воды в реке в меженный период стало снижаться, особенно в местах водовыпусков городов (табл. 1). По имеющимся данным ФГБУ «Башкирское УГМС» с 1993 г. в районе влияния данных городов индекс загрязненности вод (ИЗВ) соответствовал значениям от 2,0 до 3,5, т.е. IV классу (вода – «загрязненная»). Характерными веществами, превышающими нормативы, являлись нефтепродукты, медь, железо. Это еще более обострило водохозяйственную обстановку в бассейне р. Белой.

Возникла необходимость дальнейшего снятия напряжения в водоснабжении городов и предприятий в среднем течении р. Белой, осуществление сезонного регулирования стока, обеспечение противопаводковой защиты и улучшения санитарно-экологического состояния. Все это стало возможно благодаря вводу в эксплуатацию в 2007 г. Юмагузинского водохранилища.

Регулирование водных ресурсов в Южном промышленном узле Республики Башкортостан позволило предотвратить истощение реки и дефицит водных ресурсов в годы 95 % обеспеченности (в маловодные годы). С вводом в эксплуатацию Юмагузинского водохранилища меженный расход воды р. Белой увеличился в 2 раза, т.е. до 40 м<sup>3</sup>/с и более (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние Юмагузинского и Нугушского водохранилищ на водность р. Белой [2]**

Наименование створа наблюдения	Расстояние от устья реки, км	Минимальный меженный расход воды, м <sup>3</sup> /с	
		естественный	зарегулированный
Створ плотины Юмагузинского водохранилища	957	2,92	20,1
Водозабор Кумертауской ТЭЦ	873	3,38	20,4
г. Мелеуз	870	3,44	28,2
Устье р.Нугуш	837	3,85	30,4
г. Салават	803	4,94	35,6
г. Стерлитамак	750	6,07	40,3

Благодаря совместной работе регулирующих емкостей водохранилищ удалось увеличить естественный меженный сток в 13 раз. Это значительно улучшило работу не только промышленных водозаборов гг. Кумертау, Салават, Стерлитамак, но и питьевых за счет поднятия уровня подрусловых вод.

### **Выводы**

Благодаря работе в совмещенном режиме Нугушского и Юмагузинского водохранилищ, даже при минимальных расходах суммарной слившейся приточности, удалось произвести соответственно суммарные попуски с вышеназванных водохранилищ в размере 33,97 м<sup>3</sup>/с (т.е. расход воды был увеличен в 8 раз) и 40,79 м<sup>3</sup>/с (т.е. расход воды был увеличен в 13 раз). Ежесекундно водозабор всех водопользователей г.Стерлитамака из р. Белой составляет 3 м<sup>3</sup>/с, т.е. если бы не было зарегулированных попусков из Нугушского и Юмагузинского водохранилищ р.Белая в створе г. Стерлитамака осталась бы без воды, могла бы произойти экологическая катастрофа.

### **Библиографический список**

1. Гаврилюк С.М., Бондаренко В.Л., Кувалкин А.В. Влияние тенденции посадки русла на надежность работы береговых водозаборных сооружений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. № 2(02). 15 с.
2. Горячев В.С., Малмыгин А.С. Управление водохозяйственными комплексами Республики Башкортостан. Уфа: Инеш, 2012. 488 с.
3. Горячев В.С. Методы управления водохозяйственным комплексом: учеб. пособ. Уфа: РИЦ БашГУ, 2020. 108 с.
4. Правила использования водных ресурсов Юмагузинского водохранилища на р. Белой. Утверждены приказом Росводресурсов №113 от 02.06.2016 г.

УДК 556.531: 556.535.8

Л.Е. Ефимова, Д.В. Магрицкий, А.Ж. Кенжебаева, А.В. Гончаров

[ef\\_river@mail.ru](mailto:ef_river@mail.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия*

## **СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ Р. УРАЛ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ**

Климатические и гидрологические изменения в бассейне р. Урал, водохозяйственная деятельность определяют современное гидроэкологическое состояние реки в нижнем течении. По сравнению с условно-естественным фоном минерализация воды в половодье увеличилась в 2,5 раза, в межень – на 5 – 8 %. Загрязнение нижнего течения реки обусловлено поступлением загрязняющих веществ из вышерасположенных участков реки и впадения загрязненных притоков. На бесприточном участке вода характеризуется как «нормативно-чистая». Индексы

сапробности, характеризующие содержание в воде органических веществ, находятся в границах б-мезосапробной зоны, характерной для слабо загрязнённых вод. Содержание растворенного кислорода свидетельствует о недостаточной аэрации вод реки в течение большей части года. Наихудшая ситуация характерна для периода ледостава.

*Ключевые слова:* гидроэкологическое состояние, химический состав, качество воды, сток, климатические изменения, кислородный режим.

L.E. Efimova, D.V. Magritskiy, A.Zh. Kenzhebaeva, A.V. Goncharov

[ef\\_river@mail.ru](mailto:ef_river@mail.ru)

*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

## **CURRENT HYDROECOLOGICAL STATE OF THE URAL RIVER IN THE LOWER REACHES**

Climate and hydrological changes in the Ural River basin, together with water management activities determine the current hydroecological state of the river in its lower course. In comparison with the conventional natural background, the salinity of water in high water period increased by 2.5 times, in low water period – by 5 – 8 %. Contamination of the lower course of the river is caused by the inflow of pollutants from the upstream sections and the confluence of the polluted tributaries. In the area with no tributaries, the water is characterized as "standard-clean". The saprobity indices, which characterize the content of organic substances in water, are located within the boundaries of the b-mesosaprobic zone, which characterize low level of water contamination. The content of dissolved oxygen indicates insufficient aeration of the river water during most of the year. The lowest oxygen content is observed during winter period.

*Keywords:* hydroecological state, chemical composition, water quality, runoff, climate change.

### ***Введение***

Река Урал (на территории Республики Казахстан – р. Жайык) – интразональная река, ландшафтно-климатические условия бассейна которой характеризуются большим разнообразием, что находит отражение в химическом составе ее вод на всем протяжении [2;3;5;9]. Современные климатические изменения приводят к уменьшению водного стока, к смене соотношения источников питания во времени, изменению содержания компонентов химического состава воды и ее минерализации. Контраст минерализации и солевого состава усиливается при увеличении аридности территории. Зарегулированность стока водохранилищами, напротив, приводит к выравниванию внутригодового хода минерализации воды, ее увеличению в период половодья.

Средняя часть бассейна р. Урал характеризуется максимальной техногенной нагрузкой на водные объекты [1]. Крупнейшее в бассейне р. Урал Ириклинское водохранилище является «региональным гидрохимическим барьером» [4], улучшающим качество воды по ряду показателей. Однако, положительное влияние водохранилища нивелируется загрязнением вод р. Урал, которое на территории Оренбургской области вносят предприятия, отнесенные к «горячим экологическим точкам» [1]. Высокий уровень загрязнения воды р. Урал в пределах российской части бассейна сохраняется в течение последних 15 лет и влияет на качество воды в нижнем течении этой трансграничной реки.

### ***Материалы и методы исследования***

Сведения о химическом составе и гидрохимическом режиме реки получены из федеральных и региональных информационных бюллетеней и докладов «О

состоянии окружающей среды», из «Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Урал» Казахстана [6], из литературных источников и интернет-ресурсов. Для характеристики современного гидроэкологического состояния низовьев реки использованы собственные данные, полученные в 2019 г. во время двух экспедиций. Экспедиционные материалы были дополнены данными Казгидромет [10], проводившего в 2019 г. подробные внеплановые обследования на 13 постах выше и ниже г. Атырау. Гидробиологические показатели оценены согласно [8].

### *Анализ результатов*

На современное гидроэкологическое состояние р. Урал в нижнем течении влияют природные и антропогенные факторы. Прикаспийская низменность относится к провинции хлоридного засоления, поэтому почвы на водосборе содержат хорошо растворимые хлориды. Это обуславливает повышенную минерализацию и хлоридный состав не только подземных и грунтовых, но и поверхностных вод. Грунтовые воды играют основную роль в питании реки в меженные периоды, особенно при уменьшении водности и поверхностного стока с водосбора.

В условно-естественный период вода в низовьях р. Урал по химическому составу относилась к гидрокарбонатно-хлоридному (хлоридно-гидрокарбонатному) типу, катионный состав воды был смешанным (натриево-кальциевым или кальциево-натриево-магниевым). В меженный период в низовьях реки возрастала минерализация, вода имела хлоридно-натриевый состав. Изменения водности привели к увеличению минерализации воды, как в период половодья, так и в межень. По сравнению с условно-естественным фоном (до конца 70-х гг. XX в.) минерализация воды в период половодья увеличилась в 2,5 раза, в межень – на 5 – 8 %. В 2019 г. минерализация воды была максимальной в конце зимней межени ( $760-850 \text{ мг/дм}^3$ ), в период летней межени составляла  $600-650 \text{ мг/дм}^3$ , воды характеризовались хлоридно-натриевым составом. В солевом составе в течение всего года преобладали хлориды и ионы натрия, вниз по течению от г. Атырау абсолютное и относительное содержание этих ионов в воде увеличивалось [10].

В меженный период, когда река питается грунтовыми водами, превышения ПДК отмечены для сульфатов и ионов магния. Для водосбора Урала помимо хлоридного засоления характерно сульфатное засоление [5]. Увеличение содержания сульфатов в воде реки вероятнее всего связано с влиянием солевого фона притоков Илек и Шаган, а также с поступлением с водами р. Илек сульфатов антропогенного происхождения.

В воде реки в меженный период (март и июль 2019 г.), наблюдались концентрации тяжелых металлов (ТМ) превышающие рыбохозяйственные нормативы. Наибольшее содержание практически всех ТМ отмечено в районе п.Индербор. Вниз по течению реки снижаются концентрации марганца, хрома, свинца и меди. Превышения ПДК<sub>р-х</sub> цинком ( $15,3-22,7 \text{ мкг/дм}^3$ ) и медью ( $2-23 \text{ мкг/дм}^3$ ) связаны с техногенным источником (трансграничным переносом с территории РФ и с впадением загрязненных притоков). Мало изменяется вниз по течению реки содержание растворенного железа. Его концентрации ( $140-190$

мкг/дм<sup>3</sup>), несмотря на превышение ПДК соответствуют природному геохимическому фону. Железо содержится в почвах бассейна и грунтовых водах. Кроме того, в нижнем течении Урала отсутствуют промышленные источники загрязнения железом. Помимо окислительно-восстановительных условий на интенсивность миграции железа влияет повышенное содержание в нижнем течении реки взвешенных частиц (преимущественно глинистых), на которых хорошо сорбируются не только железо, но и другие металлы. По данным Казгидромет, в районе г. Атырау в 2019 г. концентрации растворенного железа не превышали ПДК<sub>р-х</sub>.

Важнейший показатель качества воды р. Урал – содержание бора. Распространение загрязненных бором и шестивалентным хромом вод прослеживается на территории Казахстана и на территории РФ. ПДК по бору (в ионной форме) для вод питьевого и коммунально-бытового назначения составляет 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, такая же величина является границей для рыбохозяйственных объектов, хотя в действующих нормативных документах ПДК для бора отсутствует. Согласно исследованиям [7] в низовьях р. Урал в 2016г. содержание бора колебалось в широких пределах (0,06–1,56 мг/дм<sup>3</sup>). Минимальные концентрации на всем протяжении реки фиксировались в октябре, максимальные – в мае при прохождении половодья. По данным 2019 г. превышений ПДК по бору отмечено не было.

Общее содержание органических веществ (по ХПК) в ландшафтных условиях водосбора низовьев Урала низкое (10,1–12,9 мгО/дм<sup>3</sup>). Преобладающая форма минерального азота – нитратный азот, содержание которого составляет от 4,6 до 5,3 мгN/дм<sup>3</sup> (более 97 % содержания минерального азота). Для соединений фосфора характерны сезонные изменения. В летний период минеральный фосфор потребляется гидробионтами, поэтому его доля составляет не более 30% валового, в период зимней межени – увеличивается до 60-70% в результате процессов минерализации. Содержание валового фосфора в межень 2019 г. не превышало 60 мкг/дм<sup>3</sup>. В водах реки наблюдается благоприятное соотношение биогенных элементов, которые являются минеральной основой биопродуктивности как в самой реке, так и в водах Северо-Восточного Каспия.

Нефтепродукты в нижнем течении р. Урал – полностью техногенный компонент. Содержание НФПР изменяется в широком диапазоне: от 0,023 до 0,085 мг/дм<sup>3</sup>, в 2019 г. составив в среднем 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. НФПР поступают в реку с диффузным стоком, ливневыми и дренажными стоками.

Содержание растворенного кислорода свидетельствует о недостаточной аэрации вод реки в течение большей части года. Абсолютные значения ПДК<sub>р-х</sub> не были превышены, однако насыщение воды кислородом составляло в среднем лишь около 50 %. Наихудшая ситуация характерна для периода ледостава (минимум составил 36 % нас.), сравнительно невысоким было содержание кислорода и весной, тенденция к увеличению абсолютной и относительной концентрации кислорода проявилась в июле-августе в связи с развитием фотосинтеза.

Использование одних только физико-химических методов контроля воздействия на водную среду оказывается недостаточным в силу большого

множества и разнообразия таких воздействий. Исследование фитопланктона низовьев р.Урал не выявило существенных отклонений в его развитии. Он характеризуется высоким видовым разнообразием (индекс Шеннона 2,6-4,9).

Индексы сапробности, характеризующие содержание в воде органических веществ, находящихся на разных стадиях разложения, невелики – они изменяются от 1,6 до 2,1 – то есть укладываются в границы б-мезосапробной зоны, характерной для слабо (умеренно) загрязнённых вод. Воды р.Урал ниже г.Атырау не показали повышения сапробности.

При этом малое видовое разнообразие, малый индекс Вудивиса и малая представленность оксифильных личинок насекомых свидетельствует о неблагополучии. Однако, этот вопрос нуждается в дополнительном исследовании.

### **Заключение**

Климатические и гидрологические изменения в бассейне р. Урал, интенсивная водохозяйственная деятельность определяют современное гидроэкологическое состояние воды реки в ее нижнем течении. По сравнению с условно-естественным фоном минерализация воды в период половодья увеличилась в 2,5 раза, в межень – на 5–8 %. В 2019 г. вода реки в течение всего года характеризовалась хлоридно-натриевым составом.

Загрязнение нижнего течения р. Урал обусловлено в основном поступлением загрязняющих веществ из вышерасположенных участков реки (от Ириклинского водохранилища до г. Уральска) и в результате впадения загрязненного притока Илек. Качество воды р. Урал (с. Январцево) оценивается как «умеренного уровня загрязнения», поскольку в воде фиксируются превышения ПДК<sub>р-х</sub> по нитритному азоту, общему железу, сульфатам, магнию. Вниз по течению реки загрязнение снижается, на бесприточном участке в пределах Атырауской области вода характеризуется как «нормативно-чистая». Этому способствует отсутствие поступления сточных вод непосредственно в реку. Сбросы коммунально-бытовых и промышленных сточных вод осуществляются в специальные накопители, исключаящие загрязнение природных водных объектов. Существующие источники загрязнения речных вод: диффузный поверхностный сток с территорий промышленных площадок, населённых пунктов, животноводческих ферм, промывочные воды с городских фильтровальных станций.

Индексы сапробности, характеризующие содержание в воде органических веществ, находящихся на разных стадиях разложения, невелики и укладываются в границы б-мезосапробной зоны, характерной для слабо (умеренно) загрязнённых вод. Малые значения индекса сапробности и олигохетного индекса свидетельствуют о сравнительно низкой органической нагрузке на водотоки.

Содержание растворенного кислорода свидетельствует о недостаточной аэрации вод реки в течение большей части года. Насыщение воды кислородом составляло в среднем около 50 %. Наихудшая ситуация характерна для периода ледостава (минимум 36 % нас.), сравнительно невысоким было содержание кислорода весной. При снижении водности реки и поступлении с водосбора вод,



загрязненных органическими веществами возможно возникновение заморных условий.

*Исследование выполнено в рамках государственного научного задания МГУ.*

### **Библиографический список**

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Оренбургской области в 2018 году». Оренбург, 2019. 230 с.
2. Национальный атлас России. М., 2007. Т. 2. 496 с.
3. Национальный атлас Республики Казахстан. Алматы, 2010. Т. I. 150 с.
4. *Павлейчик В.М., Сивохин Ж.Т.* Миграция загрязняющих веществ в условиях регулирования стока (на примере верхнего течения р. Урал) // Изв. Самар. НЦ РАН. 2011. Т. 13. № 1(6). С. 1472-1478.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л., 1970. Том 12. Вып. 2. 512 с.
6. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Урал (Жайык) с притоками. Отчет в 6 томах и 11 кн. Алматы: ПК «Институт Казгипрводхоз», 2007.
7. *Тулемисова Г.Б., Абдинов Р.Ш., Кабдрахимова Г.Ж., Жанетов Т.Б.* Экологическое состояние реки Урал // Вестник КазНУ. Серия химическая. 2017. №2(85). С.18-24.
8. Унифицированные методы исследования качества вод. 1977. Часть III. Методы биологического анализа вод приложение 1. Индикаторы сапробности. М.: Изд. СЭВ.
9. *Чибилев А.А.* Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург, 2008. 312 с.
10. Интернет-ресурс РГП «Казгидромет» Мин. Энергетики Республики Казахстан. Новости: <https://kazhydromet.kz/ru/news/index?page=1&per-page=12>

УДК 551.557

А.Б. Китаев, [kitaevab1953@gmail.com](mailto:kitaevab1953@gmail.com)

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ МАЛЫХ РЕК Г. ПЕРМИ**

Дана оценка качества воды рр. Мулянка, Данилиха, Егошиха и Ива, протекающих по территории г. Перми. Анализ дан по фоновому и устьевому створам. В основу положены материалы мониторинговых исследований химического состава воды, выполненных в 2009-2010 гг. и 2015-2018 гг. Дан сравнительный анализ качества воды по индексам загрязнения за два рассматриваемых периода.

*Ключевые слова:* малая городская река, фоновый и устьевой створ, качество воды, индексы загрязнения.

## ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF SMALL RIVERS OF PERM

The assessment of the water quality of the Mulyanka, Danilikha, Yegoshiha and Iva rivers flowing through the territory of Perm is given. Analysis is given on the background and auxiliary stems. The materials of monitoring studies of the chemical composition of the water performed in 2009-2010 are based on 2015-2018. This is a comparative analysis of water quality over pollution indexes for the two periods under consideration.

*Keywords:* small city river, background and mouthwash, water quality, indexes of pollution.

### ***Актуальность***

Малые реки, протекающие по урбанизированной территории крупных городов, чаще всего представляют собой жалкое зрелище. Их воды, как правило, сильно загрязнены, замусорены и не являются важным элементов городской инфраструктуры. Изучение их ведется хаотично и без достаточной детализации. В настоящее время имеется определенное количество работ, посвященных оценке экологической ситуации на малых водных объектах в пределах городских агломераций как в России [1-5; 15-16; 18-19], так и в частности пределах Пермского края [6-8; 10-14; 17].

Все малые реки г. Перми испытывают сильнейшее антропогенное воздействие. Это загрязнение их вод промышленными, хозяйственно-бытовыми и ливневыми стоками, строительство дамб, разработка карьеров, сооружение коллекторов, загрязнение берегов мусором и т.д. В результате экосистемы рек претерпели значительные изменения, особенно р. Данилиха, которая полностью утратила рыбное население. В связи с вышесказанным, целью работы явилась оценка качества воды малых рек г. Перми в период 2008-2010 гг. (первые годы наблюдения) и 2015-2018 гг. Такая оценка необходима для характеристики эффекта проводимых природоохранных мероприятий, как в самих водных объектах, так и на их водосборах, расположенных на урбанизированных территориях.

### ***Материалы***

Мониторинговые наблюдения за качеством воды малых рек города с 2009 г. Управлением по экологии и природопользованию администрации города Перми возложено на ОАО «МНИИЭКО ТЭК». Целью выполнения работ является комплексная оценка состояния загрязнения малых рек г. Перми, неохваченных государственной сетью наблюдений, и их вклада в загрязнение р.Кама. Створы наблюдений на реках, расположенных в зоне влияния предприятий г. Перми, установлены в соответствии с общепринятыми принципами: 1-й – расположенный близко к истоку (условно фоновый створ); 2-й - в устьевом участке малых рек. В пробах воды определялись 19 основных загрязняющих компонентов: растворенный кислород, азот аммония, азот нитратов, азот нитритов, хлориды, сульфаты, железо (общее), медь, цинк, нефтепродукты, ХПК, БПК<sub>5</sub>, СПАВ, сухой остаток, фосфаты, марганец, рН, алюминий и стронций. Оценка гидрохимического режима малых рек города,

выполненная в 2009-2010 гг., охватывает все фазы водного режима водотоков. Такое мониторинговое исследование на малых реках города проведено впервые.

### ***Результаты и их анализ***

Устойчивое превышение ПДК во всех малых реках зарегистрировано по стронцию и в некоторых контрольных точках по алюминию. За весь период наблюдения за состоянием малых рек не выявлено превышения ПДК по водородному показателю (рН). Во всех контрольных точках на малых реках зарегистрировано превышение ПДК по следующим компонентам: медь, марганец; стронций.

Вода р. *Ива* уже на участке близком к истоку, расположенном в городской черте оценивается как 5 класса, разряд – экстремально грязная, критические показатели загрязненности: ХПК, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный, азот нитритов, фосфаты, медь, марганец. Протекая через районы города, качество воды в р. Ива на устьевом участке при впадении в р. Каму незначительно улучшается. Вода характеризуется, как 4 класс, разряд «в» (очень грязная) за счет появления критического загрязнения по меди и нефтепродуктам. Качество воды в р. Ива по результатам комплексной оценки загрязненности в 2010 г. по сравнению с 2009 г. ухудшилось особенно значительно в фоновом створе (со сменой класса воды). Выявленное в фоновом створе реки Ива устойчивое загрязнение воды соединениями азота имеет антропогенное (хозяйственно-бытовое происхождение). Кислородный режим на реке удовлетворительный. Однократно за период наблюдений в воде фоновом створа реки зарегистрировано превышение содержания ПДК по сухому остатку, хлоридам и сульфатам, вызванное техногенным загрязнением. Наиболее вероятно попадание в реку с талыми водами солесодержащих противогололёдных средств, используемых на дорогах г. Перми в зимнее время. На протяжении всей реки зарегистрировано загрязнение устойчивыми трудноокисляемыми органическими соединениями (ХПК), в меньшей степени – легкоокисляемыми органическими соединениями (БПК<sub>5</sub>). При этом кислородный режим на реке удовлетворительный. Загрязнение воды реки Ивы металлами (железо, марганец, медь, алюминий, стронций) устойчиво в течение всего периода наблюдений. При этом постоянное высокое содержание металлов в фоновом створе и некоторое снижение их концентрации к устью реки, объясняется естественным разбавлением воды за счёт боковых притоков. Выявленное загрязнение нефтепродуктами с наибольшей вероятностью имеет антропогенное происхождение и проявляется более значимо в устье реки.

Материалы обследования малых городских рек в более поздний период (2015-2018 гг.) свидетельствуют о том, что экологическая ситуация на самих водотоках и их водосборах остается сложной. В фоновом створе р. Ивы в отмеченный период индекс УКИЗВ изменялся от 2,56 до 3,71. При этом наблюдалась тенденция его снижения к концу периода, что свидетельствует о некотором снижении техногенной нагрузки. Класс качества воды перешел из 4 «А» (грязная) в 3 «А» (загрязненная). Совершенно иная картина наблюдалась в устьевом створе реки. Здесь индекс УКИЗВ изменялся от 4,48 до 6,90. При этом наблюдалась тенденция ухудшения качества воды к концу рассматриваемого

периода. Вода из категории грязной перешла в категорию экстремально грязной. Таким образом, при протекании по городской территории качество воды реки существенно ухудшилось. Сравнивая два исследуемых периода можно констатировать, что ситуация с качеством воды осталась прежней и весьма тревожной. На всем протяжении реки наблюдается устойчивое загрязнение по таким компонентам как марганец, медь, железо и особенно по нефтепродуктам (30-50 ПДК).

Вода р. *Егошиха* на участке близком к истоку, расположенном в городской черте оценивается как 3 класс, разряд «а» (загрязненная). Качество воды в фоновой точке реки наилучшее среди всех контрольных точек малых рек города. Река на устьевом участке оценивается как водоток 5 класса (экстремально грязный). К критическим показателям загрязнения отнесены: нитриты, медь, марганец и нефтепродукты. В устье реки уровень содержания кислорода в среднем ниже установленных норм. В фоновом и устьевом створах реки не установлено превышений ПДК по: сухому остатку, азоту аммония, хлоридам и анионоактивным СПАВ. По полученным значениям удельного комбинаторного индекса загрязнения и класса качества воды в 2010 году по сравнению с 2009 и 2008 гг. в фоновом створе реки качество воды улучшилось. В воде реки после прохождения её по городу (устьевой створ) наблюдается увеличение концентрации загрязняющих веществ, обусловленное антропогенным влиянием, как жизнедеятельности человека, так и техногенной нагрузкой от предприятий города. Несмотря на то, что в устье реки качество воды осталось примерно на уровне 2009 г., в целом по результатам наблюдений за 2010 г. в устьевой части реки Егошихи установлено наихудшее качество воды среди малых рек г. Перми. Таким образом, по результатам наблюдений за 2010 г. р. Егошиха, имеющая в контрольной фоновой точке самую благополучную характеристику среди малых рек г. Перми, подвергается самой жесткой техногенной нагрузке, и в устье вода реки характеризуется как экстремально грязная – самая загрязненная среди малых рек.

Обследование реки в более поздний период показало, что ситуация с качеством воды остается весьма сложным. Индекс УКИЗВ в этот период в устьевом створе изменялся от 5,05 до 6,13, то есть был достаточно стабильным. Вода в этот период оценивалась как грязная (4 «Б») и очень грязная (4 «Г»). Сравнивая качество воды в фоновом и устьевом створах, следует отметить, что протекая по урбанизированной территории города, река по-прежнему сильно загрязняется. В многолетнем аспекте можно считать, что ситуация не улучшается. По-прежнему наблюдаются существенные превышения предельно-допустимых концентраций по марганцу (30-50 ПДК), общему железу и др.

Вода р. *Данилихи* на фоновом участке близком к истоку, расположенном в городской черте, имеет болотное происхождение и по комплексным показателям оценивается как 5 класс, разряд – экстремально грязная. Выявлено стабильное загрязнение на уровне критических показателей загрязненности фосфатами, медью и марганцем. Кислородный режим в фоновом створе реки не удовлетворительный. Одной из причин этого является болотное происхождение реки. Выявлено постоянное загрязнение реки трудноокисляемыми

органическими веществами. К устью в большинстве случаев степень загрязнения несколько снижается или остается неизменным. Высокие значения показателя ХПК в большинстве случаев обусловлены спецификой качества речной воды. Исток реки находится в болотистой местности с большим количеством органического углерода естественного происхождения. Однократно при отборе проб в гидрологической фазе «перед осенним паводком» в устье Данилихи было зарегистрировано четко выраженное техногенное загрязнение, характеризующееся как высокое (по ХПК и БПК) и экстремально высокое по нефтепродуктам. Вода реки также имеет постоянное загрязнение металлами (железо, медь, марганец, стронций). Нет четко выраженной зависимости их содержания от фаз гидрологического режима. В устье присоединяется устойчивое загрязнение по цинку и алюминию. Протекая через центральные районы города, р. Данилиха на устьевом участке при впадении в р. Каму характеризуется как водоток 4 класса, разряд «г» - «очень грязный». По полученным данным о загрязненности воды в реке ее качество в 2010 г. по сравнению с 2009-2008 гг. резко ухудшилось в фоновом створе и несколько улучшилось в устье. В 2010 г. нормализовалось состояние воды в реке по содержанию в ней азота аммонийного и СПАВ.

Анализ материалов второго исследуемого периода (2015-2018 гг.) свидетельствует, что ситуация с качеством воды не становится лучше. Так, индексы загрязнения УКИЗВ изменялись в этот период от 5,55 до 5,84, то есть они были достаточно стабильными и весьма высокими. Воды характеризовались как грязные (4 «Б») и очень грязные (4 «В»). Река по-прежнему характеризуется самыми высокими фоновыми величинами индексов загрязнения (от 5,58 до 7,14). На всем протяжении реки отмечается устойчивое ее загрязнение по марганцу (более 50 ПДК), меди, цинку, фосфатам, нефтепродуктам, общему железу. При протекании по городской территории воды реки не ухудшают свое состояние по сравнению с фоновым створом (там вода оценивается как экстремально грязная). Сравнение экологической ситуации в двух исследуемых периодах свидетельствует, что она остается довольно сложной несмотря на проводимые природоохранные мероприятия.

Вода р. *Мулянки* на устьевом участке перед впадением в р. Каму характеризуется как 3 класс, разряд «б» (очень загрязненная). Высокого и экстремально высокого уровня загрязненности не установлено. В 2010 г. отмечено стабильное загрязнение по меди и стронцию, периодическое загрязнение по органическим веществам (показатель ХПК) и алюминию. В реке Мулянка в течение всего периода наблюдений не установлено превышений ПДК по следующим компонентам: сухой остаток, азот аммония, хлориды, нефтепродукты, СПАВ, цинк. Качество воды в устье р. Мулянка может быть охарактеризовано, как стабильное. Класс качества воды за 2008-2010 гг. наблюдения не изменился. В устьевом створе река остается самой менее загрязненной в городе.

Во второй исследуемый период индексы загрязнения УКИЗВ в устьевом створе изменялись от 3,92 до 4,58, что является самым низким показателем загрязненности вод малых рек города. При этом отмечается тенденция

некоторого их снижения в многолетнем аспекте. Несмотря на то, что экологическая ситуация в реке наиболее благоприятная среди других исследуемых водотоков, в ее водах по-прежнему отмечаются превышение ПДК по содержанию марганца, нефтепродуктов, общего железа, азота нитратов.

### **Вывод**

Оценка качества воды малых рек г. Перми в многолетнем аспекте (2008-2010 гг. и 2015-2018 гг.) показало, что ситуация остается весьма сложной, несмотря на проводимые в самих реках и на их водосборах природоохранные мероприятия.

### **Библиографический список**

1. *Афанасьева М.И.* Современное состояние качества воды малых рек центральной части Хабаровска в зимний период // Молодой ученый. 2018. №46(232). С.54-57.
2. *Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А.* Динамика токсичности вод в пределах мегаполиса (р. Темерник, ЮФО) // Живые и биокосные системы. 2014. № 7. С.1-11.
3. *Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р., Ямоллов С.М., Кулагин А.А.* Техногенное загрязнение малых рек в черте г. Сибая // Медицина труда и экология человека. 2016. № 2. С. 53-56.
4. *Воронин А.В., Киселева С.П., Рыков С.В.* Экологические проблемы использования малых рек // Вестник РУДН. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. 2007. № 3. С.74-77.
5. *Гетманец И.А., Артеменко Б.А.* Гидрохимическая оценка уровня загрязнения реки Миасс на территории Челябинской области // Фундаментальные исследования. М.: Академия естествознания, 2013. № 10-6. С. 1248-1252.
6. *Двинских С.А., Китаев А.Б.* Качество воды и загрязнение донных отложений малых водных объектов г. Перми // Гидрология, гидрохимия и гидроэкология. Киев: Изд-во ВГЛ «Обри», 2006. Т.11. С.224-230.
7. *Двинских С.А., Китаев А.Б.* Экологическое состояние малых рек города Перми // Географический вестник. Пермь, 2011. № 2(17). С.32-43.
8. *Двинских С.А., Ларченко О.В., Березина О.А.* Экологическая характеристика реки Амбарки // Экология города: состояние и охрана окружающей среды г. Перми. Пермь, 2016. С.48-56.
9. *Дрововозова Т.И., Паненко О.В.* Экологическое состояние малых рек Ростовской области // Экология и водное хозяйство. 2019. № 1(01). С.1-17.
10. *Китаев А.Б.* Качество воды малых рек города Перми в современных условиях // Современные наукоемкие технологии. М.: Академия естествознания, 2010. № 10. С.215-217.
11. *Китаев А.Б.* Оценка степени загрязненности воды малых рек города Перми (по материалам 2008-2010 гг.) // Успехи современного естествознания. М.: Академия естествознания, 2011. № 6. С.57-59.

12. *Китаев А.Б.* Мониторинговые исследования малых рек города Перми // Ресурсно-экологические проблемы Волжского бассейна: докл. Междунар. научно-практ. конф. Владимир, 2011. С.157-159.
13. *Китаев А.Б.* Оценка качества воды малых рек города Перми по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Эффективное природопользование на региональном, городском и муниципальном уровнях: сб. мат. Всерос. научно-практ. конф. Чебоксары: Новое время, 2011. С.199-206.
14. *Китаев А.Б., Минкин К.А.* Полевое обследование р. Данилихи в городе Перми (2016-2017 гг.) // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества: мат. V заочной Всероссийской с международным участием научно-практ. конф. Челябинск: «Край Ра», 2017. С.122-130.
15. *Никоноров А.М., Хоружия Т.А., Миронова Т.В.* Анализ влияния мегаполисов на качество воды поверхностных водных объектов по экологотоксикологическим показателям // Водные ресурсы. 2011. Т.38. № 5. С. 577-584.
16. *Опекунова М.Г., Сенькин О.В., Арестова И.Ю.* К оценке экологического состояния в г. Сибее и Баймакском районе Башкортостана // Труды Сибайского института Башкирского гос. ун-та: сб. статей. Сибай, 2001. С. 100-105.
17. *Порохина М.Ю., Рудакова Л.В.* Оценка качества воды малых рек, расположенных в зоне санитарной охраны питьевого водозабора г. Перми // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Пермь, 2018. С. 86-90.
18. *Цыганов А.А.* Загрязнение поверхностных вод города Твери // Вестник ТеГУ. Серия «География и геоэкология». 2019. № 1(25). С. 14-22.
19. *Щеголькова Н.М.* Закономерности формирования экологических условий современной реки мегаполиса // Вода и экология. Проблемы и решения. 2006. № 4. С. 3-12.

УДК 630\*116.11, 556.121.3

Д.Е. Клименко<sup>1</sup>, Е.С. Черепанова<sup>2</sup>, А.А. Хомылева<sup>2</sup>, [klimenkodi@rambler.ru](mailto:klimenkodi@rambler.ru)

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет им. первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет»,  
г. Пермь, Россия

## **ВЛИЯНИЕ ПОСТПИРОГЕННЫХ СУКЦЕССИЙ ЛЕСОВ УРАЛА НА ФОРМИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ**

Рассматриваются вопросы изменения потерь осадков на кронах древостоев в условиях сукцессий лесов после пожаров и связанные с ними изменения максимальных расходов дождевых паводков. Приведены результаты комплексных полевых, экспериментальных работ, детерминированного моделирования. Установлено, что при полном выгорании лесов на



водосборе максимальные расходы могут увеличиться на 40% по сравнению с начальным состоянием лесов, а при восстановлении лесов максимальные расходы паводков вновь снижаются на 15-20% в течение 20-летнего периода.

*Ключевые слова:* лесная гидрология; сукцессии; дожди; перехват атмосферных осадков; моделирование дождевых паводков.

D.Ye. Klimenko<sup>1</sup>, E.S. Cherepanova<sup>2</sup>, A.A. Khomyleva<sup>2</sup>, [klimenkodi@rambler.ru](mailto:klimenkodi@rambler.ru)

<sup>1</sup>*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russia*

<sup>2</sup>*Perm State National Research University, Perm, Russia*

## **INFLUENCE OF POSTPYROGENIC SUCCESSIONS OF THE FORESTS OF THE URALS FOR THE FORMATION OF THE MAXIMUM WATER CONSUMPTION OF RAINFLOWS**

The issues of losses on the crowns of forest stands in the conditions of forest successions after fires and associated changes in the maximum discharge of rainfall floods are considered. The results of complex field, experimental work, deterministic modeling are presented. It has been established that with the complete burnout of forests in the catchment, the maximum flow rates can increase by 40% compared to the initial state of the forests, and with the restoration of forests, the maximum flow rates of floods again decrease by 15-20% over a 20-year period.

*Keywords:* forest hydrology; succession; rains; interception of atmospheric precipitation; modeling of rain floods.

### ***Введение***

Полный период восстановления хвойных лесов после пожаров в условиях Северного Урала составляет 200-250 лет. В ходе пирогенных сукцессий фитоценозов изменяются факторы формирования дождевых паводков. Так, после пожаров уменьшается площадь листовой поверхности крон, что уменьшает потери осадков на их смачивание; уменьшаются потери осадков на испарение с листовой поверхности и величины инфильтрации в условиях деградации корневой системы деревьев.

После пожаров следует ожидать увеличения объема паводочного стока и максимальных расходов малых рек (площадью водосбора до 200 км<sup>2</sup>). Исследование посвящено количественным оценкам потерь осадков на смачивание крон в ходе сукцессий и оценкам дождевых паводков и базируется на результатах полевых, экспериментальных работ, детерминированного моделирования гидрографов дождевых паводков.

### ***Изученность***

Первые исследования потерь осадков единичных ливней на кронах древостоев выполнены в конце XIX – начале XX вв. [1; 5]. На сегодняшний день известно несколько моделей водоудержания дождевых осадков на кронах древостоев за время дождя: Хортон, Мерриана, Джексона, Гэша, Фан [3; 4]. Особенностью всех моделей является то, что они опираются на материалы эмпирических наблюдений над осадками под кронами, а не на результаты физического моделирования удержания влаги на листовых пластинах. Авторами разработана методика оценки перехвата осадков отдельных дождей на кронах



древостоев и методика пространственного картографирования величин предельного удержания осадков кронами по площади водосбора [КЛИМЕНКО]. В условиях различного породного состояния лесов в ходе сукцессии выполнено моделирование гидрографов отдельных дождевых паводков и их сопоставление с гидрографами в начальном состоянии лесов до пожара.

### **Материалы и методы**

В качестве экспериментального участка выбран водосбор р. Пыновка, расположенный в пределах Северо-Сосьвинской возвышенности, в бассейне р. Лозьва. Водосбор заболочен, покрыт смешанным лесом. В 2010-2013 гг. водосбор был охвачен пожарами, в связи с чем площадь хвойных лесов сократилась вдвое, на смену им пришли лиственные леса (поросль). Площадь водосбора 28,4 км<sup>2</sup>. На 79% он покрыт лесами, 64% из которых – поросль мелколиственных пород. На выгоревших участках современная растительность представлена порослью березы и ивы, возраст 5-7 лет, сомкнутость крон 10, высота древостоя 3-10 м. На участках, частично затронутых пожаром, произрастает спелый и приспевающий березовый лес с примесью сосны (Б9С1), высотой 18-20 м, сомкнутость крон 9, диаметр стволов 0,25, возраст древостоя 30-40 лет. Подрост березовый, высота деревьев 10, сомкнутость 3, диаметр 0,10, возраст 10 лет. Подлесок представлен порослью березы, рябины, осины, высотой 1-2 м. На участках, не затронутых пожаром, произрастает спелый и приспевающий сосново-березовый лес (С6Б4), высота деревьев 20-22 м, сомкнутость крон 7, диаметр стволов 0,35, возраст 50-60 лет. Подрост березово-сосновый. Травяной покров представлен осокой и злаками.

Для водосбора р. Пыновка характерно снижение лесистости в период с 2010-13 гг. в результате выгорания части водосбора с последующим появлением лиственных пород. Доля лиственных лесов за период с 1987 по 2019 гг. возросла с 43 до 64%, доля хвойных – снизилась с 42 до 19%. Доля лугов также снизилась с 10 до 4%, что связано с зарастанием лугов и болот после пожаров. В подобных условиях ожидаемо снижение доли перехваченных осадков на водосборе с одновременным возрастанием максимальных расходов воды дождевых паводков. Численные характеристики сукцессионного процесса, установленные на основе анализа разновременных космоснимков и результатах полевого обследования в 2020 г., представлены в таблице.

### **Численные характеристики сукцессионного процесса на водосборе р. Пыновка**

<i>Характеристика фитоценозов</i>	<i>Площади по годам, га</i>			<i>Относительные площади по годам, %</i>		
	<i>1987</i>	<i>2013</i>	<i>2019</i>	<i>1987</i>	<i>2013</i>	<i>2019</i>
Хвойные леса	3468	2826	1424	12,2	9,9	5,0
Лиственные леса	1476	2998	3062	5,2	10,5	10,8
Смешанные с преобладанием хвойных	8356	3505	3843	29,4	12,3	13,5
Смешанные с преобладанием лиственных	10755	13326	14219	37,8	46,9	50,0
Травостой - луга, болота	3082	1177	869	10,8	4,1	3,1
Антропогенные территории и открытые грунты	1073	4376	4048	3,8	15,4	14,2
Водные поверхности	215	215	215	0,8	0,8	0,8
Молодняк	0	0	744	0,0	0,0	2,6

Для экспериментального водосбора за характерные годы были созданы карты породного состава лесов, высоты и сомкнутости древостоев. На основе данных карт и результатов полевого обследования определялся возраст лесов и площадь листовой поверхности древостоев по регулярной сетке 100\*100 м. По авторским эмпирическим зависимостям максимальной массы удержания осадков от площади листовой поверхности [6] определялась предельная величина потерь дождевых осадков на смачивание крон. Подробно методика экспериментальных работ описана в [6], методика пространственного картографирования – в [7].

Пространственную картину величин перехвата дождевых осадков кронами за характерные годы на водосборе р. Пыновка представлена на рис. 1.

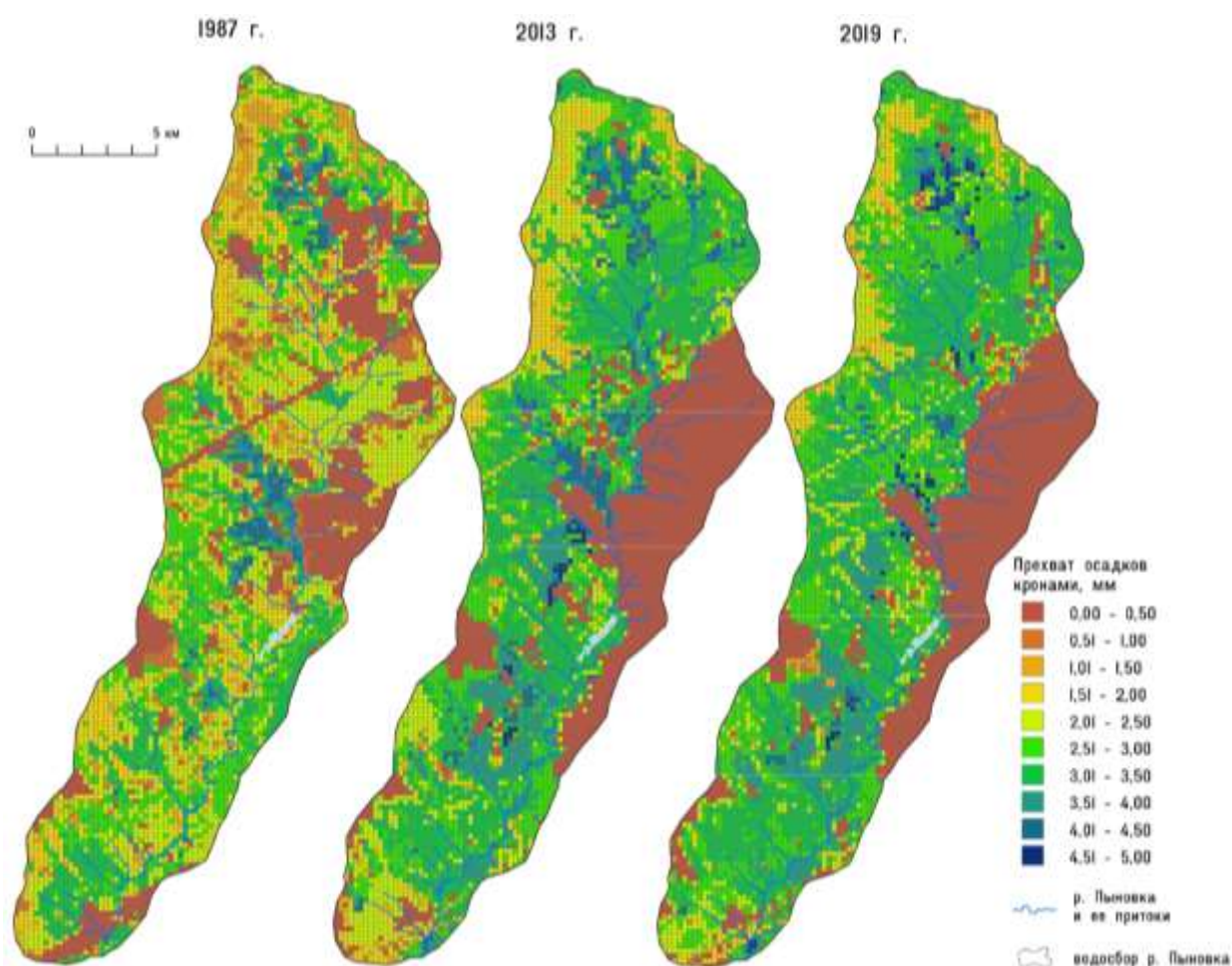


Рис. 1. Результаты картографирования предельных величин перехвата дождевых осадков листовой поверхностью лесных насаждений на водосборе р. Пыновка за различные годы развития сукцессионного процесса

Как видно, после пожара 2013 г. существенно увеличилась площадь водосбора с нулевыми потерями осадков. К 2019 г. площадь нулевых потерь постепенно сокращается, что связано с зарастанием гарей молодняком. Одновременно увеличиваются потери осадков в целом по площади водосбора, что связано с взрослением леса, увеличением площади крон и постепенной заменой мелколиственных пород хвойными. Показателен в этом отношении

результат картографирования за 1987 г., когда водосбор был покрыт мелколиственным лесом и порослью сосны и имел в целом меньшие потери осадков, чем залесенная часть водосбора в год пожара (2013 г.).

### **Результаты и их обсуждение**

На основании оценки пространственного распределения потерь осадков на смачивание кроны на разных стадиях сукцессии лесов, данных по фактическим суммам осадков и величинам испарения с листовой поверхности выполнено моделирование гидрографов дождевых паводков за 1-19 августа 2020 г.

Моделирование было выполнено с помощью программы Rainfall Runoff Library от eWater Toolkit. Данная программа предназначена для моделирования дождевого стока на водосборе с использованием данных о суточных осадках, расходах и суммарном испарении. Программа может быть использована для водосборов от 10 до 10000 км<sup>2</sup>. Программное обеспечение данной программы (RRL) позволяют калибровать модели гидрографов дождевого стока.

Путем калибровки расчетный гидрограф для периода паводков (с июня по сентябрь включительно) был приведен в вид максимально близкий к измеренным в ходе полевых работ расходам. Далее с теми же параметрами было выполнено моделирование без учета перехвата осадков и с учетом перехвата осадков на уровень 1987 г. (до пожара). Для моделирования использована модель AWBM, подробно описанная в [2]. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

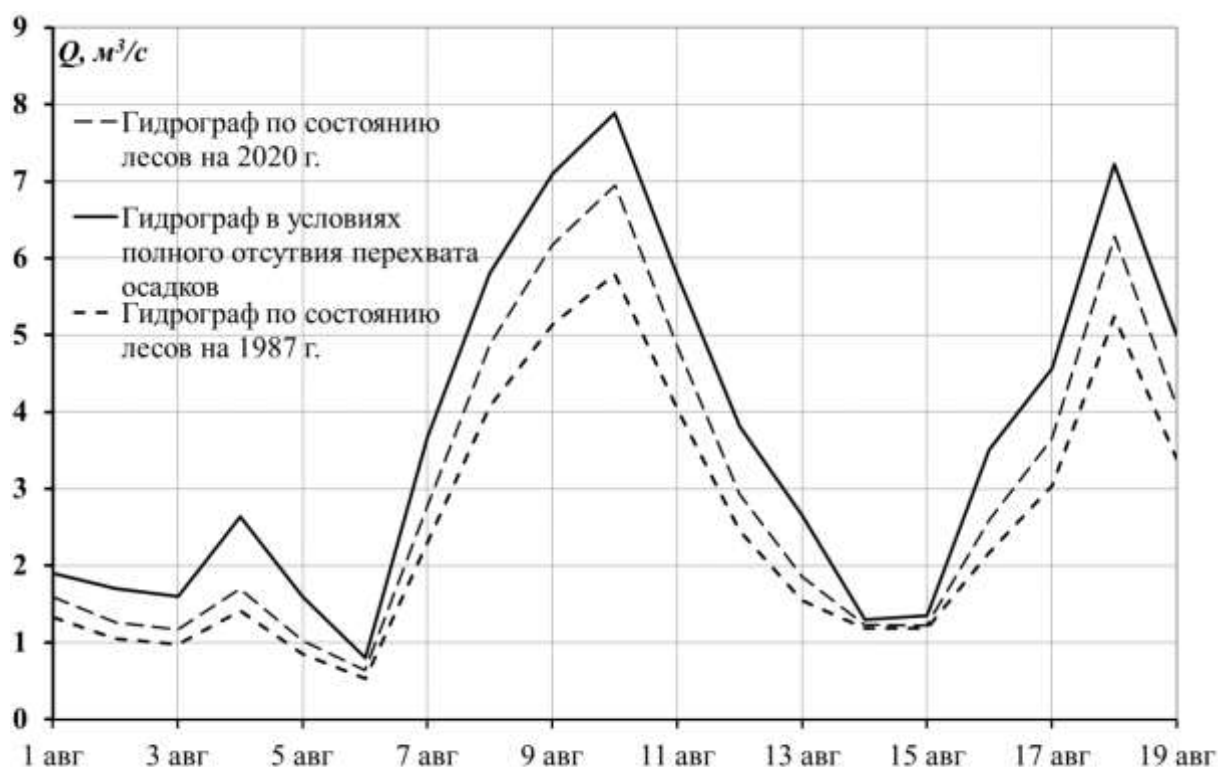


Рис. 2. Смоделированные гидрографы дождевых паводков для водосбора р. Пыновка для 1987 г. (до пожара), 2020 г. (после пожара) и для случая полного отсутствия лесов

## **Выводы**

Результаты расчетов показывают, что изменение состояния лесов на водосборе в ходе сукцессий приводит к существенным изменениям максимальных расходов воды дождевых паводков. Так, за 20-летний период после пожара на экспериментальном водосборе максимальные расходы воды возросли на 18%. А при условии полного выгорания леса на водосборе максимальные расходы возрастут на 35-40%. Эти сведения необходимо учитывать при проведении гидрологических расчетов и планировании лесоустроительных работ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-05-00448.*

## **Библиографический список**

1. *Buhler, Dr. A. (1891). Swiss Central Bureau for Forest Research Investigation. Proceedings. 1(1). Contains detailed results of Adiisbeig and other Swiss stations*
2. eWater Toolkit // URL: <https://toolkit.ewater.org.au/>.
3. *Gash, J.; Lloyd, C.; Lachaud, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. J. Hydrol. 1995, 170, 79–86, doi:10.1016/0022-1694(95)02697-n.*
4. *Herbst, M.; Rosier, P.T.; McNeil, D.D.; Harding, R.J.; Gowing, D.J. Seasonal variability of interception evaporation from the canopy of a mixed deciduous forest. Agric. For. Meteorol. 2008, 148, 1655–1667, doi:10.1016/j.agrformet.2008.05.011.*
5. *Horton, R.E. Rainfall interception. Mon. Weather. Rev. 1919, 47, 603–623, doi:10.1175/1520-0493(1919)472.0.co;2.*
6. *Klimenko D.Ye., Ostakhova A.L., Tuneva A. Experimental Data on Maximum Rainfall Retention on Crowns of Deciduous Tree Species of the Middle Ural (Russia) // Forests, 10(2):183, 2019. DOI: 10.3390/f100201832019.*
7. *Klimenko Dmitry E., Cherepanova Ekaterina S. and Khomyleva Alena A. Spatial Modeling of Maximum Capacity Values of Irrecoverable Rainfall Retention by Forests in a Small Watershed // Forests, 11(6), 641, 2020; <https://doi.org/10.3390/f11060641>.*

В.Е. Коновалов<sup>1</sup>, В.А. Почечун<sup>1</sup>, А.И. Семячков<sup>1,2</sup>

[viktoriyapochechun@mail.ru](mailto:viktoriyapochechun@mail.ru)

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

## **РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ, ЗАНЯТЫХ ОБВОДНЕННЫМИ КАРЬЕРАМИ, В УРАЛЬСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РЕГИОНЕ**

Рассмотрены проблемы, возникающие при воздействии техногенных вод на компоненты окружающей среды. Такие воды образуются при формировании объектов горнопромышленного комплекса, а также в процессе добычи и переработки полезных ископаемых. Дана классификация обводненных карьеров, выполнен анализ использования земельных участков, образованных на территориях, занятых обводненными карьерами. Предложены мероприятия, позволяющие повысить эффективность использования таких земель.

*Ключевые слова:* техногенные воды, горнопромышленный регион, загрязняющие вещества, обводненные карьеры.

V.E. Konovalov<sup>1</sup>, V.A. Pochechun<sup>1</sup>, A.I. Semyachkov<sup>1,2</sup>

[viktoriyapochechun@mail.ru](mailto:viktoriyapochechun@mail.ru)

<sup>1</sup>Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

*Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Yekaterinburg, Russia<sup>2</sup>*

## **RATIONAL USAGE OF WATERED QUARRIES LANDS IN URALS MINING INDUSTRIAL REGION**

The paper deals with the problems arising from the impact of man-made water on the components of the environment. Such waters are formed in the formation of mining facilities, as well as in the process of mining and processing of minerals. Authors made a classification of watered quarries, analyzed the usage of land sites, formed on watered quarries territories. A group of activities, which allows improving efficiency of such lands usage, was offered.

*Keywords:* man-made water, mining industrial region, pollutants, watered quarries.

### **Введение**

Разработка месторождений полезных ископаемых (МПИ) и первичная переработка добытых полезных ископаемых сопровождается негативным воздействием горных работ на окружающую среду. В совокупности факторов вредного влияния не последнее место занимают техногенные воды, образующиеся после разработки месторождений полезных ископаемых [1; 2; 3], в частности, накапливающиеся в отработанных карьерах - обводненные карьеры.

Месторождения полезных ископаемых на территории Урала активно начали разрабатываться с XVIII в., а с середины XIX в. большое распространение получил открытый способ разработки МПИ. За более чем 300 лет горнозаводского дела на территории Урала находится в действии и осталось



после отработки МПИ большое количество карьеров, многие из которых обводнены. Использование отработанных карьеров, в том числе и заполненных водой в народном хозяйстве и жизнедеятельности населения представляет большую проблему.

### ***Материалы и методы исследования***

В работе использованы методы экологического мониторинга, картографические, дешифрирования аэрокосмоснимков, графического моделирования. Работа основывается на большом количестве данных литературных источников, дистанционного зондирования, геохимических съёмок.

### ***Анализ результатов***

Добыча полезных ископаемых при разработке твердых МПИ и торфа ведется открытым способом, в результате чего образуются выемки в земной поверхности – карьеры и котлованы. Они в процессе добычи полезных ископаемых или после окончания разработки МПИ могут быть искусственно или естественным путем заполнены поверхностными или подземными водами. Небольшие карьеры могут образовываться в качестве вспомогательных сооружений и при добыче нефти и газа в заболоченной местности. Такие карьеры используются для добычи песка и его перемещения в основание строительных площадок для размещения кустов скважин.

Обводненные карьеры можно рассматривать в следующих направлениях. В первую очередь, карьеры (котлованы) заполняются водой с целью размещения в них технологического оборудования для добычи полезного ископаемого, как правило, песка (земснаряды, драги и т.п.), т.е. обводненные карьеры используют в процессе разработки МПИ. С другой стороны, в отработанных частях МПИ карьеры используют либо для размещения осветляемых вод в процессе водоотлива из действующего карьера (рис. 1), либо для размещения жидких отходов, образуемых в процессе переработки добытых полезных ископаемых (рис. 2).



Рис. 1. Искусственный водоем осветляемых вод на территории отработанного карьера 1-2 ОАО «Ураласбест» (г. Асбест, Свердл. обл.)



Рис. 2. Главный карьер ВГОКа, заполняемый шламами обогатительной фабрики (г. Нижний Тагил, Свердлов. обл.)

После окончания разработки МПИ оставшиеся карьеры заполняются подземными и поверхностными водами до уровня горизонта подземных вод, а после окончания разработки россыпных МПИ в долинах рек остаются котлованы, заполненные речной водой. В связи с этим можно обводненные карьеры подразделить на **замкнутые**, которые образуются после отработки МПИ классическим открытым способом, и **проточные**, которые образуются после отработки МПИ в долинах рек. Специфическим видом обводненных карьеров можно считать заполненные водой территории, остающиеся после отработки месторождений торфа, небольшие по глубине, но вполне значительные по территории заводнения. Так, например, площадь отработанных территорий Басьяновского месторождения торфа, заполненных водой, составляет 750 га.

Размеры замкнутых обводненных карьеров варьируются в широких пределах в зависимости от размеров отработанных МПИ и составляют от 0,7 га (карьер «Тальков камень», г. Сысерть, Свердлов. обл.) до 930 га (карьер «Богословский», г. Карпинск, Свердлов. обл.). Что касается проточных обводненных карьеров, то их ширина может достигать до 1 км, а длина по течению реки – до 50-80 км (р. Ис, Свердлов. обл.). Глубина поверхностных вод в обводненных отработанных карьерах также неравномерна и зависит от уровня подземных вод, достигая иногда практически верхней бровки карьера, т.е. фактически глубины самого карьера (карьер «Богословский», г. Карпинск, Свердлов. обл.).

Обводненные карьеры располагаются как непосредственно на территории населенных пунктов или на их окраинах, так и на межселенной территории на определенном расстоянии от населенных пунктов, что влияет на возможность их использования в жизнедеятельности населения, а также на возможность их воздействия на окружающую среду. Использование обводненных карьеров возможно, как в производственных целях, например, с целью водозабора для коммунальных или технологических нужд, так и в рекреационных целях для отдыха и занятия спортом населения. Использование обводненных карьеров зависит от качества воды, остающейся в них после отработки МПИ. В таблице приведены сведения об обводненных карьерах, расположенных в Уральском горнопромышленном регионе твердых видов МПИ.

Анализ территорий, занятых замкнутыми обводненными карьерами (таблица), показал следующее:

- земельные участки образованы не на всех территориях отработанных МПИ, где имеются обводненные карьеры. На 38% обводненных карьеров земельные участки не образованы, в том числе на используемых в рекреационных целях в «диком» виде;

- земельные участки образуются непосредственно под обводненные карьеры (3 карьера) или их части. Кроме этого, обводненные карьеры являются частью образованного земельного участка.

Категории земель, на которых расположены обводненные карьеры, распределились следующим образом: земли сельскохозяйственного назначения – 7,1%, земли населенных пунктов – 22,2%, земли промышленности и иного

специального назначения – 24,6%, земли лесного фонда – 6,3%, земли запаса – 4.8%, без указания категории земель – 34,9%.

### Сведения об обводненных карьерах, расположенных Уральском горнопромышленном регионе

№ пп	Субъект РФ	Обводненные карьеры								
		Количество		Площадь, га		Использование				
		Общее	Без образования земельного участка	Занимаемая карьерами	Земельных участков под карьерами	Для добычи полезных ископаемых	Для иных объектов	Для рыборазведения	Для рекреации	Без вида разрешенного использования
1.	Республика Башкортостан	13	6	1328	1124	3	1	2	-	7
2.	Пермский край	6	4	128	75	2	1	1	1	1
3.	Оренбургская область	13	2	457	527	3	3	2	4	1
4.	Свердловская область	54	20	3785	3067	17	3	4	6	24
5.	Челябинская область	40	16	2665	990	13	7	1	1	18
Итого		126	48	8363	5783	38	15	10	12	51

В характеристиках земельных участков, получаемых из публичной кадастровой карты, вид разрешенного использования земельного участка указывается по утвержденному классификатору, либо по документу ранее учтенного земельного участка, иногда он не указывается совсем (40,5%). Среди видов разрешенного использования земельных участков преобладают «для добычи и разработки полезных ископаемых» (30,2%) или «для размещения промышленных объектов» (11,9%), реже – «для сельскохозяйственных целей», например, «для рыборазведения» (7,9%), или «для целей рекреации» (8,2%).

По содержанию вредных веществ в воде все карьеры можно разделить на токсичные (полиметаллы), слаботоксичные (угольные и т.п.) и нейтральные (песок, глина и др.). Использование техногенных водных объектов, в первую очередь, определяется их составом и содержанием в них химических элементов. В случае присутствия в них растворенных металлов или иных полезных ископаемых возможно использование вод для извлечения из них полезных компонентов, а также после осветления рудничные воды могут быть вторично использованы в технических целях в ГПК.

При отсутствии вредных компонентов техногенные водные объекты могут использоваться в сельском хозяйстве, например, как водоем для полива, затопленные территории торфоразработок как охотничьи угодья, в аквакультуре – для разведения рыбы [4], а также в рекреационных и спортивных целях – для организации отдыха населения.



Законодательством обводненные карьеры причислены к поверхностным водным объектам – водоемам. Условия, при которых обводненный карьер может находиться в той или иной форме собственности, изложены в ст. 7 ФЗ «О введении в действие Водного кодекса РФ».

Для повышения эффективности использования обводненных карьеров предлагаются следующие мероприятия:

- учитывая, что обводненные карьеры относятся к категории водных объектов, сведения о них необходимо заносить в форму Государственного водного реестра;
- предусмотреть дополнительный раздел в Государственной информационной системе обеспечения градостроительной деятельности раздел - «объекты недропользования», куда включить сведения об обводненных карьерах и их использовании;
- включить территории, занятые обводненными карьерами, в Государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде;
- отнести карьеры, воды которых являются токсичными, к объектам, осуществляющим вредное воздействие на окружающую среду с занесением их в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

### **Выводы**

Выполненные исследования показали, что обводненные карьеры могут быть использованы для различных целей как в народном хозяйстве, так и обеспечении нормальной жизнедеятельности населения.

### **Библиографический список**

1. Вклад Урала в горное производство России за 300 лет. Уральская горная энциклопедия, том первый /под ред. проф. В.С. Хохрякова. Екатеринбург: изд-во УГГА, 2000. 500 с.
2. V E Konovalov, A I Semyachkov, V A Pochechun. Methodical preconditions of liquidation of negative influence of technogenic waters of the mining territory on environment // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 321 (2019) 012053.
3. Коновалов В.Е., Колчина М.Е. Использование техногенных водных объектов, расположенных на землях горнопромышленных территорий // Проблемы совершенствования управления природными и социально-экономическими процессами на современном этапе. Экологическая и техносферная безопасность промышленных регионов. Бишкек: Киргизский гос. ун-т им. И. Арабаева; Уральский гос. горный ун-т. Чолпон-Ата, 2019. С. 116-122.
4. Fred A. Otchere, Marcello M. Veiga, Jennifer J. Hinton, Renato A. Farias and Robert Hamaguchi. Transforming open mining pits into fish farms: Moving towards sustainability // Natural Resources Forum 28 (2004). P. 216-223.

А.В. Минкина, [anutik.08@inbox.ru](mailto:anutik.08@inbox.ru)

*Пермский государственный национальный исследовательский  
университет, г. Пермь, Россия*

## **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Предлагается авторская методика оценки экологического состояния поверхностных водных ресурсов (на примере Пермского края), основанная на системном подходе - триаде Гегеля «тезис-антитезис-синтез». Разработана структурная схема изучения поверхностных водных ресурсов, на основе которой рассматриваются природные и техногенные факторы формирования водных ресурсов. Оценка экологического состояния водных ресурсов проводится в разрезе административных районов Пермского края.

*Ключевые слова:* водные ресурсы, оценка экологического состояния водных ресурсов, сбросы сточных вод, техногенная нагрузка, триада Гегеля «тезис-антитезис-синтез», Пермский край.

A.V. Minkina, [anutik.08@inbox.ru](mailto:anutik.08@inbox.ru)

*Perm State University, Perm, Russia*

## **SPATIAL CHARACTERIZATION OF THE ECOLOGICAL STATUS OF WATER RESOURCES IN THE ADMINISTRATIVE AREAS OF PERM TERRITORY**

In the article the author's methodology of assessment of ecological state of surface water resources (on the example of Perm Krai) is proposed, based on the system approach - Hegel triad «thesis-antithesis-synthesis». A structural framework for the study of surface water resources has been developed, based on which natural and man-made water resources are considered. The ecological status of water resources is assessed by the administrative regions of Perm Krai.

*Keywords:* water resources, environmental assessment of water resources, wastewater discharges, technological load, Hegel triad «thesis-antithesis-synthesis», Perm Krai.

### ***Введение***

Последние десятилетия характеризуются интенсивным техногенным воздействием на природную среду, в том числе и на поверхностные водные ресурсы, в результате чего их экологическое состояние ухудшается. Только в Пермском крае за 2014 г. сбросы загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты составили 397,8 млн м<sup>3</sup>, а за 2019 г. 209,5 млн м<sup>3</sup> [4]. Несмотря на то, что их объемы снизились почти в 1,8 раза за последние пять лет [4], величины объемов все еще остаются значительными. Наиболее остро экологические проблемы проявляются в экономически развитых регионах края, где большую роль играет промышленное производство (гг. Пермь, Соликамск, Березники, Добрянский район и др.). Так, по данным Министерства природных ресурсов, качество воды малых рек г. Перми в 2019 г. характеризовалось в устьевых створах рек от «грязных» (р. Мулянка) до «экстремально грязных»

(р.Данилиха) [4]; качество воды в створах в районе г. Соликамска и г. Березники соответствует 3-му классу качества, разряд «Б» – вода «очень загрязненная» [4].

Мы живем в эпоху интенсивного развития промышленности и высокого техногенного воздействия на окружающую среду в связи с этим можно ожидать дальнейшего ухудшения качества воды. Это говорит о том, что оценка состояния водных ресурсов на сегодняшний день является актуальной, поскольку от качества используемой населением воды зависит его здоровье. К сожалению, в Пермском крае существующая сеть мониторинга водных объектов развита недостаточно – посты расположены на 21 объекте (3 водохранилища и 18 рек) в 35 пунктах на 39 гидрохимических створах основной сети и 8 – дополнительной. Это не позволяет получить полного пространственного представления (в пределах всего края, а не отдельных точечных объектов) о последствиях техногенных воздействий на поверхностные водные ресурсы. Встает вопрос: с помощью какого подхода можно оценить существующее состояние поверхностных водных ресурсов края?

### **Материалы и методы исследования**

В основу исследований положены данные Камского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов по объемам сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты Пермского края за период 2009-2018 г., а также данные о норме минимального зимнего стока.

Основными методами являются: описательный, статистический, картографический. Методическая основа, определяющая суть исследований – системный подход, нашедший свое выражение в триаде Гегеля «тезис-антитезис-синтез» [1]. На ее основе предложена схема изучения поверхностных водных ресурсов (рис.1).

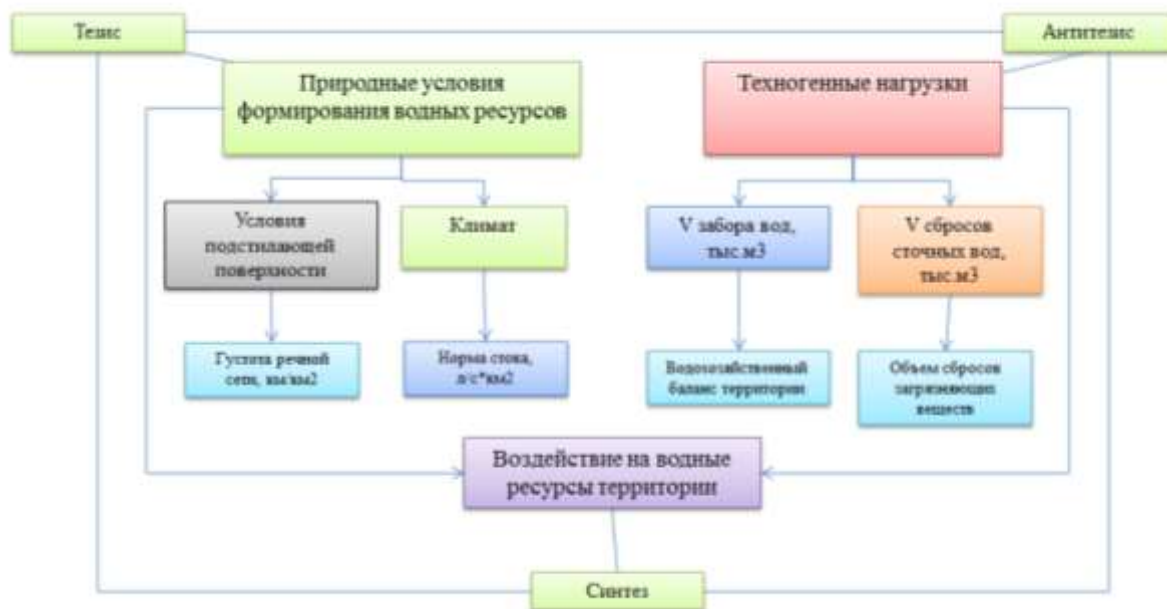


Рис.1. Схема изучения основных условий формирования поверхностных водных ресурсов

### **Анализ результатов**

Согласно схеме природными условиями формирования водных ресурсов (тезис) являются подстилающая поверхность и климатические условия,

определяющие, в свою очередь, густоту речной сети и водообеспеченность территории. Антитезисом выступают техногенные воздействия на водные ресурсы – объемы заборов и сбросов сточных вод, влияющих на важнейшие характеристики – водохозяйственный баланс и объемы сбросов загрязняющих веществ в водные объекты. Синтез – результат взаимодействия природных и техногенных воздействий, определяющий экологическое состояние (ЭС) водных ресурсов. Для оценки этого состояния мы предлагаем использовать индекс ЭС воды ( $I_{\text{вод}}$ ).

На наш взгляд, главными факторами формирования экологического состояния водных ресурсов региона являются водность рек, представленная нормой стока, и объемы сбросов сточных вод. Эти характеристики были выбраны в качестве расчетных. Показатель водности рек позволит оценить потенциальные водные ресурсы районов края (влияние природных условий на формирование водных ресурсов), а показатель сбросов сточных вод – интенсивность негативного техногенного воздействия на водные ресурсы территории.

За условную норму мы предлагаем брать величину перечисленных выше показателей, соответствующую их 50% обеспеченности. Величина 50% обеспеченности является разделительной границей между квартилями меньшей (0-24,9% и 25-49,9%) и большей (50,1-75% и 75,1-100%) обеспеченностями. Мы предполагаем, что если показатели техногенного воздействия или природных условий формирования водных ресурсов равны или меньше этой величины, то их влияние на водные ресурсы можно считать удовлетворительным. Значение условной нормы может меняться. Возможно, в будущем потребуется переход в другой квартиль (75% или 25% обеспеченности в зависимости от изменчивости изучаемого фактора).

Для оценки состояния водных ресурсов нами предложены относительные коэффициенты, характеризующие отклонения водности ( $K_{\phi n}$ ) и объемов сбросов сточных вод ( $K_{\phi c}$ ) в рамках административного района от их условной нормативной величины (50% обеспеченности расчетного показателя) по краю:

$$K_{\text{норм}i} = \frac{K_{50\%}}{K_{\phi n}} \quad (1)$$

$$K_{\text{сб}ri} = \frac{K_{\phi c}}{K_{50\%}} \quad (2),$$

где  $K_{\text{норм}i}$  – относительный коэффициент нормы стока характеризующий водообеспеченность территории,  $K_{\text{сб}ri}$ , – относительный коэффициент сбросов сточных вод,  $K_{50\%}$  – условная норма (соответственно величина нормы стока объемов сбросов сточных вод, соответствующая их 50% обеспеченности),  $i$  – административный район.

Затем был рассчитан индекс экологического состояния водных ресурсов ( $I_{\text{вод}i}$ ) (3):

$$I_{\text{вод}i} = K_{\text{сб}ri} + K_{\text{норм}i}/m \quad (3),$$

где  $m$  – количество слагаемых.

Полученные значения коэффициентов и индекса вод ранжировались по пятибалльной шкале, оценивающей сложившееся экологическое состояние водных ресурсов в пределах административного района: благоприятное, допустимое, удовлетворительное, напряженное, кризисное [2].

По полученным результатам расчетов относительных коэффициентов  $K_{нормi}$  и  $K_{сбri}$  построены карты «Обеспеченности Пермского края поверхностными водными ресурсами» [3], и «Интенсивности воздействия техногенной нагрузки на водные ресурсы Пермского края» [3]. По значениям  $I_{вод}$  также построена карта «Оценка экологического состояния поверхностных водных ресурсов административных районов Пермского края» (рис.2).

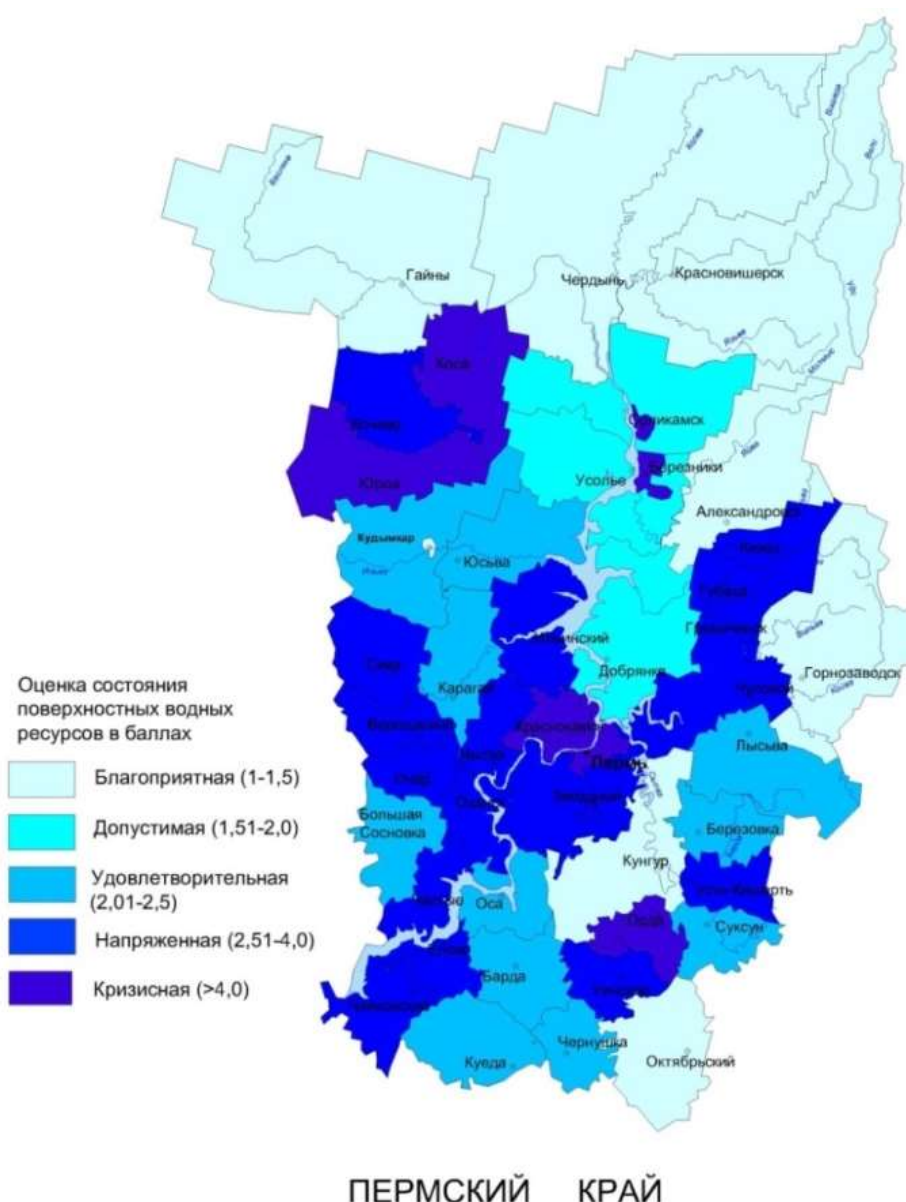


Рис. 2. Оценка экологического состояния поверхностные водных ресурсов административных районов Пермского края [3]

Из карты (рис. 2) можно видеть, что благоприятная оценка экологического состояния водных ресурсов характерна для районов с большими величинами

нормы стока и низким уровнем сбросов сточных вод (Чердынский, Красновишерский, Гайнский, а также Октябрьский, Кунгурский, Горнозаводский и г. Александровск). Экономика этих районов представлена сельским хозяйством, и небольшим количеством промышленных производств. Основные отрасли производства - предприятия по добыче полезных ископаемых, сосредоточены в г. Александровск и в Красновишерском районе. Однако от их деятельности (образование и накопление отходов) в большей степени страдает почва, а не вода.

Иная ситуация складывается в городах Березники, Соликамск и Пермь, а также Краснокамском и Пермском районах. Здесь относительно невысокие величины нормы стока, но большие объемы сбросов загрязненных сточных вод. Водные ресурсы этих районов находятся в кризисном состоянии.

В ряде районов состояние поверхностных водных ресурсов варьирует от допустимого (Усольский, Соликамский и Добрянский районы) до удовлетворительного (Лысвенский район). Здесь показатели нормы стока уравнивают объемы сбросов загрязненных сточных вод.

Более чем в половине районов края наблюдаются наиболее низкие показатели нормы стока, однако, техногенная нагрузка на водные ресурсы незначительна. Состояние водных ресурсов здесь варьирует от удовлетворительного (Кудымкарский, Юсьвинский, Карагайский, Бардымский и др.) до напряженного (Чусовской, Юрлинский, Чайковский, Сивинский и др.).

### **Выводы**

1. Пермский край является промышленно развитым регионом страны и, в связи с этим ежегодно в водные объекты края сбрасываются миллионы кубометров загрязненных сточных вод. Об этом свидетельствуют данные статистической отчетности.

2. Экологическое состояние поверхностных водных ресурсов территории складывается в результате взаимодействия природной и техногенной составляющей. Мы представили это взаимодействие в виде триады Гегеля «тезис-антитезис-синтез». В нашей интерпретации тезис – это природные условия развития изучаемого объекта, антитезис – противоположные ему техногенные условия, синтез – результат взаимодействия природной и техногенной составляющих, который и характеризует экологическое состояние водных ресурсов.

3. Предложенный нами индекс экологического состояния водных ресурсов, основанный на показателях «норма стока» и «объем сбросов сточных вод» использован при разработке карты «Экологическое состояние поверхностных водных ресурсов Пермского края» (рис.2). Ее анализ показал, что экологическое состояние водных ресурсов варьирует от благоприятного до напряженного. В благоприятном экологическом состоянии находятся ресурсы Чердынского, Красновишерского, Гайнского, а также Октябрьского, Кунгурского, Горнозаводского районов и г. Александровска. В кризисном состоянии находятся водные ресурсы районов, где показатели нормы стока невысоки, а объемы сбросов загрязненных сточных вод значительны (г.Березники, г. Соликамск, г. Пермь, Краснокамский и Пермский районы).

### Библиографический список

1. Гегель Георг Вильгельм Фридрих. Наука логики. М.: «Мысль», 1970. Т.1. 501 с.
2. Двинских С.А, Зуева Т.В., Минкина А.В. Экологическая ситуация как условие формирования здоровья населения (монография). Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. 271 с.
3. Минкина А.В. Методический подход к оценке экологического состояния водных ресурсов (на примере территории Пермского края) // Астраханский вестник экологического образования. Астрахань, 2020. №5 (59). С. 114-125.
4. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2017 году: Государственный доклад. Пермь: Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края, 2018. 260 с.

УДК 556

Н.М. Несмелов, [pr3x@mail.ru](mailto:pr3x@mail.ru)  
Университет «Дубна», г. Дубна, Россия

### АСПЕКТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Данная статья посвящена анализу водоемкости экономики Московской области и сравнения ее с водоемкостью экономики РФ. Актуальность работы обусловлена тем, что в 2020 г. подошел к концу план Водной стратегии РФ, подписанной президентом в 2009 г. Этот показатель оценивает эффективность использования водных ресурсов и водного хозяйства в стране. Рассмотрены характеристики речного стока и сброс загрязненных сточных вод Московской области.

*Ключевые слова:* водоемкость экономики, речной сток, сброс загрязненных сточных вод.

N.M. Nesmelov, [pr3x@mail.ru](mailto:pr3x@mail.ru)  
Dubna University, Dubna, Russia

### ASPECTS OF WATER MANAGEMENT AND GEOECOLOGICAL STATE OF WATER RESOURCES OF THE MOSCOW REGION

This article is devoted to the analysis of the Moscow oblast's water intensity and its comparison with the water intensity of the Russian Federation. The relevance of the work is due to the fact that in 2020 the plan of the Water Strategy of the Russian Federation, signed by the president in 2009, came to an end. This indicator evaluates the efficiency of the use of water resources and water management in the country. The



article also considers the parameter of water resources and wastewater discharge of the Moscow region.

*Keywords:* water intensity, water resources, wastewater discharge.

### **Введение**

На фоне экологических проблем в России и мире, связанных с пресными источниками воды, актуальность работы также обусловлена тем, что подошел к концу период подписанного в 2009 г. президентом России документа стратегического планирования – «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года». В данном документе расписан план по развитию водного хозяйства, разработана стратегия и дан курс по достижению требуемых показателей, а также деятельности по улучшению водохозяйственного комплекса в стране.

Для вычисления водоемкости экономики Российской Федерации в Водной Стратегии принимается отношение общего объема водозабора к ВВП. Аналогично определяется водоемкость экономики Московской области, только вместо ВВП России используется параметр ВРП Московской области (формула) [4].

$$W_{\text{М.О.}} = \frac{V_{\text{общего водозабора М.О.}}}{\text{ВРП}_{\text{М.О.}}}$$

где  $W_{\text{М.О.}}$  – удельная водоемкость экономики Московской области;

$V_{\text{общего водозабора М.О.}}$  – общий объем водозабора Московской области;

$\text{ВРП}_{\text{М.О.}}$  – валовый региональный продукт Московской области.

Водоемкость экономики, не только показывает степень рациональности использования водных ресурсов, но и общие потери при транспортировке, а также развитость водосберегающего комплекса.

Наиболее актуальные данные по общему водозабору были взяты из статистического сборника «Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2018 году», а данные по ВРП Московской области на официальном электронном ресурсе Росстата.

Природную обеспеченность Московской области водными ресурсами, предлагается оценивать степенью их использования и качеством вод.

Выделим методы оценки этих критериев:

1. Природную обеспеченность водными ресурсами можно оценивать средней величиной речного стока на одного жителя;

2. Степень использования водных ресурсов оценивается относительным водозабором;

3. Качество вод предлагается оценивать косвенными показателями, в частности антропогенным воздействием.

Для последующего сравнения с результатами Московской области на рисунке 1 приведена динамика удельной водоемкости Российской Федерации, а также планируемый рубеж Водной стратегии РФ к 2020 году (прерывистая линия).



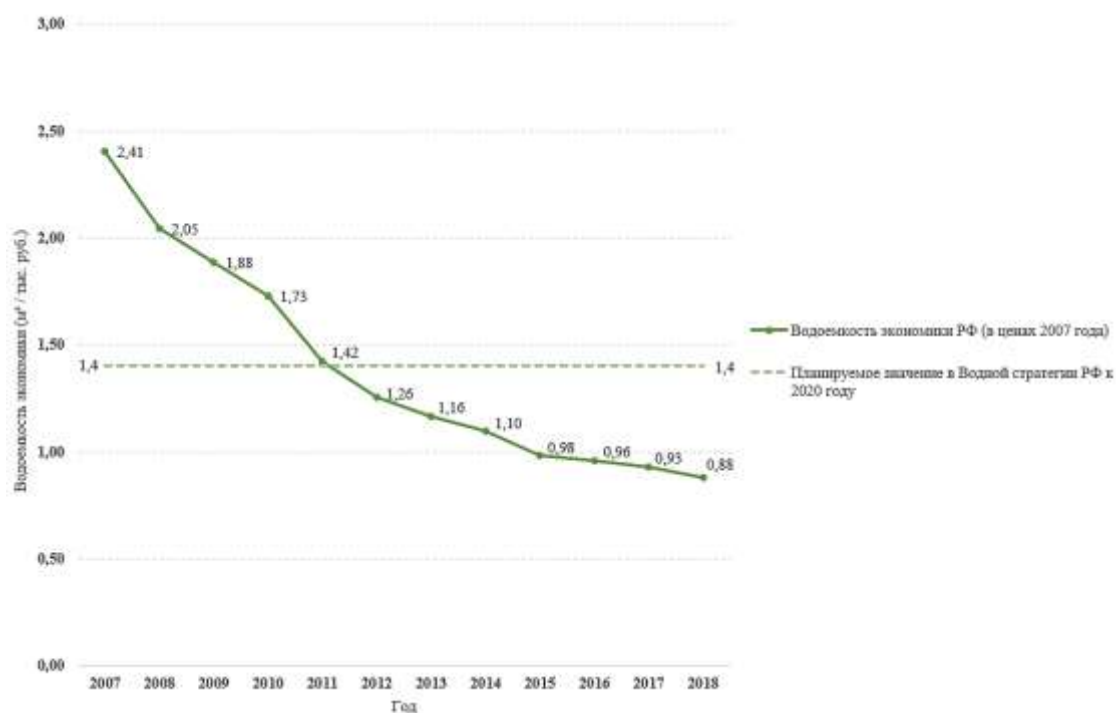


Рис. 1. Динамика водоемкости экономики РФ с 2007 по 2018 г. и сравнение с целевым показателем «Водной стратегии РФ»

Следует заметить, что все расчеты ВВП и ВРП для четкого сравнения были приведены к ценам 2007 г.

Из рисунка 1 видно, что параметр пересек планируемый порог еще в 2012г. и с каждым годом неуклонно снижается, что является позитивной динамикой для этого показателя.

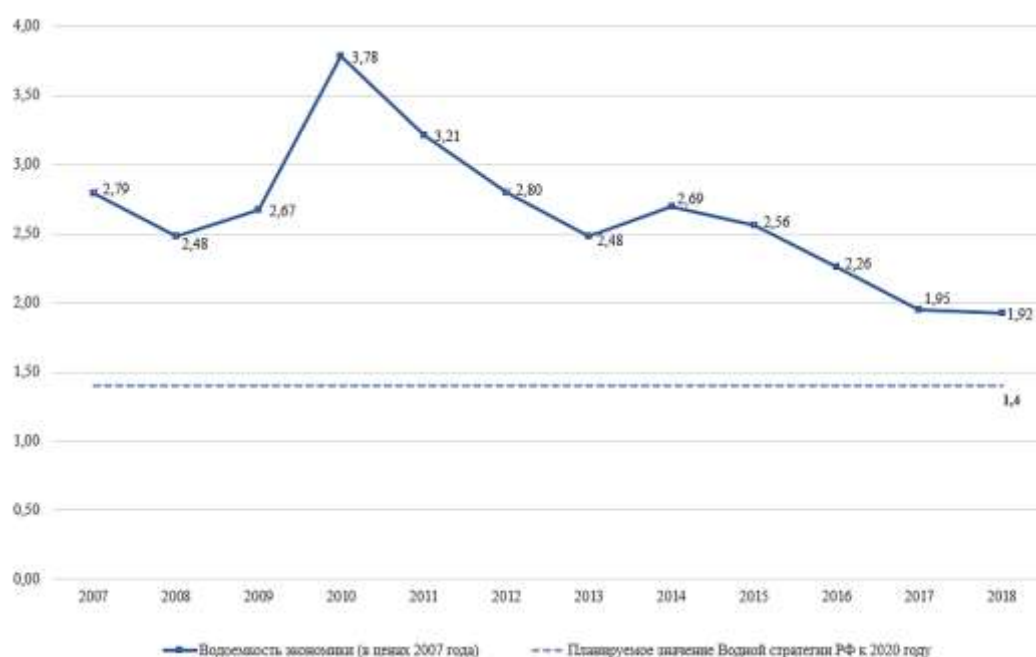


Рис. 2. Динамика водоемкости экономики Московской области с 2007 по 2018 г., м³ / тыс. руб.

На рисунке 2 приведена динамика удельной водоемкости экономики Московской области. По графику видно, что параметр еще не достиг планируемого значения, поставленного Водной стратегией РФ. Напомним, что в Московской области за 11 лет снижение водоемкости экономики составило 31%, а водоемкость экономики в 2018 г. составила 1,92 м<sup>3</sup> / тыс. рублей.

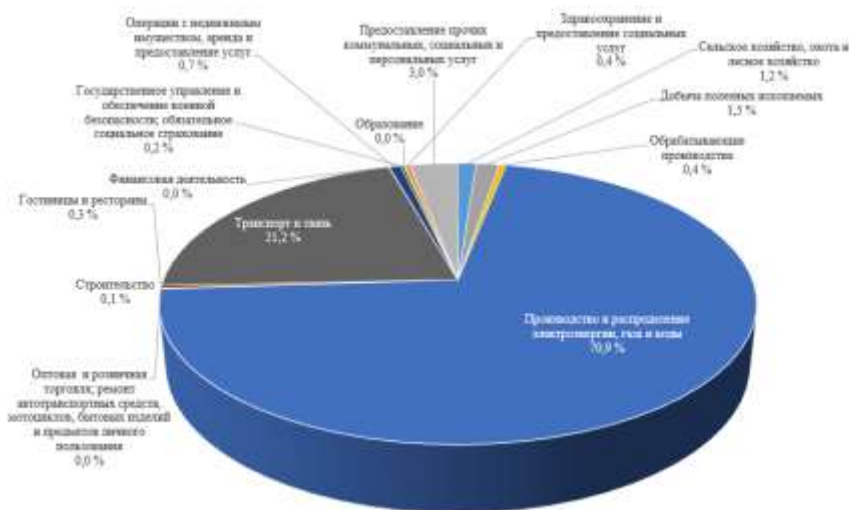


Рис. 3. Диаграмма водоемкости экономики Московской области по отраслям осредненная за 2010-2016 гг., процент от общего объема водоемкости экономики [1]

Рисунок 3 иллюстрирует распределение водоемкости Московской области по отраслям. Из диаграммы долей видно, что отрасль «производство и распределение электроэнергии, газа и воды» – характеризуется максимальной водоемкостью – 37,48 м<sup>3</sup>/тыс. рублей. Доходность этой отрасли невелика, а воды требуется очень много, поэтому и водоемкость очень высокая. Также большая доля водозабора региона приходится на отрасль «Транспорт и связь» – 21,2% или 11,23 м<sup>3</sup>/тыс. рублей, но ее водоемкость ниже, так как доходность выше относительно количества используемой воды.

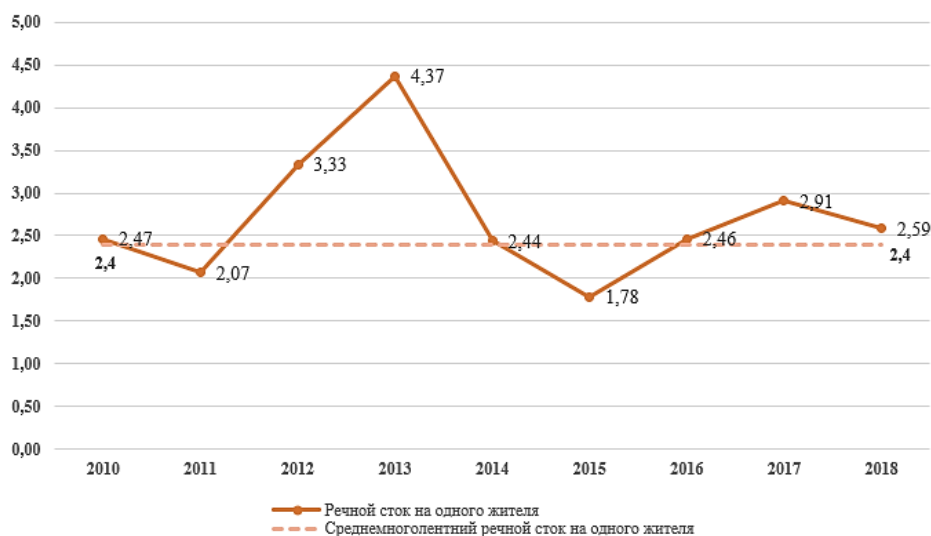


Рис. 4. Динамика речного стока в Московской области за 2010-2018 гг. на одного жителя [3]

Рисунок 4 демонстрирует динамику природной обеспеченности водными ресурсами в Московской области, также она сравнена с результатом среднегодовой природной обеспеченностью водных ресурсов региона.

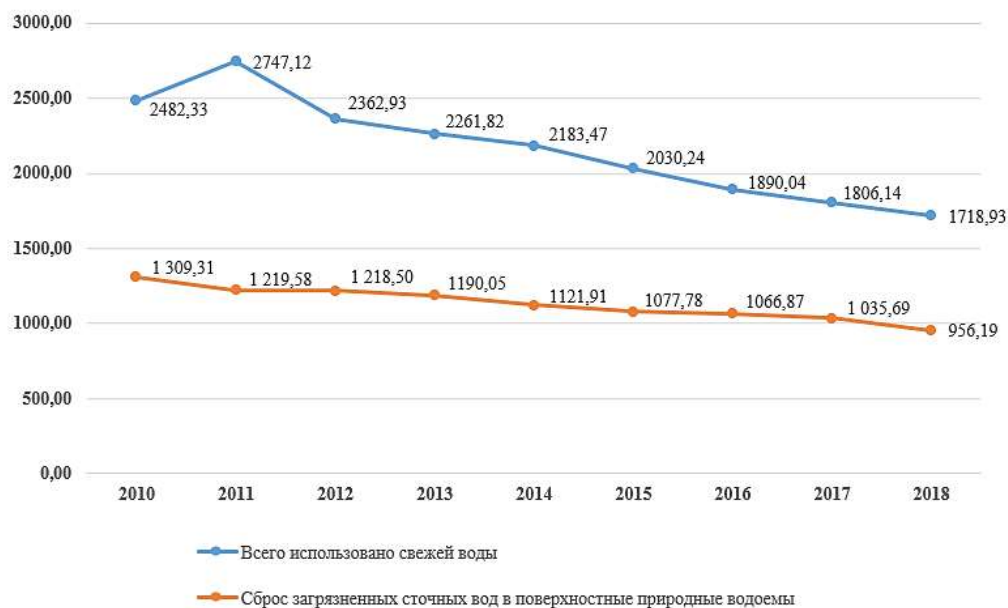


Рис. 5. Динамика использования свежей воды и сброса загрязнённых сточных вод Московской области с 2010 по 2018 г., млн м³ [2]

На рисунке 5 изображена динамика степени использования водных ресурсов и качество вод Московской области. Он показывает, что идет плавное снижение обоих объемов, хотя у использования и был небольшой рост в 2011 г.

В ходе данной работы были составлены максимально актуальные параметры водоемкости экономики РФ и Московской области с 2007 по 2018 год и сравнены с планируемым значением Водной стратегии РФ. Никаких предпосылок для провала планируемого результата Водной стратегии в среднем по РФ – нет, а вот показатель Московской области хоть и имеет позитивное в рамках показателя падение, не достиг планируемого среднероссийского целевого значения, не смотря на в целом положительную динамику геоэкологических показателей водных ресурсов Московской области.

### Библиографический список

1. АИС ГМВО – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> Режим доступа: свободный. Дата обращения: 24.12.2020.
2. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2018 году (Стат. сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского и В.А. Омеляненко. М.: НИА-Природа, 2019. 274 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
4. Ясинский С.В., Сидорова М.В., Вишневская И.А. Водная стратегия – приоритет диффузной модели территориального развития России // Международная экономика. 2019. № 1. С. 68–79.

А.И. Семячков<sup>1,2</sup>, В.В. Кучин<sup>1</sup>, М.В. Архипов<sup>1</sup>, [valete-burg@mail.ru](mailto:valete-burg@mail.ru)

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

## РЕГИОНАЛЬНЫЙ ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СРЕДНЕГО УРАЛА

Обоснована необходимость анализа техногенного воздействия горно-металлургического комплекса на водные ресурсы как приоритетной задачи по обеспечению экологической безопасности территории для выработки обоснованной региональной экологической политики в части рационального и экологически безопасного использования водных ресурсов. Представлены результаты проведенного анализа водно-экологической ситуации в Уральском регионе.

*Ключевые слова:* водные объекты, природоохранная деятельность, мониторинг, сточные воды, объекты складирования отходов.

A.I. Semyachkov<sup>1,2</sup>, V.V. Kuchin<sup>1</sup>, M.V. Arkhipov<sup>1</sup>, [valete-burg@mail.ru](mailto:valete-burg@mail.ru)

<sup>1</sup>Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Institute of Economics, Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russia

## REGIONAL WATER-ECOLOGICAL ANALYSIS OF THE MINING AND METALLURGICAL COMPLEX OF THE MIDDLE URALS

The article substantiates the need to analyze the technogenic impact of the mining and metallurgical complex on water resources as a priority task to ensure the environmental safety of the territory in order to develop a sound regional environmental policy in terms of rational and environmentally safe use of water resources. The results of the analysis of the water-ecological situation in the Ural region are presented.

*Keywords:* water bodies, environmental protection, monitoring, waste water, waste storage facilities.

### **Введение**

Для выработки обоснованной региональной экологической политики, эффективного государственного регулирования деятельности, обеспечивающей достижение экологически безопасного устойчивого развития, необходима оценка уровня техногенного воздействия на окружающую среду, адекватная оценка экологической ситуации по природным средам и экологической безопасности, что и представлено в работе для условий горно-металлургического комплекса Уральского региона в разрезе водоохраной деятельности.

### **Материалы и методы**

В работе использованы результаты аналитических исследований, основанных на использовании данных официальной статистики, литературных источников, а также данных мониторинга водных ресурсов.

### **Результаты и обсуждение**

Среди регионов Российской Федерации Уральский федеральный округ за последние десять лет (2008-2017 гг.) по экологической ситуации находится на четвертом месте. Сброс загрязненных сточных вод по УрФО в целом за этот период увеличился на 19,5% и составил в 2017 г. 2231 млн м<sup>3</sup> [1-7].

Что же представляют собой сточные воды предприятия и какое воздействие они оказывают на водный объект? Так, химический анализ 154 проб воды, отобранных на 7 створах Северского водохранилища, расположенного в Полевском районе Свердловской области и находящегося под интенсивным воздействием от стоков горно-металлургических предприятий данного района, показал превышения над нормативными значениями по следующим компонентам: сульфат-ион – 1,16ПДК, медь – 100ПДК, цинк – 5ПДК, марганец – 1,9ПДК, а в 76 пробах, взятых из 3 стоков, поступающих в Северское водохранилище, превышения загрязняющих элементов над нормативными значениями составили: по меди – 2140ПДК, цинку – 4604ПДК.

Полученные данные позволяют заключить, что Северское водохранилище, является фактически техногенным водоемом, качество воды в котором формируется техногенными локализованными стоками [8; 10; 11].

Ещё одним потенциально опасным объектом, влияющим на поверхностную и подземную гидросферы, являются объекты складирования отходов [12]. Рассмотрим степень такового воздействия на примере хвостохранилища, расположенного в Качканарском районе Свердловской области.

Хвостохранилище состоит из трех отсеков – Выйского, Промежуточного и Рогалевского, разделенных между собой дамбами. Общая площадь хвостохранилища составляет в настоящее время около 1695 га.

Химический состав жидкой фазы накопленных в хвостохранилище отходов приводится как состав оборотной воды. Состав оборотной воды наиболее полно характеризует хвостохранилище как источник воздействия на подземные воды (таблица). Перечень показателей химического состава оборотной воды состоит из 11 наименований и в общем виде отражает специфику основных химических процессов обогащения железных руд для получения железо-ванадиевого концентрата на Качканарском горно-обогатительном комбинате.

#### **Химический состав оборотной воды хвостохранилища**

<i>№ п/п</i>	<i>Показатели</i>	<i>Ед. изм.</i>	<i>Значения показателей</i>	<i>ПДК рыб.-хоз.</i>
1.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	45	100
2.	Нитрит-ион	мг/дм <sup>3</sup>	1,42	0,08
3.	Нитрат-ион	мг/дм <sup>3</sup>	79,9	40
4.	Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	1,5	0,5
5.	БПК пол.	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	6,5	3,0
6.	Железо общ.	мг/дм <sup>3</sup>	0,43	0,1
7.	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,004	0,01
8.	Ванадий	мг/дм <sup>3</sup>	0,0066	0,001

<i>№ п/п</i>	<i>Показатели</i>	<i>Ед. изм.</i>	<i>Значения показателей</i>	<i>ПДК рыб.-хоз.</i>
9.	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,08	0,05
10.	Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	10	25 + фон
11.	Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	344	1000

Очевидно, что по предложенному перечню показателей химический состав оборотной воды хвостохранилища представляет собой потенциальный источник загрязнения поверхностных и подземных вод химическими элементами группы азота на уровне от 2-3ПДК до 17ПДК, как следствие азотного загрязнения, высокое содержание БПК пол. – до 2-3 ПДК, железом – до 4ПДК и ванадием – до 6ПДК. Отмечается также некоторое превышение относительно ПДК содержания в оборотной воде нефтепродуктов.

Поэтому, для оценки состояния подземных вод, находящихся под воздействием хвостохранилища, нами в 2016 г. была организована режимная сеть наблюдательных скважин. Места размещения и конструкция наблюдательных скважин определялись исходя из основной задачи – наблюдение за влиянием негативного воздействия жидких хвостов обогащения, складываемых в хвостохранилище, на качество (загрязнение) подземных вод. Фоновая скважина, расположена за пределами области влияния основных фильтрационных потерь, формирующихся от границ хвостохранилища предприятия.

По режимной сети можно выделить 4 группы скважин расположенных в различных местах.

В скважинах 1-4 (западная часть Рогалевского отсека) происходит хаотическое изменение химического состава, без видимой изменчивости по всем компонентам. В 3 скважине происходит уменьшение сухого остатка с 120-140 мг/дм<sup>3</sup> до 80-100 мг/дм<sup>3</sup>, в скважине 2 снижение NO<sub>3</sub> с 2,5-3 мг/дм<sup>3</sup> до 1,5-2 мг/дм<sup>3</sup>, в скважине 4 идет увеличение марганца, NH<sub>4</sub> и сухого остатка со 100 до 200 мг/дм<sup>3</sup>. Таким образом, в этой группе скважин характеризующих сток с Рогалевского отсека имеет место, как стационарная изменчивость, так и нестационарная (трендовая) изменчивость химического состава подземных вод. Соответственно можно спрогнозировать, что ряд компонентов останется на том же уровне (при стационарной изменчивости), а ряд будет уменьшаться. Величина уменьшения может быть установлена простой экстраполяцией.

В скважинах 5-6, расположенных в южной части Выйского отсека наблюдается такая же тенденция, а именно практически по всем компонентам стационарной изменчивости, кроме NH<sub>4</sub> в скважине 5, который увеличивается с 0,1 мг/дм<sup>3</sup> до 0,6 мг/дм<sup>3</sup>, в свою очередь снижается в скважине 6 NO<sub>3</sub> с 4-5 мг/дм<sup>3</sup> до 2-3 мг/дм<sup>3</sup>.

В скважинах 7-8, расположенных в северной части Выйского отсека имеет место стационарная изменчивость химического состава, кроме NO<sub>3</sub> по скважине 7н, где происходит увеличение компонента с 1 мг/дм<sup>3</sup> до 3 мг/дм<sup>3</sup>.

В скважинах 9-10, расположенных в восточной части промежуточного отсека происходит снижение содержания таких компонентов как NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, сухого остатка. Остальные показатели имеют стационарную изменчивость.

По фоновой скважине, расположенной на южном фланге объектов складирования отходов отмечается стационарная изменчивость по всем компонентам [9].

### **Выводы**

Выполненный анализ экологического состояния водных объектов показал некоторую динамику улучшения их состояния, в связи с ведением водоохранной деятельности предприятиями Свердловской области; однако обеспеченность очистными сооружениями в регионе практически не меняется на протяжении десяти лет, чему свидетельствует экологическое состояние некоторых водных объектов.

### **Библиографический список**

1. Водный кадастр РФ. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. М.: ООО «РПЦ Офорт». 2017. 164с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2008 г., 2009-2017 гг.» [Электронный ресурс] URL: <https://mprso.midural.ru/news/show/id/405> (дата обращения 15.11.2018).
3. Государственный доклад «Природные ресурсы и охрана окружающей среды Курганской области в 2008 г., 2009-2017 гг.» [Электронный ресурс] URL: <http://www.priroda.kurganobl.ru/3434.html> (дата обращения 20.10.2018).
4. Доклад «Об экологической ситуации в Тюменской области в 2008, 2009-2017 гг.» [Электронный ресурс] URL: [https://admtyumen.ru/ogv\\_ru/about/ecology/eco\\_monitoring/more.htm?id=11552245@cmsArticle](https://admtyumen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=11552245@cmsArticle) (дата обращения 15.11.2018).
5. Доклад «Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре 2008 – 2017 гг.» [Электронный ресурс] URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/> (дата обращения 15.11.2018).
6. Доклад «Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2008 г., 2009-2017 гг.» [Электронный ресурс] URL: <http://www.vossta.ru/doklad-ob-ekologicheskoy-situacii-v-yamalo-nenecom-avtonomnom-v2.html?page=5> (дата обращения 20.10.2018).
7. Комплексный доклад «О состоянии окружающей среды Челябинской области в 2008 г., 2009-2017 гг.» [Электронный ресурс] URL: <http://mineco174.ru/htmlpages/Show/protectingthepublic/2016/222Gosudarstvennyjuchetvod> (дата обращения 15.11.2018).
8. Почечун В.А., Архипов М.В., Кучин В.В. Регулирование содержания загрязняющих элементов в поверхностных водах, находящихся под воздействием горно-металлургического комплекса, с использованием звеньев водных экосистем // Экология и промышленность России, 2017. Т.21. № 1. С.30-35.



9. Почечун В.А., Фоминых А.А., Архипов М.В., Кучин В.В. Геоэкологическая оценка состояния подземных вод района воздействия шламохранилища Качканарского горно-обогатительного комбината Среднего Урала // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов» / Под ред. проф. А.И. Семячкова. Екатеринбург: УГГУ, 2017.

10. Семячков А.И., Почечун В.А., Собгайда Н.А. Инновационные технологии защиты водных объектов от загрязнения с получением товарной продукции // Экология и промышленность России. 2019. Т.23 № 5. С.16-21.

11. Semyachkov A.I., Pochechun V.A. Sewage treatment technology for mining-and-smelting enterprise// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 451 (2018) 012232.

12. Konovalov V.E., Pochechun V.A., Semyachkov A.I. Methodical preconditions of liquidation of negative influence of technogenic waters of the mining territory on environment // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 321 (2019) 012053.

УДК 556

Е.В. Полякова, Ю.Г. Кутинов, А.Л. Минеев, З.Б. Чистова, [lenpo26@yandex.ru](mailto:lenpo26@yandex.ru)

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, Россия*

## **ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Показано, что индекс расчлененности рельефа, рассчитываемый на цифровой модели рельефа, предопределяет химический состав подземных вод. Высокая расчлененность рельефа, малая толща перекрывающих коренные породы четвертичных отложений, отсутствие водоупора способствуют опреснению подземных вод за счет проникновения ультрапресных атмосферных осадков. Низкая расчлененность рельефа обуславливает и невысокую интенсивность водообмена и, как следствие, – более высокую минерализацию подземных вод.

*Ключевые слова:* подземные воды, цифровая модель рельефа, индекс расчлененности рельефа, бессточные впадины.

E.V. Polyakova, Yu.G. Kutinov, A.L. Mineev, Z.B. Chistova, [lenpo26@yandex.ru](mailto:lenpo26@yandex.ru)

*N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the RAS,  
Arkhangelsk, Russia*

## **GEOMORPHOMETRIC APPROACH IN GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF GROUNDWATER IN THE TERRITORY OF ARKHANGELSK REGION**

It is shown that the Terrain Ruggedness Index, calculated on the digital elevation model, predetermines the chemical composition of groundwater. The high ruggedness of the relief, the small stratum of the overlying bedrocks of Quaternary deposits, the absence of water confinement



contribute to the desalination of groundwater due to the penetration of ultra-fresh atmospheric precipitation. The low ruggedness of the relief also causes a low intensity of water exchange and, as a consequence, a higher mineralization of groundwater.

*Keywords:* groundwater, digital elevation model, Terrain Ruggedness Index, sinks depressions.

### ***Введение***

Состав подземных вод отражает историю геологического строения Земли, условия взаимодействия их с горными породами, органическим веществом, микроорганизмами и газами, характер и интенсивность антропогенных воздействий на геологическую среду [1]. Значительно влияет на водообмен и формирование поверхностного стока рельеф. В работе [5] отмечается, что «геоморфологические особенности водосборов выражаются в значительной расчлененности рельефа, что определяет протяженность путей фильтрации и время водообмена от областей питания к областям разгрузки. Значительная расчлененность рельефа способствует образованию многочисленных родниковых систем».

Геоморфометрический подход дает возможность проведения объективной дистанционной геоэкологической оценки территории с точки зрения вероятности загрязнения подземных вод и изменения их природного химического состава.

***Материалы и методы исследования.*** На основе цифровой модели рельефа (ЦМР) Архангельской области [6] был рассчитан геоморфометрический параметр – индекс расчлененности (Terrain Ruggedness Index), который равняется среднему значению перепада высот между конкретной ячейкой и ее ближайшими восемью соседними [11] и отображает неоднородность рельефа. Также проведена гидрологическая коррекция ЦМР с использованием метода [12], получена маска впадин, рассчитана плотность бессточных впадин на единицу площади, проведен кластерный анализ с разбиением плотности на три класса – минимальных (1), средних (2) и максимальных (3) значений. Все операции осуществлялись в программной среде SAGA GIS.

### ***Анализ результатов***

Закономерная связь между рельефом местности и соотношением пьезометрических уровней подземных вод и их составом установлена А.И. Силиным-Бекчуриным [10]. В пределах возвышенностей и водоразделов снижение напоров в водоносных горизонтах происходит в нисходящем направлении; здесь развиты пресные, гидрокарбонатно-кальциевого состава подземные воды.

При отрицательных формах рельефа гидродинамическое давление в пластах возрастает от верхних горизонтов к нижним. В артезианских бассейнах платформенного типа на повышенных участках рельефа происходит пополнение ресурсов подземных вод, а пониженные участки представляют собой зоны дренирования (вытекания). В пределах долин напорные воды имеют повышенную минерализацию, сульфатно-гидрокарбонатный и магниевый-кальциевый состав. В крупных очагах разгрузки напорных вод часто

формируются гидрохимические аномалии, т.е. под долинами рек образуются «купола» соленых вод и рассолов хлоридного натриевого состава [1].

Наибольшей расчлененностью на территории Архангельской области характеризуются возвышенности – Беломорско-Кулойское плато (БКП), Коношско-Няндомская возвышенность, Устьянское плато и возвышенность Двинско-Пинежского междуречья. На территории БКП и его ближайшего окружения выделяются пять основных областей развития подземных вод различного качества (рис. 1): пресные кондиционные (1), пресные некондиционные (2), солоноватые (3), соленые (4) и смешанные воды [7].

Рис. 1. Схема областей развития подземных вод различного качества и кластерные значения индекса расчлененности рельефа

агрессивного воздействия ультрапресных атмосферных осадков. За счет сильной расчлененности и высокой проводимости пород проникающие атмосферные осадки обеспечивают растворение включений гипса и ангидрита в карбонатных породах, что способствует смене гидрокарбонатного магниево-кальциевого химического состава подземных вод на сульфатно-кальциевый [9].

Водоносные комплексы венда (область развития соленых вод), а также смешанные воды четвертичных отложений речных долин перекрыты с поверхности мощным слоем четвертичных образований, а также имеют водоупор в виде микулинских глин. Тем самым, несмотря на высокие значения индекса расчлененности рельефа, оказываются защищенными от растворяющей и опресняющей деятельности атмосферных осадков [9].

В работе [2] приведена карта защищенности подземных вод от загрязнения. Отмечается, что по степени природной защищенности водоносные комплексы на значительной части территории (50 %) относятся к не защищенным и условно защищенным от загрязнения. При качественной оценке защищенности подземных вод учитывались мощность, литологический состав, фильтрационные свойства покровных и перекрывающих водоносный горизонт отложений. Во внимание принимались также соотношение уровней исследуемого и вышележащего водоносных горизонтов, наличие или отсутствие литологических, тектонических и геохимических барьеров.

Нами проведено сопоставление карты защищенности подземных вод с кластерными значениями плотности бессточных впадин (рис. 2), выделенных по ЦМР. Бессточная впадина – это накопитель. То есть, в таких областях могут аккумулироваться осадки, в том числе и загрязняющие вещества, и далее происходить их промывание в нижележащие водоносные горизонты.

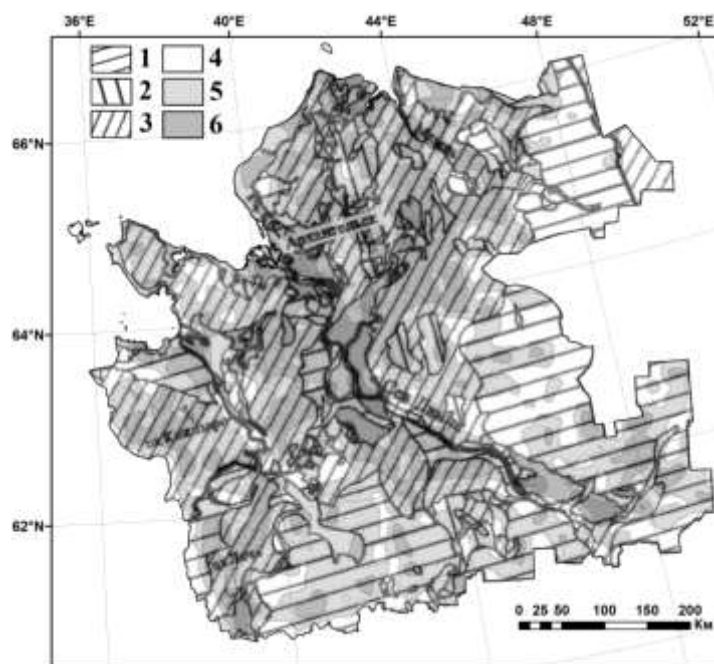


Рис. 2. Защищенность подземных вод от загрязнения, по [2] и кластерные значения плотности бессточных впадин: 1-3 – защищенность водоносных комплексов: 1 – надежно защищенные, 2 – условно защищенные, 3 – незащищенные; 4-6 – кластерные значения плотности впадин: 4 – минимальные, 5 – средние, 6 – максимальные

Из рисунка 2 видно, что территории с незащищенными водоносными комплексами пространственно совпадают с максимальными значениями плотности бессточных впадин. Это вызывает серьезную экологическую напряженность, поскольку на этих же территориях располагаются основные источники антропогенного воздействия на природную среду Архангельской области [8].

### **Выводы**

Геоморфометрический подход (расчет геоморфометрических параметров по цифровым моделям рельефа) может выступать объективным инструментом при геоэкологической оценке качества подземных вод. Индекс расчлененности рельефа предопределяет химический состав подземных вод. Высокая расчлененность рельефа, малая толща перекрывающих коренные породы четвертичных отложений, отсутствие водоупора способствуют опреснению подземных вод за счет проникновения ультрапресных атмосферных осадков. Низкая расчлененность рельефа обуславливает и невысокую интенсивность водообмена и, как следствие, – более высокую минерализацию подземных вод. Геоморфометрические параметры рельефа необходимо учитывать при планировании и осуществлении хозяйственной деятельности для предотвращения развития нежелательных явлений.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН «Изучение межгеосферных процессов в районах тектонических структур и узлов их пересечений в геологических условиях древних платформ на примере Архангельской области» (№ АААА-А18-118012390305-7) и при финансовой поддержке РФФИ-Арктика, проект № 18-05-60024.*

### **Библиографический список**

1. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Харитоненко Г.Н., Норватов Ю.А. Геология: Часть III – Гидрогеология: учебник для вузов. М.: «Мир горной книги», изд-во МГУ, 2009. 400 с.
2. Губайдуллин М.Г. Геоэкологические условия освоения минерально-сырьевых ресурсов Европейского Севера России. Архангельск: Поморский госуниверситет, 2002. 310 с.
3. Джамалов Р.Г., Злобина В.Л., Мироненко М.В., Рыженко Б.Н. Влияние закисления атмосферных осадков на химическое равновесие. Термодинамическое моделирование // Водные ресурсы, 1996. № 5. С. 556-564
4. Зверев В.П. Подземная гидросфера. Проблемы фундаментальной гидрогеологии. М.: Научный мир, 2011. 260 с.
5. Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. Монография. М.: Мир науки, 2017. Режим доступа: <http://izd-mn.com/PDF/21MNNPM17.pdf> – Загл. с экрана. 191 с.
6. Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Полякова Е.В., Чистова З.Б. Выбор базовой цифровой модели рельефа (ЦМР) равнинных территорий Севера

Евразии и её подготовка для геоэкологического районирования (на примере Архангельской области). Пенза: Социосфера, 2019. 176 с.

7. Малов А.И. Подземные воды Юго-Восточного Беломорья: формирование, роль в геологических процессах. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 234 с.

8. Полякова Е.В. Учет геоморфометрических параметров рельефа при ведении хозяйственной деятельности на территории Архангельской области // Евразийский союз ученых, 2019. № 3-2 (60). С. 33-37. DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.60.33-37](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.60.33-37)

9. Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б. Оценка состояния подземных вод Юго-Восточного Беломорья на основе цифровой модели рельефа // Сергеевские чтения. Пермь: ПГНИУ, 2019. Вып. 21. С. 358-363.

10. Силин-Бекчурин А.И. Динамика подземных вод. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1958. 258 с.

11. Reily Shawn J., DeGloria Stephen D., Elliot Robert A. Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. Intermountain Journal of Science, 1999. Vol. 5(1-4). P. 23-27.

12. Wang L., Liu H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modeling // International Journal of Geographical Information Science, 2006. V. 20. No. 2. P. 193-213. <https://doi.org/10.1080/13658810500433453>

УДК 628.35

И.С. Щукин, [shchukin-is@yandex.ru](mailto:shchukin-is@yandex.ru)

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДОЖДЕВЫХ САДОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННОГО КЛИМАТА**

Предложено техническое решение по применению дождевых садов для очистки поверхностного стока в условиях умеренного климата. Описан опыт реализации пилотного дождевого сада для очистки поверхностного стока с парковочной площадки многоквартирного жилого дома. Представлены результаты исследования эффективности очистки поверхностного стока от взвешенных веществ, нефтепродуктов и некоторых тяжелых металлов на пилотном дождевом саду. Даны рекомендации по повышению качества очищенного поверхностного стока. Обозначены направления дальнейших исследований дождевых садов.

*Ключевые слова:* дождевые сады, фитофильтры, поверхностный сток, очистка сточных вод, взвешенные вещества, нефтепродукты, тяжелые металлы.

## APPLICATION OF RAINGARDENS FOR SURFACE RUNOFF TREATMENT IN MODERATE CLIMATE

A technical solution for the use of rain gardens for surface runoff treatment in a temperate climate is proposed. The experience of implementing a pilot rain garden for treatment of surface runoff from the parking area of an apartment building is described. The paper presents the results of a study of the surface runoff treatment effectiveness from suspended solids, oil products and some heavy metals in a pilot rain garden. Recommendations for improving the quality of treated surface runoff are given. Directions for further research on rain gardens are outlined.

**Keywords:** rain gardens, phytofilters, surface runoff, waste water treatment, suspended solids, oil products, heavy metals.

### **Введение**

Отведение и очистка дождевых и талых вод являются важной проблемой экологии городских территорий и создания комфортной городской среды. Одним из подходов к управлению поверхностными сточными водами, получающим всё более широкое распространение в мировой практике, является применение биоинженерных сооружений, в том числе дождевых садов (*rain garden*, *stormwater bioretention filter*). Во многих развитых странах разработаны программы, нормативные документы и руководства, регламентирующие проектирование и эксплуатацию таких сооружений, например, *Low-impact Development (LID)* в США и Канаде, *Water Sensitive Urban Design (WSUD)* в Австралии, *Sustainable Urban Drainage System (SUDS)* в Великобритании, *Sponge City* в Китае. Биоинженерные сооружения в этих странах отнесены к наилучшим практикам управления (*Best Management Practices*) поверхностным стоком, сочетающим в себе высокую эффективность, экологичность, умеренную стоимость строительства и эксплуатации, а также эстетичный внешний вид в условиях городской среды.

Основным ограничением применения дождевых садов в условиях умеренного климата, является снижение активности растений и почвенных микроорганизмов при низких температурах, что приводит к снижению эффективности работы сооружений в осенний и весенний периоды. Предложено техническое решение, заключающееся в добавлении в состав фильтрующей загрузки материалов, обладающих сорбционными и ионообменными свойствами и позволяющих задерживать и накапливать растворённые примеси (нефтепродукты, тяжелые металлы) в периоды низких температур, например, торфа и цеолита. Впоследствии накопленные загрязнения подвергаются трансформации, стабилизации и деградации под действием процессов жизнедеятельности растений и почвенных микроорганизмов в период их активности в летнее время. Тем самым обеспечивается естественное восстановление (фиторегенерация) фильтрующей загрузки. Это позволяет обеспечить круглогодично высокое качество очистки поверхностного стока и длительное функционирование загрузки до исчерпания её сорбционных свойств.



Ранее в лабораторных условиях был проведен комплекс исследований процессов извлечения взвешенных веществ, нефтепродуктов и тяжелых металлов на многокомпонентной загрузке, а также процессов фиторегенерации загрузки с использованием высших водных растений [3]. Для дальнейшего внедрения технологии в практику очистки поверхностного стока требуется изучение работы дождевых садов на территориях с умеренным климатом в условиях городской среды.

### **Материалы и методы исследования**

В 2017 г. разработан и реализован пилотный дождевой сад для очистки поверхностного стока с парковочной площадки многоквартирного жилого дома «ЖК «Кристалл», находящегося по адресу: г. Пермь, ул. Аркадия Гайдара, д.3, находящегося в непосредственной близости к малой р. Уинка.

Расчет дождевого сада был выполнен по разработанной автором методике, исходя из следующих исходных данных: площадь водосбора (асфальтобетонное покрытие) – 0,10 Га, слой осадков, подлежащий очистке, исходя из условия очистки 70% объема годового стока с площадки –  $ha=7$  мм. Расчет площади фитофильтра производится исходя из необходимости накопления объема ливневых вод от расчетного дождя с канализуемой территории, определяемого по методике [1], на поверхности дождевого сада слоем не более 300 мм и последующего его срабатывания в течение 24 часов.

Была принята следующая конфигурация загрузки дождевого сада (рис.1): 300 мм – многокомпонентная загрузка торф: песок в соотношении 1:9 об., 300 мм – песок. Под фильтрующей загрузкой располагаются поддерживающие слои гравия фр. 5-20 мм высотой 200 мм, фр. 20-40 мм высотой 200 мм каждый, в котором был выполнен дренаж из перфорированных горффрированных труб диаметром 100 мм в геотектиле. Дождевой сад оборудован переливом из вертикальных труб, выведенных на 300 мм выше поверхности загрузки и соединенных с отводящим трубопроводом, при этом глубина «чаши» дождевого сада относительно окружающей поверхности составила 400 мм.

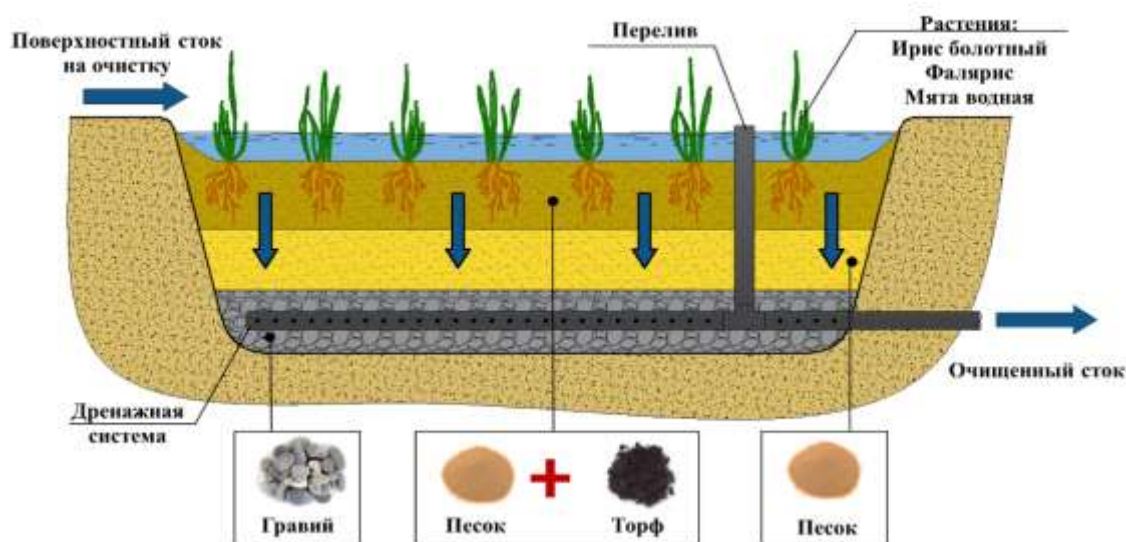


Рис. 1. Принципиальная схема дождевого сада

Для приёма стока с автопарковки был предусмотрен разрыв в бортовом камне и асфальтобетонный желоб. Для предотвращения размыва фильтрующей загрузки в месте поступления потока в дождевой сад выполнена наброска щебня. Отводящий трубопровод был выведен за пределы участка с выходом из склона долины р. Уинка.

Основой фильтрующей загрузки являлся песок мелкий строительный намывной ГОСТ 8736-93. В качестве сорбционного материала использовался смешанный сосново-сфагновый и пушицево-сфагновый торф Пальтинского месторождения (г. Краснокамск) со следующими характеристиками: содержание орг. вещества – 86,7%, зольность – 13,3%, степень разложения – 26,6%, pH (KCl) – 4,6. Сорбционные характеристики данного торфа по отношению к нефтепродуктам и тяжелым металлам были определены ранее [2].

Земляные работы были выполнены в августе 2017 г. (рис.2а, 2б). В октябре были высажены влаголюбивые виды растений: ирис болотный (*Iris pseudacorus*), фаларис тростниковый (*Phalaris arundinacea*), мята водная (*Mentha aquatica*) (рис.2в). Поверхность земли была мульчирована древесной щепой. В течение лета 2018 г. наблюдался активный рост высаженных растений и к июлю-августу сформировался устойчивый растительный покров (рис.2г).



Рис. 2. Этапы строительства и формирования дождевого сада

Для определения эффективности работы сооружения проводился отбор и анализ проб воды до и после очистки. Забор исходного стока выполнялся из потока воды в подающем асфальтобетонном желобе. Забор очищенной воды предполагалось проводить из отводящих труб, выведенных из склона долины р.



Уинка, однако при дождях низкой интенсивности происходила инфильтрация воды в подстилающий местный грунт (по всей вероятности привозной песчаный грунт, использованный для формирования придомовой площадки) и уровень воды в щебеночном основании не поднимался до отметок дренажных труб. При этом под точкой выхода отводящих труб из склона образовывался небольшой ручеек, откуда и происходил забор воды.

Контроль за содержанием нефтепродуктов до и после сорбции осуществляли гравиметрическим методом по ПНД Ф 14.1:2.116. Содержание тяжелых металлов определялось фотометрическим способом на приборе Spectroquant NOVA 60. Содержание взвешенных веществ в модельном растворе поверхностных сточных вод до и после очистки определялось гравиметрическим методом в соответствии с ПНД Ф 14.1.2.110-97.

### **Анализ результатов**

Результаты анализа проб исходного и очищенного поверхностного стока приведены в таблице.

#### **Результаты анализа проб поверхностного стока до и после очистки**

Показатель	Концентрация, мг/л											
	26.03.19г		08.04.19г		08.07.19г		02.08.19г		04.09.19г		11.10.19г	
	Исх.	Оч.	Исх.	Оч.	Исх.	Оч.	Исх.	Оч.	Исх.	Оч.	Исх.	Оч.
Взв. в-ва	1259	15	287	12	91	8	125	9	212	8	40	7
Н/п	3,0	0,45	20,3	0,97	8,1	0,65	14,8	0,96	4,47	0,82	3,12	0,7
Железо общ.	2,8	0,15	0,09	0,04	0,4	0,15	0,8	0,24	0,45	0,11	1,0	0,11
Хром <sup>6</sup>	0,08	0,06	0,07	0,02	не обн.	не обн.	0,12	0,02	не обн.	не обн.	0,06	0,04
Цинк	0,09	0,04	0,45	0,12	не обн.	не обн.	0,34	0,13	0,43	0,05	0,12	0,04

Эффективность очистки на рассматриваемом дождевом саду составила: от взвешенных веществ – 82,5-98,8%, нефтепродуктов – 77,6-92,5%, железо общее – 55,6-95,0%, хром – 25-83,3%, цинк – 55,6-88,4%.

При необходимости дальнейшего повышения качества очищенного стока от растворенных примесей, например для доведения до требований сброса в водоёмы рыбохозяйственного назначения, может быть рекомендовано применение патронных фильтров сорбционной доочистки колодезной установки, а также увеличение количества сорбционного материала, в т.ч. минеральной природы, в многокомпонентной фильтрующей загрузке дождевого сада.

В качестве направления дальнейшего исследования дождевых садов можно выделить анализ эффективности очистки от органических примесей, исследование изменения пропускной способности фильтрующей загрузки, в т.ч. при низких температурах, а также анализ содержания тяжелых металлов в фитомассе растений, высаженных в дождевые сады.

## **Выводы**

Применение дождевых садов для очистки поверхностных сточных вод является перспективным решением, в т.ч. и для территорий с умеренным климатом. Первый опыт применения дождевого сада в г. Перми показал высокую эффективность очистки поверхностного стока от взвешенных веществ, нефтепродуктов и тяжелых металлов. Для широкого внедрения технологии в практику очистки поверхностного стока требуется дальнейшее изучение работы дождевых садов на территориях с умеренным климатом в условиях городской среды.

## **Библиографический список**

1. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. ОАО «НИИ ВОДГЕО. 2014. 88 с.
2. *Щукин И.С., Ручкина О.И.* Многокомпонентная фильтрующая нагрузка для фитофильтров очистки поверхностных сточных вод. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 1. С. 105-115.
3. *Shchukin, I.S. Ruchkinova O.I.* Phytofilter Environmental friendly solution for purification of surface plate from urbanized territories //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 72 –012002. DOI: 10.1088/1755-1315/72/1/012002

УДК 574:583

П.Г. Беляева<sup>1,2</sup>, [belyaeva@psu.ru](mailto:belyaeva@psu.ru)

<sup>1</sup>*Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН  
филиал ПФИЦ УрО РАН,*

<sup>2</sup>*Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО» г. Пермь, Россия*

## СОСТАВ И СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА КАМСКОГО И ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ ЛЕТОМ 2019 ГОДА

В августе 2019 г. определен состав и изучена структура фитопланктона на русловых и прибрежных станциях Камского и Воткинского водохранилищ (Средняя Кама, Россия). В составе фитопланктона выявлены представители 9 отделов водорослей, более разнообразно представлены диатомовые и зеленые водоросли (65% альгофлоры). Доминантные виды водорослей не отличаются в разных районах водохранилищ, представлены видами рода *Aulacoseira*, *Aphanizomenon flos-aqua* и *Microcystis aeruginosa*. Средняя биомасса фитопланктона в Камском водохранилище в 1.5 раза и численность в 4.5 раза ниже, чем в Воткинском. Индекс сапробности (Пантле-Букка) для водохранилищ составляет  $2.00 \pm 0.02$ , характеризую воды как умеренно загрязненные ( $\beta$ -мезосапробная зона), 3-го класса качества.

*Ключевые слова:* фитопланктон, водоросли, видовое богатство, численность, биомасса, доминирующие виды, водохранилища Средней Камы.

P.G. Belyaeva<sup>1,2</sup>, [belyaeva@psu.ru](mailto:belyaeva@psu.ru)

<sup>1</sup>*Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms,  
Ural Branch of Russian Academy of Sciences,*

<sup>2</sup>*Perm branch of VNIRO Perm, Russia*

## COMPOSITION AND STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON OF THE KAMA AND VOTKINSK RESERVOIRS IN SUMMER

The composition algae and the structure of phytoplankton was investigated in August 2019 at the channel and coastal stations of the Kama and Votkinsk reservoirs (Middle Kama river, Russia). The plankton algal of the belong of the 6 divisions, diatoms and green algae are more diverse (65% of algal flora). The dominant species of algae were the same throughout the water area of the reservoirs. They are represented by species of the genus *Aulacoseira*, *Aphanizomenon flos-aqua* and *Microcystis aeruginosa*. The average phytoplankton biomass in the Kama reservoir is 1.5 times and the abundance 4.5 times lower than in the Votkinsk reservoir. The saprobity index (Pantle-Bucca) for the reservoirs is  $2.00 \pm 0.02$ , characterizing the waters as moderately polluted ( $\beta$ -mesosaprobic zone).

*Keywords:* phytoplankton, algae, specific riches, number, biomass, dominant species, reservoir, Kama and Votkinsk reservoir.

## **Введение**

Фитопланктон в лимнических экосистемах является одним из наиболее важных компонентов, участвует в создании первичного органического вещества, его жизнедеятельность определяет функционирование других трофических уровней и способствует самоочищению воды. Значительные колебания уровня воды приводят к изменению морфологических, физико-химических, гидрологических, биолого-продукционных и других параметров водохранилищ. Сообщества планктонных водорослей одними из первых первым реагирует на эти изменения, что отражается в смене видового состава, структуре, значениях численности и биомассы, позволяя оценить экологическое состояние водного объекта.

Цель данной работы – изучить состав и структуру фитопланктона Камского и Воткинского водохранилищ и их особенности в многоводный август 2019 г.

## **Материалы и методы**

Характеристики Камского и Воткинского водохранилища приведены нами ранее в работах [1–4]. В данном исследовании изучен фитопланктон Камского водохранилища (5–9,08) в основном (одноименном) плесе, Воткинского – в Камском (19–22.08.2019 г.). Отбор проб объемом 1–1,5 л осуществляли батометром на 14 гидробиологических створах (14 русловых и 20 прибрежных станций). Обработку проб проводили по общепринятой методике [6]. Для анализа использованы результаты количественной обработки проб фитопланктона. Доминирующими, считали виды, создающие  $\geq 10\%$  от общей численности или биомассы фитопланктона.

## **Результаты и обсуждение**

Погодные условия лета 2019 г. аномальны для аналогичных периодов в Предуралье [5]. Температура воздуха оказалась на 1,6°C ниже климатической нормы. В течение всего августа на реках края продолжались дождевые паводки разной интенсивности, приток воды в Камское водохранилище дважды достигал рекордных для августа значений, эти максимумы превышали норму в 4.5–5 раз (осадки до 200%). В связи этим на ГЭС были осуществлены холостые сбросы воды, характерные для паводкового периода. Эти особенности отразилось на составе и структуре фитопланктона.

В фитопланктоне Камского водохранилища в августе 2019 г. выявлено 247 таксонов водорослей рангом ниже рода, в Воткинском – 197. Более 65% альгофлоры водохранилищ формируют водоросли двух отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta. Наиболее разнообразно был представлен отдел Bacillariophyta (120 и 71 видов, разновидностей и форм, соответственно). Менее разнообразно представлены Chlorophyta водоросли, цианопрокариоты Cyanophyta, Chrysophyta и Euglenophyta. Малое число видов характерно для Dinophyta и Cryptophyta (табл. 1). Также в водохранилищах единично отмечена водоросль *Tribonema* sp. – представитель Xanthophyta. В обоих водохранилищах, с единичной встречаемостью во всех районах выявлена водоросль *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing. – представитель отдела Raphidophyta.

Наибольшее видовое разнообразие (около 75% от общего списка видов) характерно для верхнего района Камского водохранилища (186 таксонов водорослей), снижается к приплотинному району до 109 видов (в 1,7 раза). В Воткинском – наиболее разнообразная флора отмечена в приплотинном районе (135 таксонов водорослей), за счет увеличения числа Cyanophyta, в меньшей степени Cyanophyta.

Таблица 1

**Таксономическая структура фитопланктона Камского и Воткинского водохранилищ в многоводном 2019 г.**

Отделы водорослей	Камское		Воткинское		Общее число таксонов	Вклад отделов, %
	Число таксонов	%	Число таксонов	%		
Bacillariophyta	120	49	71	36	126	44
Chlorophyta	54	22	53	27	68	24
Cyanophyta	28	11	31	16	37	13
Chrysophyta	20	8,1	16	8,1	22	7,7
Dinophyta	6	2,4	8	4,1	8	2,8
Euglenophyta	14	5,7	13	6,6	19	6,7
Cryptophyta	3	1,2	3	1,5	3	1,1
Xanthophyta	1	0,4	1	0,5	1	0,35
Raphidophyta	1	0,4	1	0,5	1	0,35
<b>Всего</b>	247		197		285	100

Число водорослей в Камском водохранилище практически одинаково в фитопланктоне русла и на мелководных станциях (около 180 таксонов). В Воткинском – на мелководьях в 1,3 раза выше, чем в русле, где менее разнообразно представлены Bacillariophyta, Chrysophyta, Euglenophyta и Dinophyta.

Несмотря на высокое видовое богатство альгофлоры, ее развитие определяется 5–7 видами. Представители таких (доминантных) видов в 2019 г. практически не отличаются в разных районах водохранилищ (табл. 2). Доминируют центрические диатомовые (преимущественно *Aulacoseira* виды) и цианопрокариоты (*Aphanizomenon flosaqua* и *Microcystis aeruginosa*).

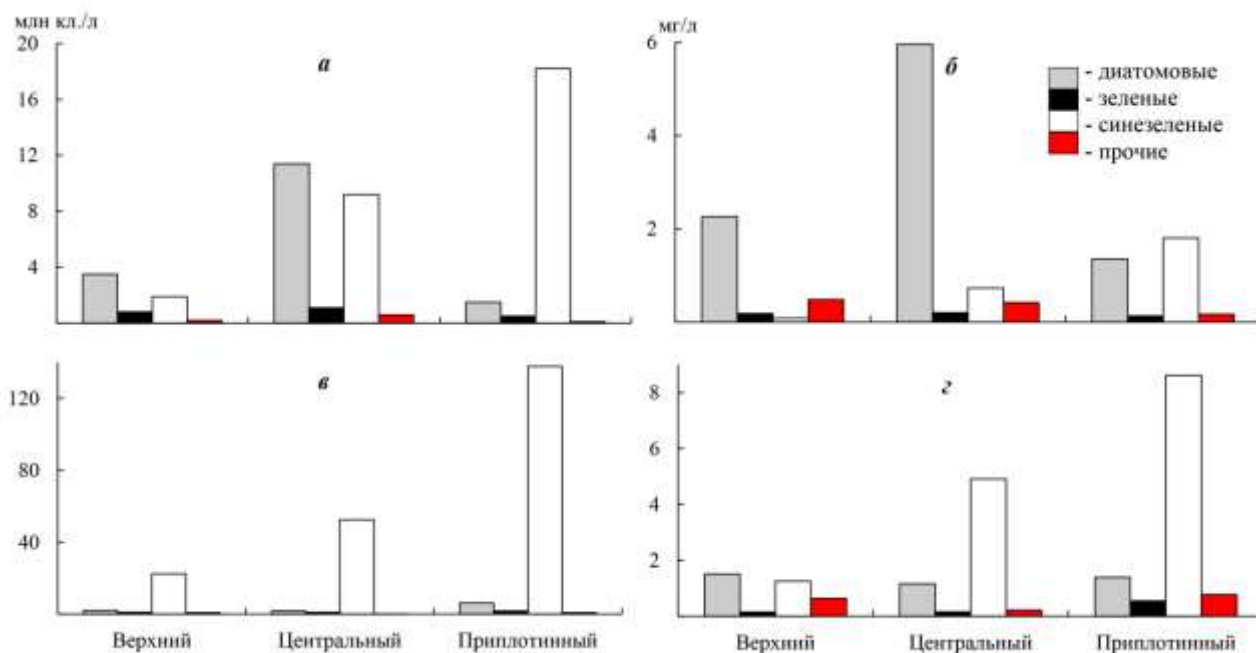
Средняя биомасса фитопланктона в Камском водохранилище составила 4,58 мг/л, численность 16,3 млн кл./л. Развитие диатомовых водорослей сохранилось на уровне 2018 г., вклад синезеленых водорослей снизился в 4 раза, зеленых водорослей – в 1,8 раза [1; 3]. Различия между развитием фитопланктона русловых и прибрежных станций незначительны. Наибольшего развития фитопланктон достигал в приплотинном районе (в другие годы – в центральном районе) Камского плеса при массовом развитии диатомовых (по биомассе и численности) и синезеленых (по численности) водорослей (рисунок).

Средняя биомасса фитопланктона в Воткинском водохранилище в августе 2019 г. составила 7,11 мг/л, численность – 75,8 млн. кл./л, эти значения практически совпадают со значениями августа 2018 г. (холодный многоводный год). Максимальные численность и биомасса альгофлоры зарегистрированы в приплотинном районе за счет массового развития синезеленых водорослей как по численности, так по биомассе, что характерно для этого района водохранилища [2; 4]. В мелководной зоне водохранилища численность (в 2,6 раза) и биомасса (в 3 раза) водорослей выше, чем на русловых станциях.

Таблица 2

**Доминантные виды фитопланктона в различных районах Камского и Воткинского водохранилищ в августе 2019 г.**

Район	Камское водохранилище	Воткинское водохранилище
Верхний	<i>Aulacoseira</i> spp. (40N, 35B), <i>Aphanizomenon flosaqua</i> (10N),	<i>Aphanizomenon flosaqua</i> (45N; 36B), <i>Microcystis aeruginosa</i> (10N), <i>Aulacoseira</i> spp. (12B), <i>Actinocyclus normanii</i> (15B)
Центральный	<i>Aulacoseira</i> spp. (51N, 64B), <i>Aphanizomenon flosaqua</i> (22N, 11 B),	<i>Aphanizomenon flosaqua</i> (63N; 55B), <i>Aulacoseira</i> spp. (10B)
Приплотинный	<i>Aphanizomenon flosaqua</i> (56N; 38B), <i>Aulacoseira</i> spp. (20N, 21B), <i>Actinocyclus normanii</i> (19B)	<i>Aphanizomenon flosaqua</i> (59N; 60B), <i>Microcystis aeruginosa</i> (25N; 15B), <i>Aulacoseira</i> spp. (10B),
Общие	<i>Aphanizomenon flo-aqua</i> , <i>Aulacoseira</i> spp.	



Вклад основных отделов водорослей в структуру фитопланктона различных районов Камского (а, б) и Воткинского (в, г) водохранилищ. По оси ординат а и в – численность, б и г – биомасса (мг/л); по оси абсцисс районы водохранилища

Коэффициенты видового разнообразия (индекс Шеннона), рассчитанные по биомассе фитопланктона в водохранилищах Средней Камы были достаточно велики:  $4,00 \pm 0,07$  в Камском и  $3,00 \pm 0,04$  в Воткинском. Эти значения индекса выше, чем в предыдущие годы исследований (в 1,2 раза для 2013–2015 гг. и в 1,5 для 2010 и 2016 гг.). В 2019 г. индекс разнообразия, достиг максимальных величин в верхних районах обоих водохранилищ (4,46 в Камском и 3,71 в Воткинском) и снижался к приплотинным (3,13 и 2,03, соответственно). Значения этого индекса хорошо согласуются с изменениями видового разнообразия фитопланктона.

Индексы сапробности (Пантле-Букка) в Камском водохранилище незначительно увеличиваются от верхнего района (1,81) к нижнему (2,00). В Воткинском – примерно одинаковы по всей акватории ( $2,02 \pm 0,03$ ). Качество воды в соответствии с эколого-санитарными показателями [7] и по средним величинам индекса сапробности можно отнести к 3-му классу качества (удовлетворительной чистоты) воды ( $\beta$ -мезосапробная зона органического загрязнения).

*Работа частично поддержана программой, номер госрегистрации темы: НИОКТРАААА-А19-119112290008-4.*

### Библиографический список

1. *Беляева П.Г.* Видовой состав и структура фитопланктона Камского водохранилища // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2013. № 3. С. 4–11.
2. *Беляева П.Г.* Многолетняя динамика состава и распределения фитопланктона Воткинского водохранилища (бассейн Камы, Пермский край) // Ботанический журнал. 2018. 103(3). С. 297–312.
3. *Беляева П.Г.* Пространственно-временные изменения фитопланктона Камского водохранилища // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т.17. №5. С. 733–738.
4. *Беляева П.Г.* Структура фитопланктона Воткинского водохранилища в 2010–2016 гг. // Вестник Пермского университета. Биология. 2017. Вып. 3. С. 257–262.
5. *Климатические особенности* в Пермском крае. Электронный ресурс: <http://accident.perm.ru/index.php/novosti/1313-klimaticheskie-osobennosti-leta-2019-g-v-permskom-krae>
6. *Методика* изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 239 с.
7. *Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–77.

Г.А. Гуламанова<sup>1</sup>, [gulamanovaga@mail.ru](mailto:gulamanovaga@mail.ru)

А.О. Полева<sup>2</sup>, [a\\_poleva@mail.ru](mailto:a_poleva@mail.ru)

<sup>1</sup>Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

<sup>2</sup>Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ИНДЕКСАМ РАЗНООБРАЗИЯ И САПРОБНОСТИ

Изучен видовой состав фитопланктона Павловского водохранилища в 2018-2019 гг. Проанализировано 39 проб, определен видовой состав водорослей и цианобактерий. Выполнен таксономический анализ, рассчитаны индексы разнообразия фитопланктонного сообщества, встречаемость видов и значение сапробности.

*Ключевые слова:* водохранилище, фитопланктон, видовое разнообразие, сапробность, индекс Симпсона, индекс Шеннона-Уивера.

G.A. Gulamanova<sup>1</sup>, [gulamanovaga@mail.ru](mailto:gulamanovaga@mail.ru)

A.O.Poleva<sup>2</sup>, [a\\_poleva@mail.ru](mailto:a_poleva@mail.ru)

*Bashkir State University, Ufa, Russia*

*Institute of Geology UFRC of RAS, Ufa, Russia*

## ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF THE PAVLOVSKOE RESERVOIR BY OF DIVERSITY INDICES AND SAPROBIC INDEX

The species composition of the phytoplankton of the Pavlovskoe reservoir in 2018-2019 was studied. 39 samples were analyzed, the species composition of algae and cyanobacteria was determined. Taxonomic analysis was made, the diversity indices of the phytoplankton community, the occurrence of species and saprobity were calculated.

*Keywords:* reservoir, phytoplankton, species diversity, saprobity, Simpson's index, Shannon's index.

### **Введение**

Водоросли и цианобактерии, будучи первичным компонентом водных экосистем, первыми реагируют на абиотические факторы среды, и в первую очередь, на свет, температуру, количество растворенного кислорода, содержание биогенных элементов, микроэлементов. В сумме эти факторы, действуя разнонаправленно, определяют направления в развитии фотоавтотрофных сообществ [6;10;11].

При оценке видового разнообразия растительного сообщества необходимо учитывать не только видовой состав, но и выравненность представленных видов. При этом для каждого типа сообществ существует оптимальный уровень биоразнообразия, при повышении или снижении которого устойчивость сообщества нарушается [2].



Конкретному состоянию водной экосистемы соответствует определенный уровень способности к самоочищению. Одним из методов оценки качества воды является определение уровня сапробности (органического загрязнения) по индикаторным видам [3].

Из водорослевого компонента Павловского водохранилища активно изучался фитопланктон, реже бентос [4;7-9;12].

Целью нашего исследования была оценка качества воды Павловского водохранилища по фитопланктону с использованием индексов разнообразия и значения сапробности.

### ***Материал и методы***

Павловское водохранилище расположено на р. Уфа в пределах Уфимского плато и является самым крупным водохранилищем в Республике Башкортостан. Водохранилище узкое, вытянутой формы, полный объем водохранилища составляет 1,41 км<sup>3</sup>, полезный – 0,95 км<sup>3</sup> [1]. Используется для частичного водоснабжения г. Уфы, производства энергии на Павловской ГЭС, рекреации, а также для регулирования уровня реки, защищая от паводковых наводнений нижерасположенные населенные пункты.

Пробы отбирались в летний период 2018 - 2019 гг., всего было отобрано 39 проб. Станции отбора проб в 2018 г.: ст.№1 – Нижний бьеф, 200 м ниже плотины; ст.№2 – верхний бьеф, левый берег; ст.№3 – верхний бьеф, правый берег; ст.№4 – середина водохранилища, поверхность; ст.№5 – середина, глубина 17 м; ст.№6 – ФОК «Звездный», глубина 9 м; ст.№7 – ФОК «Звездный», глубина 18 м; ст.№8 – ФОК «Звездный», правый берег; ст.№9 – залив Байки, поверхность; ст.№10 – залив Байки, глубина 3 м; ст.№11 – залив Байки, глубина 6 м; ст.№12 – с.Магинск, поверхность; ст.№13 – с.Магинск, глубина 4,5 м; ст.№14 – с.Магинск, глубина 9 м; ст.№15 – устье р. Юрюзань, глубина 4 м; ст.№16 – устье р. Юрюзань, глубина 8 м; ст.№17 – с. Караидель, поверхность; ст.№18 – с. Караидель, глубина 4 м; ст.№19 – с.Караидель, глубина 8 м; ст.№20 – устье р. Тую, п Сарс.

Станции отбора проб в 2019 г.: ст.№1 – с. Старомуллакаево; ст.№2 – устье р. Тую; ст.№3 – с. Караидель, поверхность; ст.№4 – с. Караидель, середина; ст.№5 – с. Караидель, дно; ст.№6 – р. Юрюзань, 3 км выше устья, поверхность; ст.№7 – р. Юрюзань, 3 км выше устья, середина; ст.№8 – р. Юрюзань, 3 км выше устья, дно; ст.№9 – устье р. Байки, поверхность; ст.№10 – устье р. Байки, середина; ст.№11 – устье р. Байки, дно; ст.№12 – середина, ФОК Звездный, поверхность; ст.№13 – правый берег ФОК Звездный, дно; ст.№14 – правый берег ФОК Звездный, поверхность; ст.№15 – правый берег верхний бьеф, поверхность; ст.№16 – середина верхний бьеф, поверхность; ст.№17 – середина верхний бьеф, середина; ст.№18 – середина верхний бьеф, дно; ст.№19 – левый берег верхний бьеф, поверхность.

Методы отбора, фиксации проб, определения водорослей соответствовали общепринятым методикам [5]. Систематика и названия таксономических единиц приведены согласно базе данных Algaebase [13]. Для оценки биологического разнообразия водорослей применены индексы Шеннона-Уивера и Симпсона [2].

Индекс сапробности рассчитывался по формуле Пантле-Букка [3].

### Анализ результатов

За период исследования в фитопланктоне Павловского водохранилища был выявлен 81 вид и внутривидовой таксон (ввт.) водорослей и цианопрокариот из 6 отделов. Почти половина видового разнообразия принадлежит отделу *Bacillariophyta* (48,1%), треть – отделу *Chlorophyta*, остальные отделы в сумме составили чуть более 20% видового разнообразия (табл.1).

Количество выявленных видов в 2018 г. составило 68 вид и ввт., в 2019 г. – 45 вид и ввт.

Родовая насыщенность довольно низкая, коэффициент составил 1,4, таким образом, практически все роды представлены одним или двумя видами. Исключение составили роды *Navicula* (4 вида) и *Nitzschia* (3 вида). Низкий родовой коэффициент может свидетельствовать о наличии факторов, неблагоприятных для развития планктонной флоры.

Таблица 1

#### Таксономическая характеристика фитопланктона

Отделы	классы	порядки	семейства	роды	виды и ввт.	доля, %
<i>Cyanobacteria</i>	1	4	4	5	7	8,6
<i>Chlorophyta</i>	2	4	10	19	25	30,9
<i>Charophyta</i>	1	1	1	2	2	2,5
<i>Bacillariophyta</i>	3	13	19	27	39	48,1
<i>Miozoa</i> ( <i>Dinoflagellata</i> )	1	2	2	2	2	2,5
<i>Euglenozoa</i>	1	1	2	4	6	7,4
<b>Всего таксонов</b>	9	25	38	59	81	100,0

Для учета равномерности распределения (выровненности) вида использовали метод подсчета частоты нахождения видов в пробах. В 2018 г. в группу с высокой встречаемостью (50% проб и более) вошли 8 видов: *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal, *Peridinium cinctum* (O.F.Müller) Ehrenberg, *Coelastrum microporum* Nägeli, *Chlorella vulgaris* Beyerinck [Beijerinck], *Lindavia comta* (Kützing) T.Nakov & al., *Trachelomonas planctonica* Svirenko, *Chlorococcum infusionum* (Schränk) Meneghini, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen.

В 2019 г. из этой группы полностью выпали представители диатомовых водорослей. Всего только 4 вида имели высокую встречаемость: *Chlorococcum infusionum* (Schränk) Meneghini, *Chlorella vulgaris* Beyerinck [Beijerinck], *Peridinium cinctum* (O.F.Müller) Ehrenberg, *Coelastrum microporum* Nägeli.

Индекс разнообразия Симпсона в разные годы оставался практически неизменным и составил 0,004. Индекс варьирует от 0 до 1, высоко оценивает наиболее обильные виды, и слабо зависит от видового состава. Полученное значение свидетельствует о невыраженности доминирования, сообщество достаточно выравненное.

Индекс Шеннона – Уивера в 2018 г. составил 2,90, в 2019 г. – 2,62. Полученные значения соответствуют средней степени разнообразия, в 2018 г. складывались более благоприятные и разнообразные условия для развития планктонной флоры.

## Распределение индикаторных видов по отделам

Отделы \ Год	2018					2019				
	χ	ο	β	α	ρ	χ	ο	β	α	ρ
<i>Cyanobacteria</i>	-	-	2	-	-	-	2	1	-	-
<i>Chlorophyta</i>	-	-	11	1	-	-	1	8	-	1
<i>Charophyta</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bacillariophyta</i>	6	6	13	4	-	2	3	8	2	-
<i>Miozoa (Dinoflagellata)</i>	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Euglenozoa</i>	-		2	-	1	-	-	2	1	-
Всего сапробных видов	49					32				

Для оценки степени органического загрязнения были выделены индикаторные виды и рассчитан индекс сапробности. Число индикаторных видов составило 58 видов, относящихся к разным зонам самоочищения (табл.2).

Наиболее разнообразно представлены β-мезосапробы, далее по убыванию идут олигосапробы и α-мезосапробы, единично представлены ксеносапробы и полисапробы. В 2018 г. значение индекса сапробности составил 2,23, в 2019 г. – 1,49. Оба значения характеризуют водоем как умеренно загрязненный.

### Выводы

За время исследования выявлен 81 вид и внутривидовой таксон водорослей и цианобактерий из 6 отделов. Наиболее разнообразно представлены отделы диатомовых и зеленых водорослей. Родовой коэффициент низкий – 1,4. Индексы разнообразия свидетельствуют о небогатом видовом разнообразии, без выраженного доминирования. Фитопланктонное сообщество недостаточно стабильно и равновесно, возможно за счет влияния каких-либо временных факторов, неблагоприятных для его развития. Значения сапробности соответствуют умеренно загрязненному классу качества вод.

### Библиографический список

1. Абдрахманов Р.Ф. Особенности формирования химического состава воды Павловского водохранилища // Гидрохимические материалы. 1994. Т. 111. С. 139–150.
2. Алексанов В.В. Методы изучения биологического разнообразия. Калуга, 2017. 70 с.
3. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. PiliesStudio. Тель-Авив, 2006. 498с.
4. Беляева П.Г., Истомина А.М., Истомин С.Г., Целищева Е.М. Современное состояние планктона, бентоса и ихтиофауны павловского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь, 2017. Т.3. С. 18-24.
5. Водоросли: справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др.; Акад. наук УССР, Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного. Киев: Наук. думка, 1989. 605 с.

6. Минеева Н.М., Степанова И.Э., Семадени И.В. Биогенные элементы и их роль в развитии фитопланктона водохранилищ верхней Волги // Биология внутренних вод. 2021. № 1. С. 24-34.
7. Полева А.О., Шкундина Ф.Б. Антропогенная динамика сообществ планктонных водорослей и цианопрокариот Павловского водохранилища // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1-5. С. 1348-1351.
8. Полева А.О., Шкундина Ф.Б. Использование показателей микрофитобентоса для оценки экологического состояния донных отложений Павловского водохранилища // Вода: химия и экология. 2011. № 8 (38). С. 42-47.
9. Полева А.О., Шкундина Ф.Б., Ахунова Т.Р. Мониторинговые исследования антропогенного эвтрофирования Нугушского водохранилища // Медицина труда и экология человека. 2016. № 2 (6). С. 61-65.
10. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Содержание кислорода в воде и стратификация водных экосистем на примере мезотрофного озера // The Caucasus. Economic and Social Analysis Journal of Southern Caucasus. 2019. Т. 7. № 34. С. 14-17.
11. Теканова Е.В., Калинин Н.М., Кравченко И.Ю. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 1. С. 90-100.
12. Юзаева М.Б., Полева А.О., Шкундина Ф.Б. Биоиндексационная оценка качества воды Павловского водохранилища // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. 2014. № 10. С. 248-249.
13. AlgaeBase. <https://www.algaebase.org/search/species/> (дата обращения: 09 марта 2021).

УДК 574.583

В.С. Жихарев, Д.Е. Гаврилко, Г.В. Шурганова, [slava.zhiharev@bk.ru](mailto:slava.zhiharev@bk.ru)  
Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

## **СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИТОКОВ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Рассмотрены особенности структурной организации сообществ зоопланктона разнотипных устьевых областей притоков равнинного водохранилища. Показано, что в устьевых областях эстуарного типа и антропогенно-трансформированных простого строения, наблюдается высокое видовое богатство при не высоком видовом разнообразии. Во всех устьевых областях были выделены три кластера/зоны, которые соответствовали определенным сообществам зоопланктона. Впервые для разнотипных устьевых областей

крупных и средних притоков равнинного водохранилища установлено увеличение видового богатства и количественного развития зоопланктона в переходной (экотонной) зоне, а также трансформация комплекса доминирующих видов из реофильного в лимнофильный.

*Ключевые слова:* реки, водохранилища, устьевая область, зоопланктон, сообщество.

V.S. Zhikharev, D.E. Gavrilko, G.V. Shurganova, [slava.zhiharev@bk.ru](mailto:slava.zhiharev@bk.ru)  
*Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

## **STRUCTURAL ORGANIZATION OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN THE MOUTH RIVERS TRIBUTARIES OF THE CHEBOKSARY RESERVOIR**

The article discusses the features of the structural organization of zooplankton of different types of mouth areas of the tributaries of the lowland reservoir. It is shown that in mouth and anthropogenically transformed simple structure mouth areas, there is a high species richness with a low species diversity. In all mouth areas, three clusters/zones were identified that corresponded to specific zooplankton communities. For the first time, an increase in the species richness and quantitative development of zooplankton in the transitional (ecoton) zone, as well as the transformation of the complex of dominant species from rheophilic to limnophilic, has been established for different types of estuarine areas of large and medium-sized tributaries of a plain reservoir.

*Key words:* rivers, reservoirs, mouth area, zooplankton, community.

### ***Введение***

Особенности географического положения России, где по площади преобладают водосборы равнинного характера, во многом определили приоритеты в гидроэкологических исследованиях водных объектов – в литературе основные черты структурной организации, видового разнообразия и пространственного распределения планктонных сообществ по продольному профилю приводятся для водотоков и водоемов Европейской части России и Сибири [1-4]. При этом для устьевых областей рек-притоков равнинных водохранилищ исследований, направленных на решение проблемы пространственной организации сообществ зоопланктона сравнительно мало, и эта проблема остается открытой, а знания по-прежнему очень неоднородны по своему содержанию и полноте. При этом устьевые области, к примеру, малых рек являются неким биофондом для бассейнов равнинных водохранилищ, благодаря формированию экотонов, в которых видовое разнообразие и количественное развитие существенно выше по сравнению с граничащими акваториями [5; 6].

Целью исследования явился анализ структурной организации зоопланктоценозов разнотипных устьевых областей притоков равнинного Чебоксарского водохранилища (Нижегородская область, Россия).

### ***Материалы и методы исследования***

В летний (июль) период 2019 г. было обследовано четыре устьевых области притоков Чебоксарского водохранилища. Устьевая область крупной р. Ветлуга имеет эстуарный тип с широким разливом и мелководьями. Устьевая область крупной р. Сура имеет эстуарно-дельтовый тип с широким разливом,

островами и обширными полями зарослей высших водных растений. Устьевая область малой р. Сундовик имеет простое строение и антропогенно-трансформирована в канал для прохода судов. Устьевая область средней р. Керженец имеет дельтовый тип с множеством островов, несколькими рукавами и песчаными косами.

Отбор проб зоопланктона проводили при помощи планктонной сети (70 мкм) путем тотальных ловов от дна до поверхности на участках с глубиной более 3 м и путем процеживания 100 л воды через планктонную сеть на участках с глубиной менее 3 м. Пробы фиксировали 4%-ым формалином.

Разбор материала проводили под стереоскопическим микроскопом Zeiss Stemi 2000C и микроскопом Zeiss Primo Star. Идентификация видов зоопланктона осуществлялась по определителям и специальной литературе [7-13]. В работе анализировали как общее видовое богатство зоопланктона, так и среднее видовое богатство в одной пробе. Для анализа видового разнообразия применяли Индекс Шеннона и Бергера-Паркера. Для выделения сообществ зоопланктона и установления их пространственного размещения использовали метод многомерного векторного анализа [14; 15].

### ***Результаты и их обсуждение***

В общей сложности было выявлено 137 видов зоопланктонных организмов, в том числе 74 коловраток, 46 ветвистоусых ракообразных и 17 веслоногих ракообразных. Наибольшим видовым богатством характеризовалась р. Ветлуга (98 видов), наименьшим р. Сура (53). Однако, во всех устьевых областях доминирующей группой были коловратки. Доля видов этой группы от общего видового богатства варьировала от 51% (р. Сундовик) до 56% (р. Керженец). Преобладание коловраток в видовом составе зоопланктона устьевых областей объясняется реофильными условиями и приуроченности таксонов этой группы к текучим водам.

Более детальный анализ показал, что среднее видовое богатство в одной пробе и общее видовое богатство было наиболее высоким в эстуарной устьевой области крупной р. Ветлуга. Однако видовое разнообразие в этой устьевой области было наиболее низким. Это может быть связано с тем, что устьевая область этой реки находится под сильным влиянием водохранилищных вод. Эстуарное строение устьевой области способствует формированию обширных мелей, застаиванию водных масс и развитию рачкового зоопланктона. При этом формируется доминирование одного или нескольких видов, как это наблюдается в водохранилище. Об этом также свидетельствует наиболее низкое значение индекса Шеннона и наиболее высокое значение индекса Бергера-Паркера в устьевой области р. Ветлуга. Уменьшение одного значения и увеличение другого свидетельствует об уменьшении разнообразия и возрастании степени доминирования одного вида. Под сильным влиянием водохранилищных вод находится также устьевая область малой р. Сундовик, которая антропогенно-трансформирована в канал для прохода судов. В этой устьевой области наблюдается ситуация аналогичная устьевой области р. Ветлуга. Дельтовая устьевая область средней р. Керженец и эстуарно-дельтовая устьевая область крупной р. Сура характеризовались наибольшими значениями индекса Шеннона

и наименьшими значениями индекса Бергера-Паркера. В этих устьевых областях по сравнению с другими наблюдается высокое разнообразие и доминирование большого количества видов.

На основе многомерного векторного анализа методом средней связи с последующим определением оптимального количества кластеров были выделены сообщества зоопланктона в каждой устьевой области. Так, во всех устьевых областях были выделены три кластера/зоны, которые соответствуют сообществам зоопланктона: зона свободного течения реки (Zone I), переходная зона между водотоком и приемником/водохранилищем (Zone II) и зона приемника/водохранилища (Zone III).

Для примера рассмотрим видовую структуру в эстуарной устьевой области крупной р. Ветлуга, в которой наибольшее таксономическое богатство и численность зоопланктона наблюдались в переходной зоне между водотоком и приемником/водохранилищем. Если в зоне свободного течения реки (Zone I) доминировали коловратки *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832 и *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, доля которых в сумме составляла 54,5% от общей численности зоопланктона, то в переходной зоне (Zone II) комплекс доминирующих таксонов полностью сменился. Доминировала коловратка *Brachionus angularis* Gosse, 1851 (21,1%), а также науплиальные (17,5%) и копеподитные стадии (11,5%) веслоногих ракообразных. В зоне приемника (Zone III) в число доминантов добавился типичный для водохранилища лимнический вид *Daphnia galeata* G.O. Sars, 1864 (12,7%).

Аналогичная постепенная перестройка сообществ зоопланктона из реофильного в лимнофильное наблюдалась во всех исследованных устьевых областях. В среднем по сравнению с зоной свободного течения реки в переходной зоне между водотоком и приемником/водохранилищем видовое богатство возрастало в 1,9 раза, численность в 4,4 раза, а трансформация комплекса доминирующих видов проходила из коловраточного/реофильного в рачковый/лимнофильный. Подобные закономерности ранее были описаны в работах А.В. Крылова и С.Э. Болотова [4; 16-18], однако, они были выявлены только для малых притоков равнинного водохранилища. Наши исследования показывают, что увеличение видового богатства и количественного развития зоопланктона в переходной зоне, которую часто называют экотонем, наблюдается также и в разнотипных устьевых областях крупных и средних притоков равнинного водохранилища.

### **Выводы**

Анализ видовой структуры зоопланктона устьевых областей показал, что наибольшее видовое богатство и наименьшее видовое разнообразие наблюдалось в устьевых областях эстуарного и простого (антропогенного-трансформированные) строения, где имеет место сильное влияние водных масс водохранилища и сильное встраивание в видовую структуру лимнических видов, не характерных для текущих вод (таких как *D. galeata*). Напротив, в устьевых областях дельтового и эстуарно-дельтового строения было выявлено наименьшее таксономическое богатство и наибольшее таксономическое разнообразие, несмотря на более высокое разнообразие биотопов для обитания

организмов зоопланктона. Менее сильное влияние водохранилищных водных масс способствовало развитию в них полидоминирования сформированного, как из реофильных, так и лимнофильных таксонов.

При более детальном анализе видовой структуры зоопланктона устьевых областей, были выделены зоны, соответствующие разным сообществам зоопланктона: зона свободного течения реки, переходная зона между водотоком и приемником/водохранилищем и зона приемника/водохранилища. Впервые для разнотипных устьевых областей крупных и средних притоков равнинного водохранилища установлено увеличение видового богатства и количественного развития зоопланктона в переходной (экотонной) зоне, а также трансформация комплекса доминирующих видов из коловраточного/реофильного в рачковый/лимнофильный.

*Исследование выполнено при финансовой поддержки РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90097 и частичной финансовой поддержке Русского географического общества (проект № 02/2019-Р и № 07/2020-Р).*

### Библиографический список

1. Богатов В.В. Экология речных сообществ Российского Дальнего востока. Владивосток: Дальнаука, 1994. 218 с.
2. Богатов В.В. Комбинированная концепция функционирования речных систем // Вестник ДВО РАН. 1995. № 3. С.51–61.
3. Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 264 с.
4. Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища / Под ред. А.В. Крылов. Ярославль: Филигрань, 2015. 466 с.
5. Grabowska M., Ejsmont-Karabin J., Karpowicz M. Reservoir-river relationships in lowland, shallow, eutrophic systems: An impact of zooplankton from hypertrophic reservoir on river zooplankton // Polish Journal of Ecology. 2013. Vol. 61. № 4. P. 759–768.
6. Ильин М.Ю. Состав и структура сообществ зоопланктона водных объектов особо охраняемых природных территорий (на примере Нижегородской области), авт. дис. к-та биол. наук. Нижний Новгород, 2016. 36 с.
7. Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л.: Наука, 1970. 744с.
8. Смирнов Н.Н. Chydoridae фауны мира. Фауна СССР. Ракообразные. Л.: Наука, 1971. Т. 1. Вып. 2. 553 с.
9. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России, Зоопланктон. Т.1. / Под ред. Алексеев В.Р., Цалолихин С.Я. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.
10. Alonso M. Crustacea, Branchiopoda. Fauna Iberica 7. Crustacea Branchiopoda. Madrid: Museo Nacional de Ciencias Naturales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1996. 486 p.
11. Hudec I. Anomopoda, Ctenopoda, Haplopoda, Onychopoda (Crustacea: Branchiopoda). Fauna Slovenska III. Bratislava: VEDA, 2010. 496 p.



12. *Błędzki L.A., Rybak J.I.* Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe. Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida). Key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. 918 p.
13. Keys to Palaearctic Fauna. Thorp and Covich's Freshwater. Invertebrates. Vol. IV: 4th edn. / eds. Rogers D.C., Thorp J.H. Kidlington, Oxford: Academic Press, 2019. 920 p.
14. *Черепенников В.В., Шурганова Г.В., Гелашвили Д.Б., Артельный Е.В.* Исследование различий видовой структуры основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища методом многомерного анализа // Известия Самарского научного центра РАН. 2004. Т. 6. № 2(12). С. 328–333.
15. *Шурганова Г.В.* Динамика видовой структуры зоопланктоценозов в процессе их формирования и развития (на примере водохранилищ Средней Волги: Горьковского и Чебоксарского): автореф. дис ... д-ра биол. наук. Нижний Новгород, 2007. 48 с.
16. *Болотов С.Э., Крылов А.В., Цветков А.И., Соколова Е.А., Поддубный С.А.* Водные массы и зоопланктон зоны подпора притока Рыбинского водохранилища // Поволжский экологический журнал. 2012. № 2. С. 134–141.
17. *Болотов С.Э., Романенко А.В., Цветков А.И., Отюкова Н.Г., Соколова Е.А., Крылов А.В.* Бактерио- и зоопланктон устьевой области притока равнинного водохранилища в аномальный по климатическим условиям период // Биология внутренних вод. 2014. № 1. С. 41–51.
18. *Болотов С.Э., Мухортова О.В., Козуница Г.С.* Биофизические модели гомеостаза и климатически обусловленные нарушения устойчивости экотонных сообществ зоопланктона малой реки // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 2. С. 5–12.

УДК 556.555

В.М. Калениченко<sup>1</sup>, О.Н. Ерина<sup>1</sup>, Г.Т.Замана<sup>2</sup>, В.В. Пуклаков<sup>1</sup>  
[lera.kalenichenko@mail.ru](mailto:lera.kalenichenko@mail.ru)

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup>АО «Мосводоканал», г. Москва, Россия

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЗИМНЕГО ФИТОПЛАНКТОНА МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

По результатам мониторинга за период с 2003 по 2018 г. проанализирована количественная динамика и состав фитопланктонного сообщества в зимний период в Можайском водохранилище. Была проведена статистическая оценка значимости многолетних трендов общей численности, современного видового состава фитопланктонного сообщества водоема за последние пятнадцать лет. Выявлены процентные соотношения основных отделов

водорослей, определена частота возникновения и интенсивность вспышек подледного развития. Проанализирована месячная динамика изменения структуры фитопланктона в ходе изменяющихся климатических условий. Выявлено, что к изменению климатического режима более чувствителен состав фитопланктона, а не общая численность клеток.

*Ключевые слова:* зимнее цветение, зимний фитопланктон, стратифицированный водоем, качество воды, Можайское водохранилище, климатические изменения.

V.M. Kalenichenko<sup>1</sup>, O.N. Erina<sup>1</sup>, G.T. Zamana<sup>2</sup>, V.V. Puklakov<sup>1</sup>

[lera\\_kalenichenko@mail.ru](mailto:lera_kalenichenko@mail.ru)

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*АО «Mosvodokanal», Moscow, Russia*

## **LONG-TERM DYNAMICS OF WINTER PHYTOPLANKTON IN THE MOZHAYSK RESERVOIR**

This study analyzes phytoplankton winter dynamics and the community structure in the Mozhaysk reservoir based on the monthly monitoring data from 2003 to 2018. We assessed the significance of long-term trends of the phytoplankton abundance and the modern species composition in the reservoir, determined the percentages of the main algal divisions and the frequency of under-ice bloom events. The monthly dynamics of changes in the phytoplankton structure are analyzed under climatic changes. We found that phytoplankton's composition is more sensitive to changes in the climatic regime than the total number of cells.

*Keywords:* winter bloom, winter phytoplankton, stratify lake, water quality, Mozhaysk reservoir, climate changes.

### ***Введение***

Глобальные климатические изменения отражаются не только в сезонной динамике гидрометеорологических характеристик водоема, а также касаются гидробиологических показателей состояния водной экосистемы. Рост и сезонная сукцессия фитопланктона регулируются множеством как внешних, так и внутренних факторов. Изменения климата оказывают значительное влияние на сезонную динамику фитопланктона в водоемах [3].

Реакции автотрофных организмов, свободно парящих в водной толще, на сменяющиеся климатические сценарии являются наиболее заметным показателем многолетней динамики качества воды. В зимний период наиболее важными факторами формирования фитопланктонного сообщества являются: продолжительность ледостава, снежного покрова на льду и степень перемешивания водной толщи.

Зимний режим планктонного сообщества достаточно слабо исследован. При низких температурах химико-биологические процессы в организмах замедляются, а установившийся ледостав и снежный покров в течение нескольких месяцев ограничивают проникновение света в водную толщу, что лимитирует процесс фотосинтеза. Однако современный образ зимнего периода претерпевает значительные трансформации в последние десятилетия. Воздействие потепления климата проявляется в изменении продолжительности ледяного покрова, температуры воды, различиях в структуре стратификации и условий подледного освещения [5]. Имеются даже свидетельства того, что зимние метеорологические условия могут влиять на фитопланктон следующим летом и осенью, но механизмы сложны и пока не до конца изучены [6].

Таким образом, изучение структуры и динамики многолетних режимов фитопланктонного сообщества в зимний период в условиях климатических изменений представляет как научный, так и практический интерес водопользователей в целях оптимизации и уменьшения затрат на процессы очищения вод от различных неприятных и трудноудаляемых последствий цветения.

### ***Материалы и методы исследования***

В качестве объекта исследования было выбрано хорошо изученное и наиболее крупное из водохранилищ системы водоснабжения г. Москвы – Можайское водохранилище, расположенное в Московской области. Данный стратифицированный водоем относится к эвтрофному типу с ежегодно возникающим «цветением» водорослей в летний период. Зимой 2016 года в водохранилище было отмечено подледное «цветение» диатомовых водорослей [1], однако оценок о том, насколько характерным являлось зафиксированное событие для современного режима водохранилища, не проводилось.

Для изучения зимнего режима фитопланктона были использованы многолетние данные мониторинга АО «Мосводоканал» о структуре фитопланктонного сообщества в пределах трех станций Можайского водохранилища – Мышкино, Красновидово, Плотина. Для проведения статистических оценок были использованы следующие показатели: численность и состав по отделам фитопланктонного сообщества в поверхностном (подледном) и придонном слоях (экз./л) за зимний период с 2003 по 2018 г. При определении структуры водорослевого сообщества использовалась устаревшая систематика, вследствие чего, отделы криптофитовых и динофитовых водорослей не выделялись отдельно, а объединялись в отдел пирофитовых. Всего было выделено 6 основных отделов водорослей: диатомовые, зелёные, сине-зелёные, золотистые, эвгленовые, пирофитовые, для каждого из которых оценен процентный вклад в общую численность фитопланктона.

В рядах ежемесячных наблюдений за фитопланктоном в Можайском водохранилище на каждой из станций мониторинга выделены расчетные зимние периоды с начала формирования ледовых явлений в водной толще до момента вскрытия ледостава – с ноября по апрель (включительно). Затем для каждого зимнего периода были получены средние значения в поверхностном и придонном горизонтах: общей численности фитопланктона, численности водорослей по преобладающим отделам и их процентный вклад.

Для выявления многолетних трендов в зимней динамике фитопланктона применялся распространенный в экологии статистический метод Тейла-Сена (Sen Slope), широко используемый для оценки нелинейных трендов [2]. Расчеты проводились в среде R при помощи пакета *repair*.

### ***Результаты и обсуждение***

В многолетней динамике осредненных за зимний период значений обнаруживается тенденция к последовательному увеличению общей численности фитопланктона в подледном слое воды за последние 15 лет. При этом отмечается значительная межгодовая вариабельность, так, например, максимальное значение общей численности фитопланктонного сообщества в

поверхностном слое за рассматриваемый период наблюдалось в 2016 г. – 3216,3 экз./л, а наименьшее значение в 2018 г. – 120 экз./л.

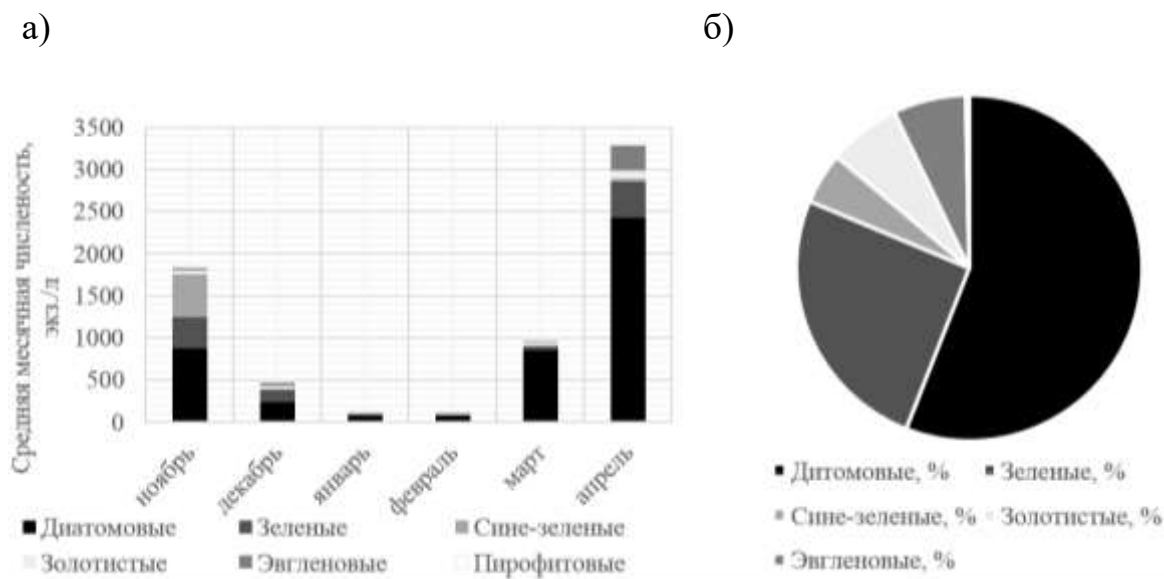


Рис. 1. Изменения численности фитопланктона в течение периода ледостава в подледном слое Можайского водохранилища (а) и вклад различных отделов в общую численность (б) на станции Красновидово в среднемноголетнем разрезе за зимний период 2003-2018 гг.

Максимальная численность фитопланктона в центральном районе водохранилища отмечается перед освобождением водоема ото льда в апреле, а минимальная – в январе-феврале (рис. 1а). Вероятно, данный факт обуславливается тем, что в стратифицированных водоемах поступающие талые воды с более высокими концентрациями питательных веществ в сочетании с нарастанием конвективного перемешивания способствуют ускорению роста водорослей в период весеннего вскрытия льда, когда улучшаются условия освещенности водной толщи [4].

Доминирующим отделом в поверхностном слое Можайского водохранилища зимой являются диатомовые водоросли. Доля диатомовых от общей численности фитопланктонного сообщества составляет в среднем 56 %, что связано с холодолюбивостью данных гидробионтов и их устойчивостью к низким температурам воды. На втором месте по степени значимости в формировании фитопланктонного сообщества в зимний период располагается отдел зеленых водорослей, составляющий в среднем 25%, далее эвгленовые и золотистые – 7%, сине-зеленые термофильные водоросли – 5%, а также пирофитовые – менее 1% (рис. 1б). Результаты сравнения характеристик общей численности фитопланктона (N, экз./л) и количества диатомовых водорослей за временной промежуток 2003-2018 гг. показали статистически значимую связь (коэффициент корреляции  $R = 0,95$  при длине ряда  $n = 80$ ), что подтверждает их решающую роль в формировании биомассы.

Статистическая оценка вариативности средней за зимний период численности фитопланктона, а также среднемесячной численности фитопланктона для каждого из зимних месяцев за рассматриваемый период

2003-2018 гг. в поверхностном слое Можайского водохранилища на станции Красновидово показала, что наибольшей степенью межгодовой изменчивости характеризуется отдел сине-зеленых водорослей ( $C_v = 2,32$ ), что достигается за счет крайне высокой вариабельностью среднемесячных значений в ноябре ( $C_v = 4,44$ ), связанных с более длительной вегетацией цианобактерий в осенний период. Наименьшей степенью изменчивостью по отношению к средней за многолетний период численности фитопланктона зимой характеризуется отдел зеленых водорослей ( $C_v = 0,58$ ), который, однако, характеризуется очень высокой вариабельностью весной (в апреле  $C_v$  достигает 7,56).

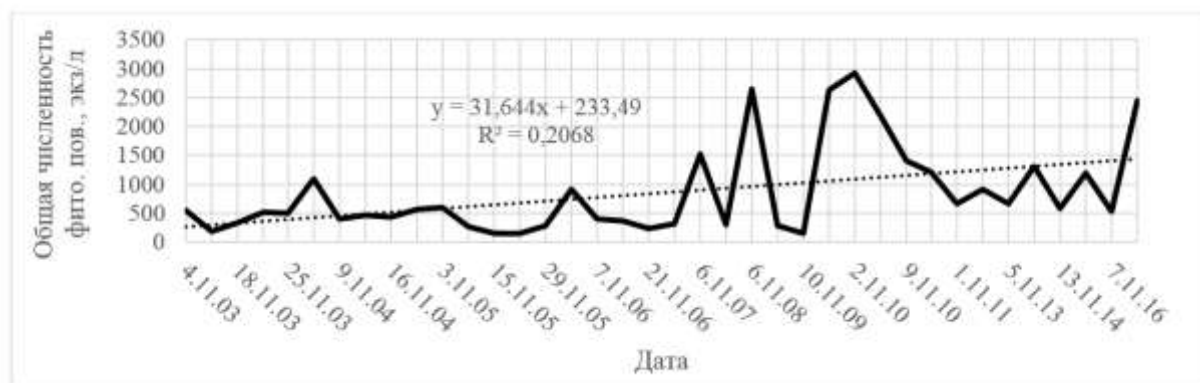


Рис. 2. Изменения общей численности фитопланктона в подледном слое приплотинного района Можайского водохранилища, ноябрь 2003-2018 гг.

Использование метода Тейла-Сена показало отсутствие статистически значимых трендов динамики: общей численности фитопланктона и диатомовых водорослей, как доминирующего отдела фитопланктонного сообщества, в поверхностном слое центрального района водохранилища за рассматриваемый период 2003-2018 гг. При этом был выявлен статистически значимый тренд в многолетней динамике общей численности фитопланктона в подледном слое в приплотинном районе в ноябре: коэффициент корреляции  $R = 0,5$  при длине ряда  $n = 38$  (рис.2), что связано с более поздним установлением ледостава в этой части водохранилища ввиду большей глубины и, следовательно, более длительного выхолаживания водной толщи.

### **Выводы**

В современный период в условиях ледостава в поверхностном слое воды Можайского водохранилища доминирующим отделом фитопланктонного сообщества являются диатомовые водоросли. При этом в осенний период в структуре водорослей обнаруживается значительный вклад цианобактерий в общую численность, а в весенний период – зеленых и золотистых водорослей.

Наблюдающиеся климатические изменения за последние 15 лет уже привели к статистически значимому росту численности фитопланктона в наиболее глубоководной части водохранилища, в то время как в более мелководных частях водоема таких изменений обнаружено не было. При этом увеличение длины ряда наблюдений может помочь обнаружить больше

закономерностей, что в сочетании с факторным анализом позволит лучше понять механизмы происходящих зимних изменений.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Москвы в рамках научного проекта № 21-35-70005. Анализ многолетних трендов выполнен в рамках госбюджетной темы кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова.*

### Библиографический список

1. Ерина О.Н., Пуклаков В.В., Соколов Д.И., Гончаров А.В. Подледное цветение фитопланктона в Можайском водохранилище // Вестник биотехнологии. 2019. Т. 15. С. 49-54.
2. Gocic M., Trajkovic S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia // Global and Planetary Change. 2013. Vol. 100. P. 172–182.
3. Nöges P, Adrian PR. et al. The Impact of Variations in the Climate on Seasonal Dynamics of Phytoplankton. // The Impact of Climate Change on European Lakes. 2010. P. 253-274.
4. Pettersson K., Grust K., Weyhenmeyer G., Blenckner T. Seasonality of chlorophyll and nutrients in Lake Erken – effects of weather conditions // Hydrobiologia. 2003. Vol. 506–509. P. 75–81.
5. Prowse T. D., Stephenson R. L. The relationship between winter lake cover, radiation receipts and the oxygen deficit in temperate lakes // Atmos. Ocean. 1986. Vol. 24. P. 386–403.
6. Straile D. Meteorological forcing of plankton dynamics in a large and deep continental European lake // Oecologia. 2000. Vol. 122. P. 44–50.

УДК 597(551.5)

П.Б. Михеев<sup>1,2</sup>, О.И. Михеева<sup>3</sup>, С.С. Ваганов<sup>1</sup>, А.Ю. Пузик<sup>1</sup>, М.А. Бакланов<sup>1</sup>  
[pmikheev@yandex.ru](mailto:pmikheev@yandex.ru)

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Хабаровский филиал ВНИРО, г. Хабаровск, Россия

<sup>3</sup>Пермский филиал ВНИРО, г. Пермь, Россия

### ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И РОСТ РЫБ В ВОДОСБОРЕ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Влияние климатических факторов на пространственное распределение и рост рыб в водосборе Камского водохранилища рассмотрено на примере европейского хариуса *Thymallus thymallus* Linnaeus, 1758 р. Вишеры – одного из крупнейших притоков Камского водохранилища. Материалы были собраны в верхнем течении реки в летний период 2020 г. и были сопоставлены с материалами 2014 г. Была выявлена существенная разница в

пространственном распределении хариуса в пределах обследованного участка в летний период 2020 и 2014 гг. Установлено увеличение темпов роста, а также снижение возраста полового созревания хариуса в 2020 г.

*Ключевые слова:* климат, температура, рыбы, пространственное распределение, рост, созревание, Камское водохранилище.

P.B. Mikheev <sup>1, 2</sup>, O.I. Mikheeva <sup>3</sup>, A.G. Melnikova <sup>3</sup>, S.S. Vaganov <sup>1</sup>, A.Yu. Puzik <sup>1</sup>,  
M.A. Baklanov <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Khabarovsk Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and  
Oceanography, Khabarovsk, Russia

<sup>3</sup>Perm Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and  
Oceanography, Perm, Russia

## CLIMATE EFFECT ON THE SPATIAL DISTRIBUTION AND GROWTH OF FISH IN THE KAMA RESERVOIR CATCHMENT

An analysis of the effect of climatic factors on the spatial distribution and growth of fish in the catchment of the Kama reservoir was carried out using the European grayling *Thymallus thymallus* Linnaeus, 1758 of the Vishera River as a model. Vishera River is one of the largest tributaries of the Kama reservoir. The materials were collected in the upper reaches of the river in summer 2020 and 2014. Data on the spatial distribution and growth of fish were compared. There was a significant difference in the spatial distribution of grayling within the surveyed area in the summer period of 2020 and 2014. An increase in growth rates, as well as a decrease in maturation age of grayling in 2020 were established.

*Keywords:* climate, temperature, fish, spatial distribution, growth, Kama reservoir.

### **Введение**

Климат является одним из ключевых факторов, определяющих биологию и пространственное распределение рыб [5]. Холодолобивые лососевидные рыбы относятся к одним из элементов ихтиофауны бореальных экосистем наиболее чувствительных к температурному режиму среды обитания [6]. Нами было рассмотрено влияние климатических факторов на пространственное распределение и рост рыб на примере европейского хариуса *Thymallus thymallus* Linnaeus, 1758 р. Вишеры – одного из крупнейших притоков Камского водохранилища. Материалы были собраны в верхнем течении реки в летний период 2020 и 2014 гг., которые характеризовались контрастными климатическими условиями. Летний период 2020 г. был теплее нормы на 2–3°C, тогда как летом 2014 г. средняя температура воздуха была на 3–4°C ниже климатической нормы. В качестве рабочей гипотезы был принят эффект климатических флуктуаций последних лет на биологию и пространственное распределение хариуса в период летнего нагула. Для теста гипотезы было проведено сопоставление данных о пространственном распределении, росте и возрасте полового созревания рыб.

### **Материалы и методы**

Материалы были собраны в верхнем течении р. Вишеры в районах впадения ее притоков – рр. Муравей, Мойвы и Лыпы (рис. 1).



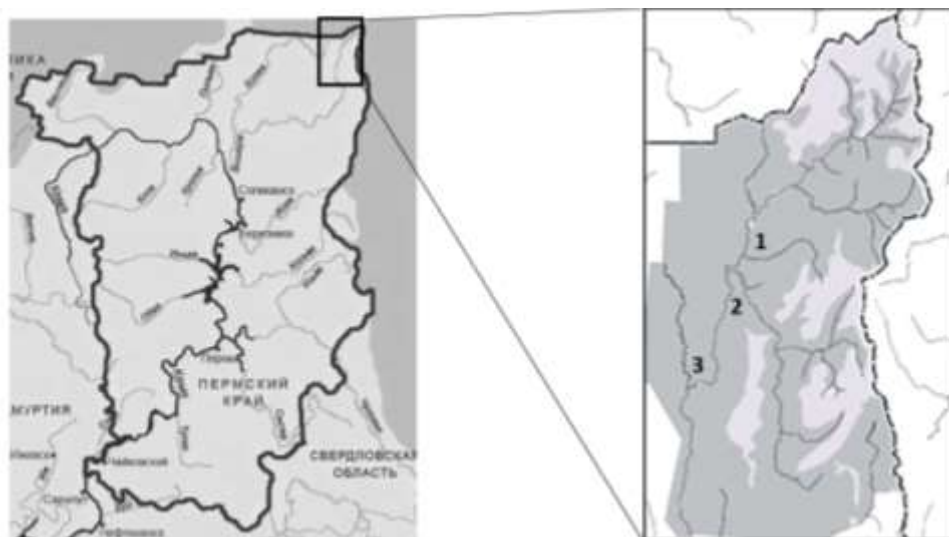


Рис. 1. Карта района работ с обозначением мест впадения в р. Вишеру рр. Муравей (1), Мойвы (2) и Лыпы (3)

Полный биологический анализ рыб проводили в соответствии с методическими рекомендациями И. Ф. Правдина [4]. Измерения длины хариусов, в том числе отпущенных в естественную среду обитания, проводились от вершины рыла до конца средних лучей хвостового плавника (длина по Смитту или *FL* “fork length”). При сборе материала особей хариуса отпускали после измерения длины и визуального осмотра, если состояние рыб позволяло это сделать. Если состояние рыбы не позволяло провести ее возврат в естественную среду обитания, такие особи использовались для проведения полного биологического анализа, и экстракции отоликов для определения возраста. Суммарно было отловлено 123 экз. хариуса. Из общего числа отловленных рыб для проведения полного биологического анализа, и экстракции отоликов были использованы 17 рыб из р. Вишеры в районе устья р. Муравей, 22 особи из р. Вишера в районе устья р. Мойвы и 13 рыб из р. Вишера на расстоянии 10 км ниже устья р. Мойвы. Данные о линейных промерах особей, возвращенных в естественную среду обитания, были использованы для анализа динамики размерного состава хариуса р. Вишеры. Во время полевых работ проводились измерения температуры воды. Для описания межгодовой динамики климатических факторов были использованы данные по температуре воздуха в июле 2011–2020 гг. по метеопосту г. Красновишерска.

### ***Результаты и обсуждение***

Биологические характеристики хариуса европейского на участке р. Вишеры от устья р. Мойвы до устья р. Лыпы отличались от данных, собранных в 2014 г. на этом участке реки. Отличием является отсутствие особей длиной свыше 35 см, хотя ранее в этом районе нами отмечались хариусы с возрастом 10+ лет и длиной 43–47 см [3] (таблица). Особи таких размеров были отловлены нами выше по течению р. Вишеры близ устья р. Муравей, где, к сожалению, ранее нами обследования не проводились. В качестве объяснения может быть выдвинута рабочая гипотеза эффекта климатической аномалии 2020 г., когда на



протяжении июля на территории Пермского края воздух ежедневно прогревался до температуры 30–35°C. Следствием этого мог явиться наблюдаемый прогрев температуры воды на участке р. Вишеры ниже р. Мойвы до 15°C. Вполне вероятно, что в условиях чрезмерного прогрева речной воды могло иметь место смещение старшевозрастной части стада хариуса в районы выхода грунтовых вод, расположенных выше по течению между рр. Бобровая и Муравей. В этом районе происходит значительная по объему разгрузка грунтовых вод субаквальных карстовых источников с температурой воды 4–6°C [1], что приводит к снижению температуры воды выше р. Мойвы до 11,1°C, и как следствие более благоприятному для хариуса термическому режиму. В летний период 2014 г. на северо-востоке Пермского края наблюдались крайне низкие температуры (рис. 2). Температура воды на участке р. Вишеры ниже р. Мойвы была равна 10,8°C, что могло соответствующим образом отразиться на пространственном распределении хариуса.

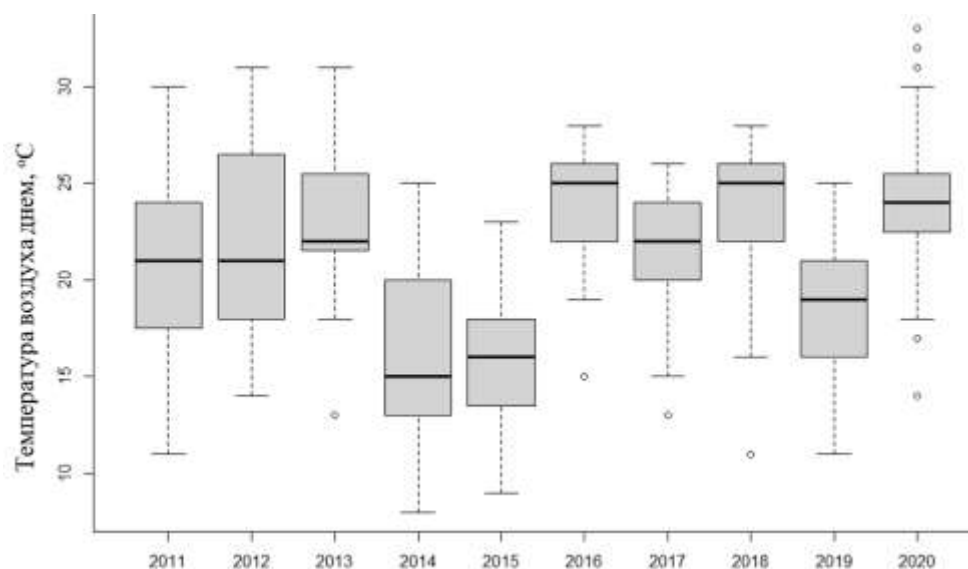


Рис. 2. Дневная температура воздуха в июле 2011–2020 гг.  
по данным метеорологических наблюдений в г. Красновишерске

**Размерный состав выборки хариуса европейского из р. Вишера между рр. Мойва и Лыпя по данным контрольных обловов крючковыми снастями в 2014 и 2020 гг.**  
Данные для каждого размерного класса представлены в процентах от общего числа особей в выборке

Год	Размерный класс, мм													Число экз.
	160-179	180-199	200-219	220-239	240-259	260-279	280-299	300-319	320-339	340-359	360-379	380-399	420-439	
2020	5.1	9.0	9.0	19.2	5.1	14.1	24.4	11.5	1.3	1.3				123
2014	5.3	10.9	22.7	19.5	14.3	14.6	6.9	2.5	0.9	0.9	0.3	0.9	0.3	383

Также были отмечены отличия в размерном составе половозрелых рыб. В 2020 г. средняя длина взрослых особей составила 270 мм с пределами варьирования от 215 до 318 мм. В 2014 г. средняя длина половозрелых хариусов

на этом участке р. Вишеры была равна 265 мм (lim 196-470 мм). Выявленные отличия могут свидетельствовать об увеличении темпов роста Вишерского хариуса, что подтверждается результатами определения возраста проанализированных особей (рис. 3, 4).

Увеличение темпов роста хариуса проявляется не только в разнице в размерах одновозрастных рыб, но и в изменениях возраста массового полового созревания. Так, среди впервые созревающих самцов с третьей стадией зрелости гонад в 2020 г. были отмечены особи возраста 3+, что не было отмечено в 2014 г. Кроме того, по данным Е.А. Зиновьева [2], в 1994-1998 гг. в этом участке р. Вишеры хариусы начинали созревать в возрасте 4+ - 5+. Все особи возраста 3+ обследованные автором были неполовозрелыми.

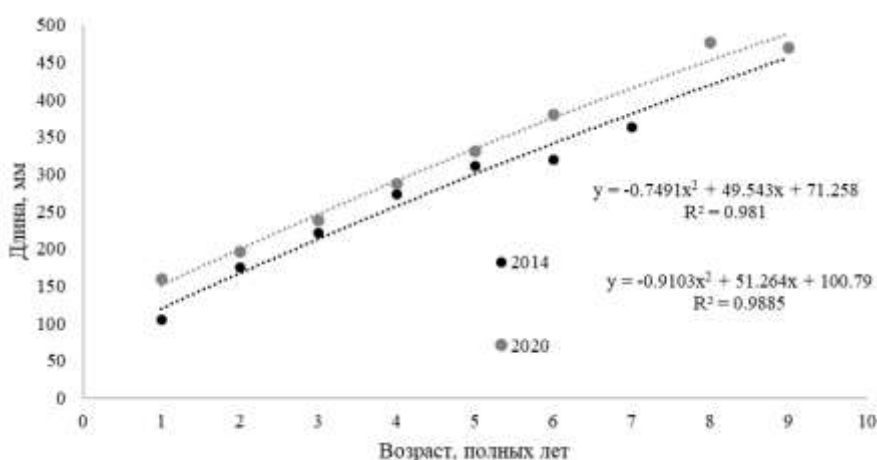


Рис. 3. Зависимость длины тела от возраста особей хариуса европейского р. Вишеры по результатам исследований 2014 и 2020 гг. Приводятся средние значения размеров рыб в возрастных группах. Данные аппроксимированы уравнением полиномиальной функции

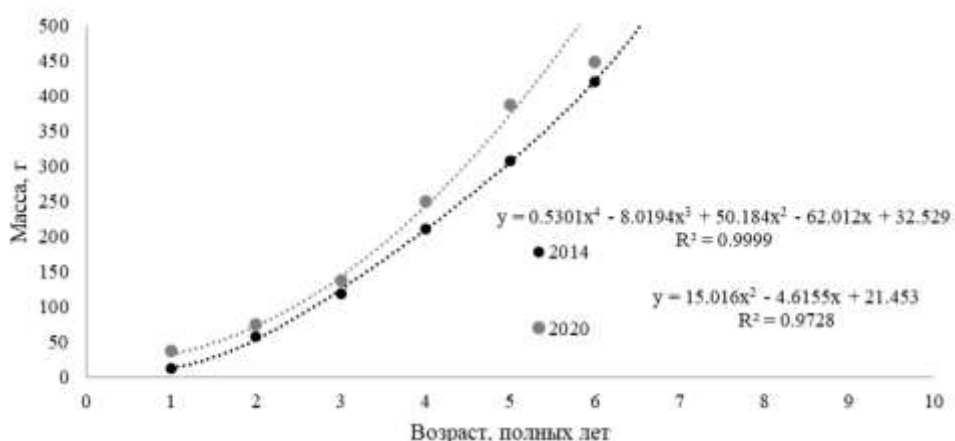


Рис. 4. Зависимость массы тела от возраста особей хариуса европейского р. Вишеры по результатам исследований 2014 и 2020 гг. Приводятся средние значения массы рыб в возрастных группах. Данные аппроксимированы уравнением полиномиальной функции

Наблюдаемые отличия в темпах роста хариуса могут быть связаны с особенностями нагула в предыдущие наблюдениям годы. Летние сезоны 2013 и

2019 гг., предшествующие сбору материалов, характеризовались температурными аномалиями противоположными, наблюдаемыми в 2014 и 2020 гг. (рис. 2). Лето 2013 г. было теплым, тогда как летний сезон 2019 г. характеризовался обильными осадками и температурами воздуха ниже климатической нормы. Вполне возможно, что условия нагула 2019 г. были более благоприятными для хариуса, что явилось первопричиной наблюдаемых отличий.

Для подтверждения предполагаемого эффекта климатических флуктуаций на биологию и поведение европейского хариуса необходима организация регулярных мониторинговых наблюдений.

### Библиографический список

1. Ваганов С.С., Блинов С.М. Влияние разгрузки подземных вод на формирование химического состава воды р. Вишеры // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2020. Вып. 3. С. 251–257.

2. Зиновьев Е.А. Экология хариусов Пермского Прикамья. Пермь, 2012. 444 с.

3. Михеев П.Б., Петренко Н.Г., Михеева О.И., Семенов В.В. Предварительные результаты оценки структуры запасов, распределения и эксплуатации европейского хариуса *Thymallus thymallus* в верхнем течении р.Вишера в летний период // Труды заповедника «Вишерский» за 2011-2014 гг. Пермь. 2015. С. 109-123.

4. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть. 1966. 375 с.

5. Gebrekiros S.T. Factors Affecting Stream Fish Community Composition and Habitat Suitability // Journal of Aquaculture & Marine Biology. 2016. 4(2): 00076. DOI: 10.15406/jamb.2016.04.00076.

6. Jonsson B. and Jonsson N. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow // Journal of Fish Biology. 2009. 75: 2381-2447. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02380.x>.

В.Ф. Мухутдинов, [muhutdinov1@rambler.ru](mailto:muhutdinov1@rambler.ru)

*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования  
и охраны водных ресурсов, г.Екатеринбург, Россия*

## **ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА А, ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА И КАЧЕСТВО ВОДЫ ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЛЕТНЮЮ МЕЖЕНЬ 2019 ГОДА**

В летнюю межень 2019 г. на Павловском водохранилище произведена вертикальная съемка концентрации Хл *a* с помощью погружного флуориметра. В условиях нестабильного гидрологического режима и продолжительной прохладной погоды в общей сумме Хл *a* основной вклад (95–99 %) приходился на хлорофиллы *a* отделов зеленых и диатомовых водорослей. Анализ связей между суммарным Хл<sub>а</sub> и факторами среды: прозрачностью, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup> и Р<sub>общ</sub>, выявил высокие уровни корреляций. Трофический статус снижался от верховья к плотине: от сильно эвтрофного до олиготрофного, с соответствующим повышением качества вод от «загрязненных до очень чистых», с классами – от IV до I.

*Ключевые слова:* водохранилище, летняя межень, хлорофилл *a* (Хл *a*), фитопланктон, вертикальное распределение Хл *a*, трофический статус, качество воды.

V.F. Muhutdinov, [muhutdinov1@rambler.ru](mailto:muhutdinov1@rambler.ru)

*Russian Research Institute for the Integrated Use and Protection of Water Resources,  
Ekaterinburg, Russia*

## **VERTICAL DISTRIBUTION OF CHLOROPHYLL A, ASSESSMENT OF TROPHICAL STATUS AND WATER QUALITY OF PAVLOVSK RESERVOIR IN SUMMER LOW-WATER PERIOD OF 2019**

In the summer low-water period of 2019, a vertical survey of the Chl *a* concentration was carried out at the Pavlovsk reservoir using a submersible fluorometer. Under the conditions of an unstable hydrological regime and prolonged cool weather, the main contribution (95–99%) to the total amount of Chl *a* was accounted for by chlorophylls in the sections of green and diatoms. Analysis of the correlations between the total Chl *a* and environmental factors: transparency, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup> and P<sub>tot</sub>, revealed high levels of connections. The trophic status decreased from the upper reaches to the dam: from highly eutrophic to oligotrophic, with a corresponding increase in the category of water quality from "polluted to very clean", with quality classes from IV to I.

*Keywords:* reservoir, summer low-water period, chlorophyll *a* (Chl *a*), phytoplankton, vertical distribution of Chl *a*, trophic status, water quality.

### ***Введение***

При исследовании водных экосистем широко используется показатель содержания основного пигмента зеленых растений – хлорофилла *a* (Хл *a*), который считается универсальным эколого-физиологическим маркером степени развития, распространения и фотосинтетической активности фитопланктона. Содержание Хл *a* положено в основу шкал, разработанных для оценки

трофического статуса водоемов и качества воды [1; 2; 3; 4]. Растительные пигменты Павловского водохранилища изучены недостаточно.

Цель настоящей работы – изучение содержания и вертикального распределения Хл *a* новым методом, который дает сведения о фактическом распределении фитопланктона в толще; на основе полученной информации дать оценку трофического статуса и качества воды Павловского водохранилища.

### **Материалы и методы исследования**

Материал собран в июле 2019 г. на Павловском водохранилище Республики Башкортостан.

Измерение концентрации Хл *a* проводили флуоресцентным методом с помощью зонда «FluoroProbe» (производство «Vbe moldaenke», Германия; диапазоны Хл *a* от 0 до 200 мкг/л, разрешение 0,01 мкг/л) на шести поперечных створах, соответственно, на 4-х литоральных и 10 пелагических станциях (рис.1).



Рис. 1. Схема р.Уфы и Павловского водохранилища, створы отбора проб в июле 2019 г.

В ходе зондирования в режиме реального времени с интервалом 5 секунд производилось измерение флуоресценции водорослевых пигментов на длине волны ~680 нм при возбуждении светом с длинами волн 470, 525, 570, 590 и 610 нм и получали результаты вертикального распределения Хл *a* у 4-х основных отделов водорослей, объединенных единым набором фотосинтетических пигментов: зеленые +эвгленовые, синезеленые, диатомовые + динофитовые, криптофитовые. Для каждой станции наблюдения за результат измерений принимали среднее значение показателя концентрации Хл *a* в столбе воды.

Оценка трофического статуса и качества воды дана по шестибальной шкале, согласно, С.Е.Сиротского [4].

Время исследований верхнего бьефа совпало с форсированным сбросом водных масс через плотину, что нарушило картину естественного распределения фитопланктона. По этой причине анализу ситуации на створе №6 уделено меньше внимания.

Павловское водохранилище создано в 1961 гг. на р. Уфе и относится к бассейну р. Камы, имеет долинный тип, протянулось с Ю-З на С-В на 150 км, средняя ширина – 770 м, наибольшая – 1750 м. Глубина изменяется от 25–35 м в приплотинной части и до 4–7 м в верховьях. Средняя глубина – 12 м. Годовая амплитуда колебания уровня воды – 11 м. С водосбора в водоем поступают промышленные, сельскохозяйственные и бытовые стоки Челябинской, Свердловской областей, Пермского края и Республики Башкортостан. Водохранилище является резервным источником водоснабжения для г. Уфы.

В период летней межени гидрологический режим был не стабилен: в верховье наблюдался слабый подъем уровня воды, а из верхнего бьефа производился сброс через плотину. Состояние погоды изменялось от переменного облачного до солнечной. Среднесуточная температура воздуха для данного периода была не высокая – 21,1°C. Температура воды у поверхности изменялась от 17,1 до 21,5°C. На всех пелагических и литоральных станциях наблюдалась прямая термическая стратификация. Прозрачность воды ( $S$ , м) на русловых станциях, как правило, была выше, чем на прибрежных и находилась в диапазоне – 0,7–6,0 м, возрастая от верховья к плотине.  $N_{\text{общ}}$  в среднем составляло 0,5 мг/дм<sup>3</sup>,  $P_{\text{общ}}$  – 0,089 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно. Максимальные концентрации  $P_{\text{общ}}$  выявлены в устьях впадающих рр. Байки и Юрюзань. Основными источниками поступления биогенных элементов являются сельскохозяйственные, коммунально-бытовые стоки и затопленная древесина.

**Анализ результатов.** Съемка вертикального распределения  $Xл\ a$  выявила основной вклад водорослей, среди которых представители зеленых и диатомовых господствовали (95–99 %) по всему водохранилищу (таблица).

**Результаты вертикального зондирования  $Xл\ a$  в воде Павловского водохранилища в июле 2019 г. (в числителе – разброс значений по глубине, в знаменателе – среднее в столбе воды, коэффициенты вариации среднего,  $Kv\ \%$ )**

Створ/станция; показатели	Хлорофилл $a$ , мкг/л					$Kv(\%)$ $Xл\ 2S^*$
	$Xл\ з^*$	$Xл\ с-з^*$	$Xл\ д^*$	$Xл\ к^*$	$Xл\ общ^*$	
I/1. д. Старо- муллакаево, правый берег	<u>11,5-17,6</u> 13,4(19)	<u>0</u> 0	<u>0-3,7</u> 1,9(64)	<u>0</u> 0	<u>13,0-18,3</u> 15,3±0,5	11
II/2. п/Караидель, русло	<u>4,7-10,6</u> 7,4(19)	<u>0</u> 0	<u>3,6-11,0</u> 7(37)	<u>0,2-0,94</u> 0,03	<u>9,9-19,5</u> 14,4±0,5	12
III/3. залив Байки, левый берег	<u>3,5-10,6</u> 6,9(26)	<u>0-0,01</u> 0,0003	<u>5,1-9,9</u> 8,1(20)	<u>0-0,1</u> 0,002	<u>0,11-18,6</u> 15±0,5	20
III/4. залив Байки, русло	<u>0-12,3</u> 6,04(54)	<u>0</u> 0	<u>1,96-12,9</u> 7,3(43)	<u>0-0,54</u> 0,01	<u>0,54-22,3</u> 13,3±0,7	26

Створ/станция; показатели	Хлорофилл <i>a</i> , мкг/л					
	<i>Хл з*</i>	<i>Хл с-з*</i>	<i>Хл д*</i>	<i>Хл к*</i>	<i>Хл общ*</i>	<i>К в(%)</i> <i>Хл 2S*</i>
III/5. залив Байки, правый берег	<u>0-8,9</u> 5,5(35)	<u>0-0,5</u> 0,01	<u>0-15,8</u> 10,8(33)	<u>0</u> 0	<u>0,5-23,8</u> 16,4±0,8	31
IV/6. Устье р.Юрюзань, левый берег	<u>0-8,3</u> 6,5(31)	<u>0-0,37</u> 0,04	<u>0,17-8,0</u> 6,3(28)	<u>0-0,6</u> 0,1	<u>0,2-15,6</u> 13±0,7	30
IV/7. Устье р.Юрюзань, русло	<u>0-9,2</u> 7(21)	<u>0-0,13</u> 0,004	<u>0-8,6</u> 4,6(56)	<u>0-1,1</u> 0,11	<u>0,52-16,0</u> 11,7±0,5	30
IV/8. Устье р.Юрюзань, прав. берег	<u>0-10,1</u> 8,6(25)	<u>0-0,4</u> 0,11	<u>0-6,5</u> 5(29)	<u>0-1,5</u> 0,5	<u>0-15,8</u> 14,3±0,7	24
V/9. ФОК Звездный, левый берег	<u>0-3,0</u> 1(93)	<u>0</u> 0	<u>0,45-4,8</u> 3(63)	<u>0</u> 0	<u>0,5-7,0</u> 4±0,3	13
V/10. ФОК Звездный, русло	<u>0-2,5</u> 0,6(163)	<u>0</u> 0	<u>0,3-6,5</u> 2,6(84)	<u>0-0,16</u> 0,002	<u>0,31-8,6</u> 3,2±0,3	55
V/11. ФОК Звездный, правый берег	<u>0-4,0</u> 2(55)	<u>0-0,07</u> 0,002	<u>0-5,7</u> 4,3(31)	<u>0</u> 0	<u>0,01-8,8</u> 6,2±0,3	28

\* *Хлз* – хлорофилл *a* зеленых, *Хлс-з* – хлорофилл *a* цианобактерий, *Хл д* – хлорофилл *a* диатомовых, *Хл к* – хлорофилла *a* криптофитовых водорослей; *Хл общ* – общий хлорофилла *a*; *К в(%) Хл 2S* – общий хлорофилл *a* эвфотного слоя

При этом, на створах I, II и IV доминировали зеленые водоросли, а на створах III, V и VI – диатомовые. Хл *a* цианобактерий и криптофитовых фиксировался не на всех станциях и в очень малых концентрациях.

Распределение хлорофиллов *a* в столбе воды у разных отделов водорослей значительно колебалось: коэффициент вариации Хл *a* зеленых варьировал в пределах от 19 до 163 %, диатомовых – от 20 до 84 %. В верховьях и устьях притоков Хл *a* зеленых и диатомовых обнаруживался до дна (10 м), а в глубоководной нижней части водохранилища Хл *a* зеленых ограничивался глубиной двойной прозрачности по диску Секки – 2S (ст. 9, 10), а Хл *a* диатомовых присутствовал во всей толще. Корреляционный анализ показал более высокий уровень зависимости пигмента зеленых водорослей от прозрачности воды –  $r=-0.92$ , по сравнению с диатомовыми, где связь была слабее –  $r=-0.62$ , из чего следует, что диатомовые из-за специфики набора дополнительных пигментов могут существовать в условиях слабого освещения.

Размах колебаний общего Хл *a* по вертикали в водохранилище варьировал в пределах 0,1–23,8 мкг/л; на мелководьях высокие концентрации достигали дна, либо глубины 1–1,5S, на глубоководных станциях – до 1–2S. Далее, с увеличением глубины происходило плавное, а иногда – резкое снижение, либо полное исчезновение пигмента. Коэффициент вариации общего Хл *a*, рассчитанный для эвфотного слоя (2S) водохранилища, изменялся в более узких

пределах – от 11 до 55 %, чем во всей толще. Среднее содержание общего Хл *a* в столбе воды по водохранилищу колебалось в пределах от 0,27 мкг/л до 16,4 мкг/л, снижаясь от верховья к плотине. Анализ корреляций между суммарным Хл *a* и факторами среды: прозрачностью,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$  и  $\text{P}_{\text{общ}}$ , выявил высокие уровни связей:  $r=-0.91$ ,  $r=-0.82$ ,  $r=0.86$ ,  $r=0.79$ , соответственно. Из этого следует, что прозрачность и азот нитратов лимитировали степень развития фитопланктона. Минеральный и общий фосфор присутствовали в достаточном количестве.

В ходе исследований были выявлены факторы, влиявшие на характер распределения фитопланктона по глубине. К ним следует отнести: яркое солнечное освещение, динамику водных масс. Ингибирование ярким солнечным светом отразилось на вертикальном распределении Хл *a* станций 2, 6, 7, 8 (рис. 2А, 2В).

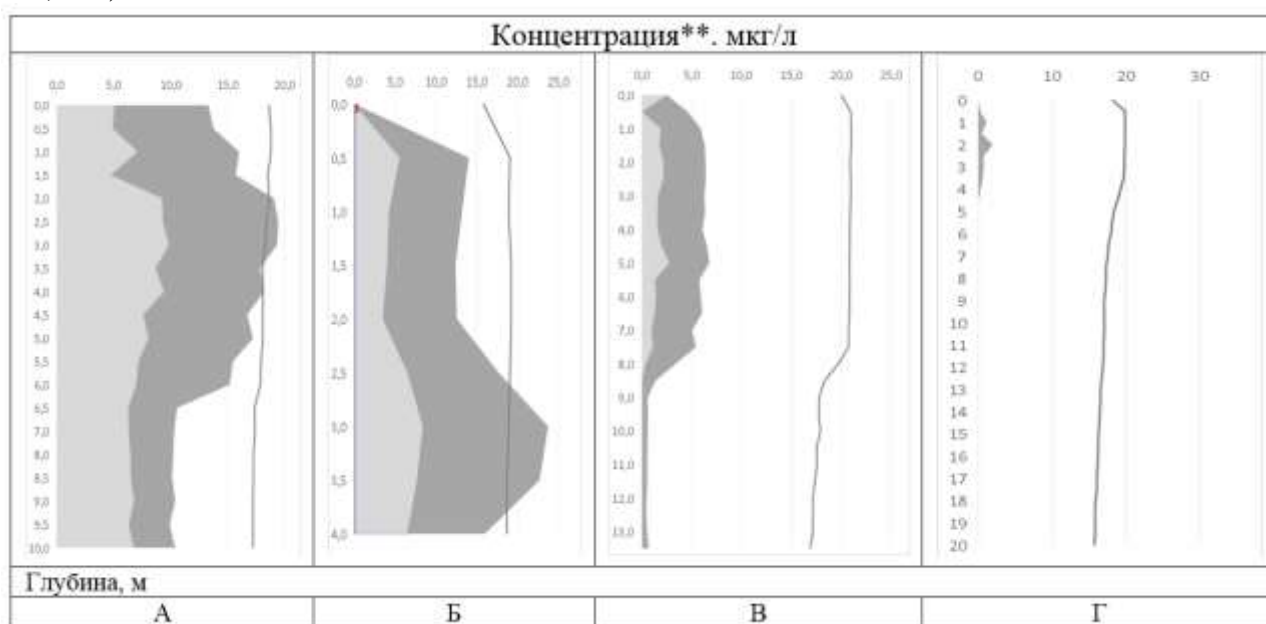


Рис. 2. Профили вертикального распределения Хл *a* на Павловском водохранилище и типы воздействия: А – русловая станция створа № 2, яркое солнечное освещение; Б – прибрежная станция залива Байки, ветро-волновое; В – левобережная станция ФОК Звездный, солнечное; Г – русловая станция верхнего бьефа, гидродинамическое.

Области серого цвета показывают распределение зеленых водорослей, темно-серого – диатомовых, кривая обозначает температуру.

\*\* – из-за высокой дискретности между точками малые концентрации Хл *a* синезеленых и криптофитовых на рисунке не отразились.

Под влиянием волнового воздействия облако фитопланктона, при этом сдвигается ниже зоны волнового воздействия, что отражено на профилях станций 3, 4 и 5 (рис. 2Б). В верхнем бьефе в результате динамического воздействия Хл *a* зеленых, диатомовых и криптофитовых водорослей, а также цианобактерий фиксировался по всему створу лишь в 3-х метровом приповерхностном слое воды в малых концентрациях (рис. 2Г).

По хлорофилльному показателю, согласно шкалы С.Е. Сиротского [4], в Павловском водохранилище выявлено плавное снижение трофического статуса



от верховья к плотине: от сильно эвтрофного водоема к мезотрофному и к олиготрофному, с соответствующим повышением качества вод от «загрязненных до очень чистых», с классами – от IV до I.

### **Выводы**

Исследование вертикального распределения Хл *a* на Павловском водохранилище в летнюю межень 2019 г. показало, что ведущую роль в создании первичной продукции и процессах самоочищения играют зеленые и диатомовые водоросли. Установлено, что: 1) глубина распространения зеленых водорослей в наибольшей степени зависит от прозрачности воды, чем диатомовых; 2) вариабельность распределения концентрации Хл *a* зеленых водорослей по глубине выше, чем диатомовых; 3) в период исследований водоросли испытывали недостаток биогенного питания в виде азота нитратов; 4) было оказано воздействие метео и гидродинамических условий на вертикальное распределение водорослей; 5) трофический статус водохранилища от верховья к плотине снижался от сильно эвтрофного до олиготрофного, а качество воды улучшалось от «загрязненных» до «очень чистых».

*Работа выполнена в рамках госзадания Федерального агентства водных ресурсов РФ.*

### **Библиографический список**

1. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во «Университетское», 1960. 329 с.
2. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. 395 с.
3. Оксюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.
4. Сиротский С.Е. Трофический статус водотоков бассейна рек Буряя, Зея, Бурейского и Зейского водохранилищ // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ. Дружининские чтения. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. Вып. 2. С. 95–99.

Л.В. Разумовский, [l.razumovskiy1960@mail.ru](mailto:l.razumovskiy1960@mail.ru)  
*Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*

## **ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА НА ПРИМЕРЕ РЫБИНСКОГО И ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ**

Работа посвящена разработке новой концепции комплексного мониторинга. Исследования проводились в двух водохранилищах: Рыбинском и Иваньковском. Новизна концепции состоит в объединении классических формы биомониторинга и палеолимнологических исследований. Был проведен сравнительный анализ структуры современных фитопланктонных комплексов и структуры диатомовых комплексов из колонок донных отложений. Это позволили получить новую информацию о долговременном развитии водохранилищ. В работе применен авторский метод графического анализа таксономических пропорций в диатомовых комплексах и фитопланктонных ассоциациях. Установлены основные сценарии их трансформации под воздействием природных и антропогенных нагрузок.

*Ключевые слова:* водохранилища, антропогенная нагрузка, фитопланктон, диатомовые комплексы.

L.V. Razumovsky, [l.razumovskiy1960@mail.ru](mailto:l.razumovskiy1960@mail.ru)  
*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

## **EVALUATION OF THE NEW CONCEPT OF INTEGRATED MONITORING EFFECTIVENESS ON THE EXAMPLE OF RYBINSKY AND IVANKOVSKY RESERVOIRS**

The work is devoted to the development of a new concept of integrated monitoring. The research was carried out in two reservoirs: Rybinsky and Ivankovsky. The novelty of the concept consists in combining the classical forms of biomonitoring and paleolimnological research. A comparative analysis of the structure of modern phytoplankton complexes and the structure of diatom complexes from the columns of bottom sediments was carried out. This allowed us to obtain new information about the long-term development of reservoirs. The author's method of graphical analysis of taxonomic proportions in diatom complexes and phytoplankton associations was applied. The main scenarios of their transformation under the influence of natural and anthropogenic loads were established.

*Keywords:* reservoirs, anthropogenic load, phytoplankton, diatom complexes.

### ***Введение***

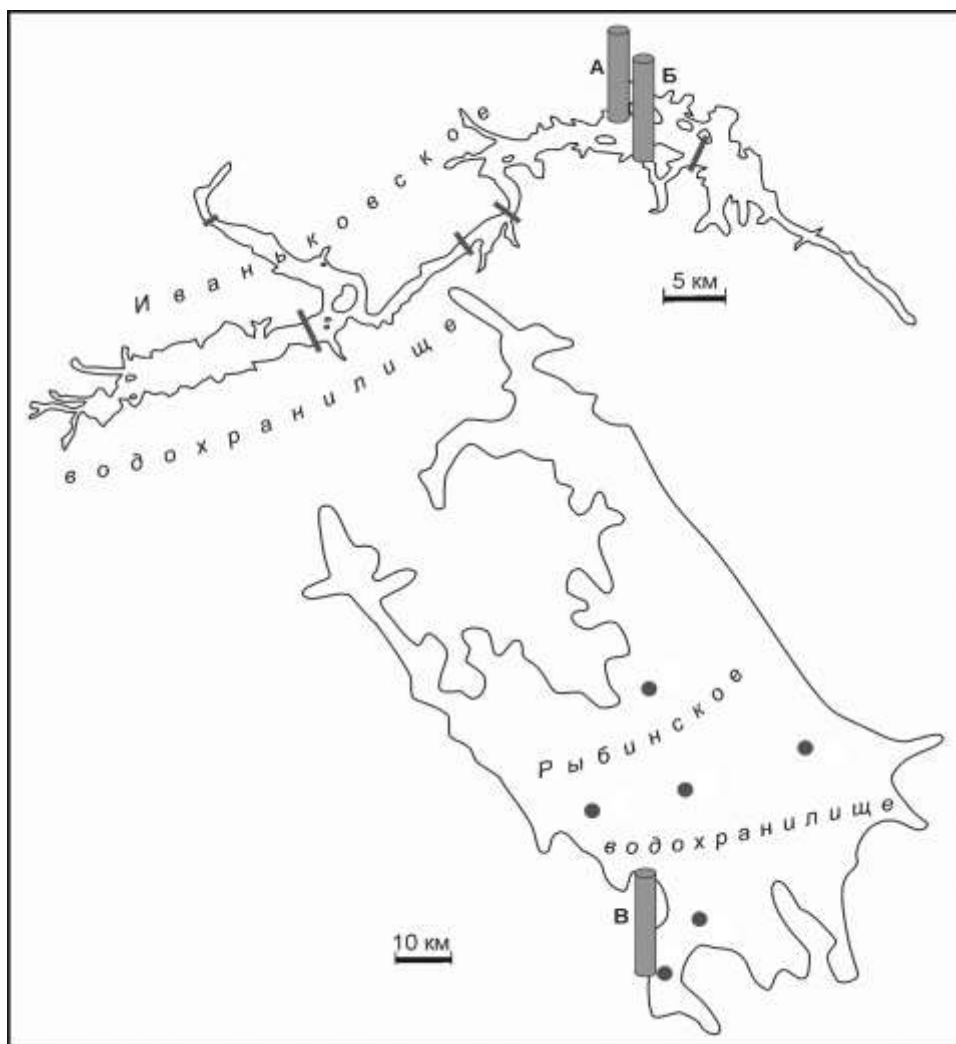
Проблема прогнозирования возможных негативных изменений в водохранилищах, является приоритетным направлением в области природопользования и оценки качества вод.

В результате комплексного мониторинга, для экосистем Иваньковского и Рыбинского водохранилищ был сформулирован новый методологический подход. Он подразумевал совмещение двух традиционных методов: анализа диатомовых комплексов из колонок донных отложений (ДО), который

применяется в палеолимнологии, и анализа фитопланктонных комплексов, который применяется при биомониторинге.

### **Материалы и методы исследования**

Структуру и объем первичного материала составили более 300 фитопланктонных проб, отобранных из Иваньковского и Рыбинского водохранилищ (2017–2019 гг.), и 97 проб на диатомовый анализ из 3 колонок ДО (рисунок).



Карта-схема Рыбинского и Иваньковского водохранилищ. Створы и пункты биомониторинга обозначены линиями и кружками. Расположение отбора колонное ДО обозначены заглавными буквами (А – Перетрусовский залив; Б – Острова; В – Коприно)

Две колонки ДО были отобраны на Иваньковском водохранилище: в районе Перетрусовского залива, и между малыми островами и западной оконечностью о. Грабиловка (далее – Острова). На акватории Рыбинского водохранилища колонка ДО была отобрана в районе Коприно (рисунок).

Отбор колонок ДО осуществлялся стратометром ударно-замыкающего типа и колонкой ГОИН. Пробы фитопланктона отбирали батометром «Руттнера», с глубины 1 м. Образцы на диатомовый анализ выделялись из ДО по традиционной методике [3], с интервалом 1 см. Обработка проб, изготовление постоянных препаратов, подсчет и идентификация створок диатомей

осуществлялись по стандартным методикам. Обработка и просмотр фитопланктонных проб так же проводилась по стандартным методикам [6].

Для предварительного анализа трансформаций таксономической структуры в фитопланктонных комплексах на акватории Рыбинского водохранилища, были привлечены опубликованные данные по многолетним наблюдениям за фитопланктоном с 2001 по 2015 г. [2; 7].

Помимо классических методов анализа фитопланктонных и диатомовых комплексов, был привлечен авторский метод графического анализа (МГА) [4].

МГА состоит в следующем: при построении графиков по оси абсцисс откладывается число идентифицированных таксонов видового и более низкого рангов (далее в тексте – таксонов), а по оси ординат – их относительная численность. Таксоны ранжируются по показателю относительной численности в сторону его уменьшения. В результате, в линейной системе координат строится исходный график или гистограмма.

Анализ полученных графиков (гистограмм) проводится в линейной и логарифмической системе размерности координат. В линейной системе координат было выделено три типа распределения таксономических пропорций, которые формируются под воздействием природных абиотических факторов.

Два первых типа, экспоненциальный и логистический, соответствуют прижизненным таксономическим пропорциям. Они объективно отражают естественную экологическую обстановку в пресноводных водоемах. Третий тип (линейный) соответствует комплексам, которые подверглись процессам переноса и переотложения [5].

В логарифмической системе координат анализируются не сами графики, а их тренды, представленные результирующими прямыми линиями. Эти линии образуют генерации определенных очертаний.

При анализе в логарифмической системе координат были выделены три основных сценария пространственно-временной трансформации таксономических пропорций или три типа генераций.

Первый сценарий подразумевает образование генерации или «пучка» результирующих линий с единым центром локализации.

Второй из выделенных сценариев трансформации так же подразумевает образование «пучка» результирующих линий. На начальном этапе трансформации это выражается в форме веерообразного «разворота» вокруг некой общей области или центра локализации. При увеличении негативного воздействия происходит фазовый переход, и дальнейшая трансформация происходит по первому сценарию.

Существует третий сценарий трансформации, который нельзя свести к двум первым – образование генерации из параллельных линий. Такое расположение результирующих линий характерно для пресноводных экосистем, где меняются гидрологические параметры самой среды: изменение уровня воды, температуры и др. [4].

### ***Анализ результатов***

За период исследования в фитопланктоне Иваньковского водохранилища было обнаружено 156 видовых таксонов одноклеточных водорослей. МГА

таксономической структуры диатомовых водорослей из фитопланктонных комплексов позволил сделать вывод, что для Иваньковского водохранилища характерно образование генераций результирующих линий по двум сценариям.

Первый сценарий соответствует модуляции результирующих линий вокруг единого центра или области локализации. Второй сценарий характеризуется образованием генераций из параллельных результирующих линий. Этапы формирования этого сценария соответствуют периодам изменения уровня режима (глубины) водохранилища, в результате сброса воды через гидросооружения.

В результате исследования ДО Иваньковского водохранилища было идентифицировано более 70 видов диатомовых водорослей. В линейной системе координат для диатомовых комплексов из колонки ДО, отобранной в Перетрусовском заливе, характерно преобладание экспоненциального типа распределения таксономических пропорций.

Для диатомовых комплексов из колонки ДО, отобранной в районе Островов, характерно преобладание логистического типа распределения таксономических пропорций, или смешанного (между логистическим и экспоненциальным типом).

Все построенные гистограммы имеют плавные, пропорциональные очертания без признаков переотложения.

При анализе в логарифмической системе координат, результирующие линии, построенные для таксономической структуры диатомовых комплексов из колонки ДО в районе Островов, образовали единую генерацию, с выраженной областью локализации.

При анализе в логарифмической системе координат, таксономической структуры диатомовых комплексов из колонки ДО в районе Перетрусовского залива, была получена более мозаичная картина – результирующие линии образовали несколько генераций, как с единым центром локализации, так и расположенные параллельно.

МГА в логарифмической системе координат выявили для таксономической структуры фитопланктона Рыбинского водохранилища все три сценария пространственно-временных трансформаций: «вращение» результирующих линий, «разворот» и их параллельное расположение. Данный результат, а также многократное «переключение» с одного сценария трансформации на другой, предположительно объясняется большим разнообразием экообстановок на акватории водохранилища [2].

В колонке ДО было идентифицировано 65 низших таксонов диатомовых водорослей. Все полученные гистограммы имеют пропорциональные очертания, преимущественно экспоненциального типа без признаков переотложения.

При анализе в логарифмической системе координат, были достоверно выделены два сценария трансформации с многократной сменой одного на другой. Результирующие линии образовали генерации, как с единым центром локализации, так и расположенные параллельно. Смена сценариев трансформации достоверно сопоставима с различными периодами

формирования донных отложений в Рыбинском водохранилище и темпами осадконакопления.

### **Выводы**

1. Разработанная концепция комплексного мониторинга позволяет получить новую информацию о долговременных трансформациях экосистем водохранилищ.

2. При помощи МГА установлены обратимые трансформации в фитопланктонных и диатомовых комплексах Иваньковского водохранилища, которые вызваны регулярным понижением уровня воды.

3. Смена сценариев трансформации таксономической структуры фитопланктонных комплексов в Рыбинском водохранилище определяется разнообразием экологических обстановок на его акватории.

*Работа выполнена в рамках Госзадания ИВП РАН тема № 0147-2019-0004, п. 4.2. и при поддержке гранта РФФИ №17-05-00673.*

### **Библиографический список**

1. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.

2. Корнева Л.Г. Соловьева В.В., Макарова О.С. Разнообразие и динамика планктонных альгоценозов водохранилищ Верхней и Средней Волги (Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское) в условиях эвтрофирования и изменения климата // Труды ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН. 2016. Вып. 76(79). Ярославль: Филигрань. С. 35-45.

3. Полякова Е.И. Диатомовый анализ. Методы палеогеографических реконструкций. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 126-160.

4. Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Доклады академии наук. Общая биология. 2009. Т. 429. № 3. С.274-277.

5. Разумовский Л.В., Разумовский В.Л., Чудаев Д.А., Гололобова М.А. Диатомовые водоросли из донных отложений озера Каракель (Центральный Кавказ) и реконструкция региональных климатических событий в позднем голоцене // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 4. С. 1-5.

6. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.

7. Современное состояние экосистемы Рыбинского водохранилища // Труды ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН. СПб: Гидрометеиздат, 1993. Вып.67(70). 254 с.

8. Renberg I. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores // Journal of Paleolimnology. 1990. V. 4. P. 87-90.

Н.А. Старцева<sup>1</sup>, Е.Л. Воденеева<sup>1,2</sup>, П.В. Кулизин<sup>1</sup>, Е.М. Шарагина<sup>1</sup>,  
А.Г. Охапкин<sup>1</sup>, [startseva@bio.unn.ru](mailto:startseva@bio.unn.ru)

<sup>1</sup> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
г. Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Нижегородский филиал «ВНИРО», г. Нижний Новгород, Россия

## **ФИТОПЛАНКТОН УНИКАЛЬНЫХ КАРСТОВЫХ ОЗЕР (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. КЛЮЧИК, БАСЕЙН ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

Рассмотрены особенности состава, развития и пространственного распределения фитопланктона небольшого высокоминерализованного карстового низкотемпературного озера (оз. Ключик или Святое Доскинское, Нижегородская обл.) с атипично высокими для лесной зоны (подзона смешанных хвойных и широколиственных лесов) величинами минерализации вод. Озеро характеризуется выраженным экотонном по гидролого-гидрохимическим показателям.

*Ключевые слова:* фитопланктон, структура альгоценозов, высокоминерализованное озеро, пространственное распределение, центрические диатомеи, экотон.

N.A. Startseva<sup>1</sup>, E.L. Vodeneeva<sup>1,2</sup>, P.V. Kulizin<sup>1</sup>, E.M. Sharagina<sup>1</sup>,  
A.G. Okhapkin<sup>1</sup> [startseva@bio.unn.ru](mailto:startseva@bio.unn.ru)

<sup>1</sup>Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod branch of the Russian Research Institute of Fisheries and  
Oceanography, Nizhny Novgorod, Russia

## **PHYTOPLANKTON OF UNIQUE KARST LAKES (BY THE EXAMPLE OF LAKE KLYUCHIK, THE BASIN OF THE CHEBOKSARY RESERVOIR)**

The features of the composition, development and spatial distribution of phytoplankton of a small highly mineralized karst low-temperature lake (Lake Klyuchik or Svyatoye Doskinskoye, Nizhny Novgorod region) with atypically high for the forest zone (subzone of mixed coniferous and broad-leaved forests) values of water salinity are considered. The lake is characterized by an expressed ecotone in terms of hydrological and hydrochemical indicators.

*Keywords:* phytoplankton, structure of algocenoses, highly mineralized lake, spatial distribution, centric diatoms, ecotone.

### ***Введение***

Бассейн Средней Волги, включающий Чебоксарское водохранилище, является зоной классического проявления карста, представленного на данной территории самыми разными формами. Образовавшиеся на местах этих провалов водоемы часто характеризуются уникальным сочетанием параметров среды, специфическим составом и структурно-функциональной организацией

развивающихся здесь гидробионтов [9]. На территории Нижегородского Поволжья к числу таких уникальных водоемов относится оз. Ключик, являющееся природно-историческим памятником природы. Целью настоящей работы стало определение состава и основных параметров ценотической структуры фитопланктона в условиях уникального сочетания факторов среды и присутствия экотонного эффекта.

### ***Материалы и методы исследования***

Озеро Ключик расположено в Павловском районе Нижегородской области (55.975452, 43.327220) в бассейне нижнего течения ручья Суринь – правого притока р. Кишмы, которая в свою очередь, является правым притоком р. Оки. Оно имеет карстовое происхождение, по морфометрическим характеристикам относится к классу малых водоемов [1]. По уровню минерализации и электропроводности озеро является солоновато-водным водоемом [2]. Его уникальность определяется источником питания (подземная река Суринь), который расположен в западной его части и разгружается в восточной на глубине 15 м [6]. Отчего западная часть озера характеризуется равномерным вертикальным распределением температуры, содержания кислорода и величины рН в течение всего года. Вода здесь окрашена в голубоватый цвет, в центральной и восточной частях – в зеленоватый. В переходной зоне – зоне экотона – (от западной части к центральной) регистрируются максимальные изменения гидрологических и гидрохимических показателей [2].

Интегральные пробы фитопланктона отбирали в июне-сентябре 2020 г. батометром Рутнера на пяти станциях, выбранных с учетом гидрохимических особенностей озера – станции 1 и 2 располагались в западной части водоема; 4 и 5 – в центральной и восточной соответственно; 3 – в переходной экотонной зоне. Параллельно со сбором альгологического материала проводились измерения основных гидрофизических показателей и отбирались пробы на гидрохимический анализ (ст. 1, 3, 5). Определение гидрохимических показателей было выполнено на базе центра коллективного пользования «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии» Научно-исследовательского института химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Методика сбора материала, подготовки его к микроскопированию, перечень руководств, использованных при идентификации видов, указаны в предыдущих публикациях [10;3]. Из параметров структуры альгоценозов рассмотрены: численность ( $N$ , млн кл./л), биомасса ( $B$ , г/м<sup>3</sup>), удельное видовое богатство ( $\alpha$ -разнообразие,  $S_p$  – число видов в пробе), индекс разнообразия Шеннона по численности ( $H_N$ , бит/экз.) и биомассе ( $H_B$ , бит/г), индекс доминирования Симпсона по численности ( $DN$ ) и биомассе ( $DB$ ), выравненность по Пielу ( $EN$  и  $EB$ ). Размерная структура альгоценозов оценивалась средним ценотическим объемом клетки в пробе ( $V_{ц}$ , мкм<sup>3</sup>×10<sup>-3</sup>,  $B/N$ ). К доминирующим отнесены виды, численность или биомасса которых составляла не менее 10% от общей величины [8]. Сходство параметров альгоценозов оценивали с помощью критерия Манна-Уитни ( $U$ -критерий). Статистическая обработка выполнена в программном пакете Statistica 8.0.



### *Анализ результатов*

В период исследований прозрачность воды в оз. Ключик изменялась от 3,4 до 6,5 м. В зоне экотона (ст. 3) значения прозрачности были меньше и определялись незначительной глубиной (до 1 м). Температура поверхностного слоя воды в западной части озера (ст. 1, 2) в период исследований составляла 7,0-8,4° С. В центральной мелководной (ст. 3, перешеек) и восточной частях озера (ст. 4, 5) – 18,3-21,6° С. Вертикальная стратификация водной толщи в озере отсутствовала. Концентрация кислорода в восточной части оз. Ключик составляла от 9,1 до 13,7 мг О<sub>2</sub>/л (% насыщения более 115 %). В зоне экотона регистрировались самые высокие значения этого показателя (9,8-14,6 мг О<sub>2</sub>/л). Западная же часть характеризовалась низким содержанием кислорода (3,7-12,5 мг О<sub>2</sub>/л; 30-57 % насыщения) в поверхностном горизонте и наличием сероводорода в воде, вероятно, обусловленном влиянием подземного потока из вклины в этой части озера. Показатель рН варьировал от нейтрально-щелочной до олигощелочной реакции среды, и как, правило, был выше в восточной хорошо прогреваемой части озера, где расположены значительные заросли высших водных растений. В гидрохимическом плане воды озера характеризовались высокой минерализацией (диапазон 1100-1274 мг/дм<sup>3</sup>), электропроводность изменялась от 1682 до 1985 мкСм/см (данные показатели были выше в западной части озера, чем в зоне экотона и в восточной части). Концентрация сульфатов в оз. Ключик была высокой (от 890 до 1100 мг/дм<sup>3</sup>) при содержании гидрокарбонатных ионов от 73 до 160 мг/дм<sup>3</sup>. В водоеме отмечены высокие концентрации фосфатов, нитратных и нитритных форм азота. По данным показателям класс качества воды оценивался как «грязный разряда весьма / предельно грязных вод» [7]. Концентрация железа в поверхностном горизонте водоема (0,05-0,10 мг/дм<sup>3</sup>) соответствовала очень низкому его содержанию в природных водах. Концентрация кремния находилась в пределах средних значений для континентальных водоемов (от 2,9 до 6,2 мг/дм<sup>3</sup>) [5]. Содержание этого элемента было значительно выше на ст. 1, где озерные воды смешиваются с водами вытекающей из вклины подземной реки. Содержание кальция составило 240-400 мг/дм<sup>3</sup>, что в несколько раз превышает концентрацию этого элемента в поверхностных водах умеренной минерализации (до 50 мг/дм<sup>3</sup>) и больше характерно для подземных вод с высоким содержанием бикарбонатов и для вод, насыщенных гипсом. Данный факт объясняется генезисом водоема.

В альгофлоре оз. Ключик было выявлено 133 видовых и внутривидовых таксонов водорослей, а также таксонов, определенных до рода, которые относились к 9 отделам [4]. В сложении общего видового богатства ведущая роль принадлежала диатомовым водорослям (Bacillariophyta), которые формировали 46% разнообразия общего списка видов. Другие систематические группы были представлены беднее: Chlorophyta (24%), Chrysophyta (11%), Cyanoprokaryota (8%); Xanthophyta, Raphidophyta, Euglenophyta, Cryptophyta и Dinophyta (каждый менее 3%). В летний сезон основу альгоценоза в западной холодноводной части водоема составляли диатомовые водоросли. Наибольшую встречаемость имели представители центрических диатомей – *Cyclotella distinguenda* и *Handmania comta*, также встречались представители родов *Melosira*, *Ulnaria*, *Navicula*,

*Pinnularia* и *Nitzschia*. Представители этого отдела формировали здесь до 97-99% суммарных значений биомассы. В группе структурообразующих видов со 100 % частотой доминирования – *C. distinguenda* – либо как основной компонент ценоза, либо в комплексе с пеннатыми диатомеями из родов *Navicula* и *Pinnularia*. Этот вид создавал от 24,4 до 74 % общей численности и от 17,5 до 80,2 % общей биомассы фитопланктона. Осенью вклад *C. distinguenda* в общие численности и биомассу составил до 96,7 и 92,5 %. Количественные показатели фитопланктона в этот сезон возрастали до значений, характерных для эвтрофно-гипертрофных вод (до 19,68 млн кл./л и 27,82 г/м<sup>3</sup> соответственно). В зоне экотона летом отмечалось снижение ценотической роли диатомей (до 55-56%) и возрастание роли фитофлагеллят (до 38% динофитовых и 15% криптоноад). По численности лидировали представители мелкоклеточных зеленых водорослей (род *Oocystis* – до 35 %) и цианобактерий (род *Aphanocapsa* – до 54 %). В начале осени лидирующее положение диатомовых восстанавливалось, что может быть связано с сезонным понижением температуры воды и интенсификацией процессов поступления вод с подземной рекой. В ценозе этой части водоема отмечалось монодоминирование *C. distinguenda* (DB=0,41), которая создавала до 63 % общей биомассы фитопланктона. Однако аномально высоких показателей обилия (биомасса до 130 г/м<sup>3</sup>) на фоне формирования олигодоминантных ценозов с преобладанием *C. distinguenda* как это было в 2017 г. [4] не наблюдалось.

Фитопланктон центральной и восточной частей озера характеризовался более пестрым составом доминирующих видов и усилением роли в его структуре фитофлагеллят (до 50-70% суммарных значений биомассы). Основными доминантами по численности здесь чаще регистрировались мелкоклеточные цианобактерии из рода *Aphanocapsa* (до 44 %) и зеленые водоросли из рода *Oocystis* (до 72%). По биомассе лидировали почти исключительно представители фитофлагеллят – виды родов *Carteria* (до 42 %), *Cryptomonas* (до 27 %), *Peridinium* (до 52%), из динофитовых также *Ceratium hirundinella* (до 22 %). Сообщество фитопланктона в тепловодной восточной зоне отличалось большей продуктивностью. Средние за сезон показатели численности и биомассы водорослей здесь были выше в 13,5 и 4,1 раз соответственно. Альгоценозы характеризовались сравнительно низким видовым разнообразием – HN и НВ находились в пределах 1,26-2,99, средней степенью выравненности (E: 0,41-0,66) и высоким доминированием (D: 0,18-0,65). В целом, рассчитанные по биомассе водорослей показатели ценотической структуры альгоценоза, формирующегося в западной холодноводной части озера, отличались более низким видовым разнообразием (НВ), высокой степенью доминирования (DB) и более высоким среднеценотическим объемом клеток (Vц). Отличия являлись статистически значимыми. Основу данного фитоценоза составляли крупноклеточные диатомеи с выраженным доминированием *C. distinguenda*. Напротив, в восточной тепловодной части в альгоценозе присутствовали разнообразные мелкоклеточные цианобактерии, хлорококковые зеленые и криптофитовые водоросли.

## **Выводы**

Таким образом, в летний сезон в западной и восточной частях озера формировались два отличных по структуре альгоценоза, существование которых определялось гидрологическими, гидрофизическими и гидрохимическими особенностями водоема. Анализ данных 2020 г. продемонстрировал достаточно схожую с прошлыми годами исследования структурную организацию фитопланктона озера (формирование уникальных диатомовых комплексов, монодоминирование, снижение в условиях низкотемпературного фона роли фитофлагеллят).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 20-04-01005\_А.*

## **Библиографический список**

1. Баканина Ф.М., Воротников В.П., Лукина Е.В., Фридман Б.И. Озёра Нижегородской области. Нижний Новгород: Изд. ВООП, 2001. 165 с.
2. Баянов Н.Г. Озеро Ключик – уникальный природный объект Нижегородского Поволжья // Тр. Гос. природ. биосфер. заповед. «Керженский». 2019. Т. 9. С. 65.
3. Воденеева Е.Л., Кулизин П.В. Водоросли Мордовского заповедника (аннотированный список видов). Флора и фауна заповедников. Москва, 2019. Вып. 134. 62 с.
4. Воденеева Е.Л., Охапкин А.Г., Генкал С.И., Кулизин П.В., Шарагина Е.М., Скамейкина К.О. Состав, структура и распределение фитопланктона высокоминерализованного карстового озера // Биол. внутр. вод, 2020. № 6. С.573–582.
5. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
6. Козлов А.В., Тарасов И.А., Дедык В.Е. Эколого-гидрохимическая характеристика акватории озера «Ключик» Павловского района Нижегородской области // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1. С. 126.
7. Оксенок О.П., Жукинский В.Н. Жукинский, Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журнал. 1993. Т. 29. № 4. С.62-76.
8. Охапкин А.Г. Видовой состав фитопланктона как показатель условий существования в водотоках разного типа // Ботан. журн. 1998. Т. 83. №9. С. 1-13.
9. Уникальные экосистемы солоновато-водных карстовых озер Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. 256 с.
10. Okhapkin A.G., Genkal S.I., Scharagina E.M., Vodeneeva E.L. Structure and dynamics of phytoplankton in the Oka river mouth at the beginning of the 21th century // Inland Water Biology. 2014. V. 7. № 4. P. 357. <https://doi.org/10.1134/S1995082914040142>.

Н.В. Холмогорова, И.А. Каргапольцева,  
[nadjaholm@mail.ru](mailto:nadjaholm@mail.ru), [larix85@mail.ru](mailto:larix85@mail.ru)

*Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия*

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИТОКОВ ИЖЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ МАКРОЗООБЕНТОСА**

Изучен видовой состав и количественные показатели макрозообентоса основных притоков Ижевского водохранилища. Проведена оценка состояния рек методами биоиндикации. Установлено значительное упрощение структуры донных сообществ в нижнем течении рек Люк и Подборенка. Река Подборенка является наиболее загрязненной из притоков Ижевского водохранилища, а значит важным источником ухудшения качества воды в нем.

*Ключевые слова:* Ижевское водохранилище, р. Люк, р. Малиновка, р. Пазелинка, р. Подборенка, р. Иж, Удмуртская Республика, макрозообентос.

N.V. Kholmogorova, I.A. Kargapol'tseva,  
[nadjaholm@mail.ru](mailto:nadjaholm@mail.ru), [larix85@mail.ru](mailto:larix85@mail.ru)

*Udmurt State University, Izhevsk, Russia*

## **ESTIMATION OF THE WATER QUALITY OF THE IZHEVSK RESERVOIR TRIBUTARIES BY MACROZOOBENTHOS INDICATORS**

The species composition and quantitative indicators of macrozoobenthos of the main tributaries of the Izhevsk reservoir were studied. The status of the rivers was assessed by bioindication methods. A significant simplification of the structure of the benthic communities in the lower reaches of the Luke and Podborenka rivers has been established. The Podborenka River is the most polluted of the tributaries of the Izhevsk reservoir, and therefore, it is an important source of the deterioration of water quality in there.

*Keywords:* Izhevsk reservoir, Luke river, Malinovka river, Pazelinka river, Podborenka river, Izh river, Udmurt Republic, macrozoobenthos.

### ***Введение***

На протяжении многих лет качество воды Ижевского водохранилища вызывает опасения и тревогу экологов, чиновников и жителей города. За период с 2003 года, когда впервые было зафиксировано бурное «цветение» воды, проведён целый комплекс природоохранных мероприятий, направленных на улучшение экологической ситуации в водоеме. К ним относятся: капитальный ремонт водосброса гидроузла р. Иж, очистка ложа водохранилища от донных отложений, укрепление берегов, утилизация и переработка шлакоотвала ОАО «Ижсталь», строительство набережной в центре города, альголизация, зарыбление планктоноядными видами рыб и удаление фитомассы высших водных растений на мелководных и сильно зарастающих участках верхнего плеса.

Однако притокам водохранилища, как постоянным источникам неорганизованного сброса сточных вод, до сих пор не уделяется должного внимания. При этом малые реки загрязняют Ижевское водохранилище биогенными и минеральными взвешенными веществами, так как на водосборе ведется активная хозяйственная деятельность. Только за 2020 г. на двух притоках (р. Люк и притоке реки Пазелинка) зафиксированы заморы рыбы, вызванные попаданием в воду коммунальных стоков.

Реки Иж, Люк, Пазелинка, Шабердинка, а также ручей Пионерский впадают в верхнюю часть водохранилища. Реки Подборенка и Малиновка впадают в нижний плес водохранилища, водосбор которого целиком расположен в селитебной и промышленной зонах г. Ижевска.

Цель данной работы – оценить качество воды основных притоков Ижевского водохранилища по организмам макрозообентоса.

Основные гидрологические показатели рек приведены в таблице 1.

Таблица 1

### Характеристика основных притоков Ижевского водохранилища (МО город Ижевск, Наумова, Бухарина)

Приток	Протяженность, км	в т.ч. по г.Ижевску	Залесенность, %	Заболоченность, %	Скорость течения в межень, м/сек	Площадь водосборного бассейна, км <sup>2</sup>
р. Иж выше водохранилища	70	35,0	87	3	0,12 - 0,15	1640
р. Люк	39,0	5,0	50	3	< 0,3	355
р. Пазелинка	12,8	12,8	18	1	0,07–0,63	70
р. Малиновка	5,7	2,5	52	0	0,2-0,4	8,2
р.Подборенка	4,9	4,9	36,3	0	0,03–0,68	13,4

Река Иж образована слиянием рр. Большого и Малого Ижа. Ее исток находится у деревни М. Ошворцы на границе Игринского и Якшур-Бодьинского районов УР. Река протекает по территории Удмуртии и Татарстана по направлению с севера на юг и впадает в р. Каму в 124 км от ее устья. Общая протяженность р. Иж – 259 км, из которых 70 км – от истока до плотины Ижевского водохранилища.

Река Люк – правый приток р. Иж. Исток реки находится в болоте в 2,2 км к северо-востоку от деревни Динтем–Вамья Увинского района [1]. Бассейн реки отличается развитым сельскохозяйственным производством.

Река Малиновка – правый приток р. Иж. Исток реки находится в 0,5 км западнее д. Малиново. Протекает по юго-западной окраине г. Ижевска между микрорайонами «Малиновая гора» и поселком Вараксино Завьяловского района.

Река Пазелинка – левый приток реки Иж (после строительства плотины впадает в Ижевское водохранилище). Нижнее течение реки находится под подпором, устьевая зарослевая зона составляет 0,17 км<sup>2</sup>. Вдоль берегов тянутся сплавины.

Подборенка – это левый приток реки Иж, который впадает в водохранилище в районе городской набережной. Долина реки Подборенки одно из первых заселенных мест в Ижевске, 62,6 % водосборного бассейна застроено различными промышленными и жилыми объектами.

### ***Материалы и методы исследования***

Отбор проб на реке Иж проводили с 2011 по 2014 г. Для сравнимости в этой работе приводятся данные по участку реки протяженностью 20 км выше водохранилища. Исследование макробеспозвоночных рр. Люк, Малиновка, Подборенка и Пазелинка проводили с июня по сентябрь 2019-2020 гг. Пробы отбирали гидробиологическим скребком и дночерпателем ДАК-100. Всего отобрано 169 проб зообентоса.

При камеральной обработке собранных материалов определяли видовой состав макрозообентоса (хинономиды до подсемейства), рассчитывали численность и биомассу, биотический индекс Вудивисса, индекс сапробности по Пантле-Букку, олигохетный индекс Гуднайта-Уитлея, индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера и выравненность сообщества по Пиелу [2].

### ***Результаты***

На исследуемом участке р. Иж отмечались песчаные и каменисто-песчаные грунты с наилком вдоль берегов. Среднее содержание органических веществ в донных отложениях составляло 3,95%. Всего на 4 станциях отмечено 138 видов беспозвоночных, из них 25 видов моллюсков, 11 видов червей, 19 – подёнок, 16 – ручейников, 2 – ракообразных и 1 вид веснянок.

В верхнем течении р. Пазелинки отмечены глинистые грунты, в среднем – песчано-илистые, а в нижнем течении река находится под подпором Ижевского водохранилища, течение около 0,15 м/сек, отмечается зарастание русла макрофитами и накопление детрита на дне. Доля органических веществ в грунте составляет от 2,2 до 35%. В бентосе реки отмечено 108 видов макробеспозвоночных, в том числе 12 видов червей, 22 – моллюсков, 2 – ракообразных, 7 – подёнок, 14 – ручейников и два вида веснянок в истоках.

Нижнее течение реки Пазелинка отличается обильным развитием зарослевой фауны, которая подробно была изучена И.А. Каргапольцевой в 2011 г. Средняя численность беспозвоночных в устьевой области р. Пазелинки менялась от 7854,2 до 25463,7 экз./кг, средняя биомасса – от 12,1 до 27,9 г/кг [3].

На р. Подборенка преобладают песчаные и песчано-илистые грунты, доля органических веществ в донных отложениях менялась с 2 до 18 %. За два года исследований зарегистрировано 68 видов макрозообентоса. По числу видов преобладали моллюски и жуки, по 11 видов. Фауна оксифильных видов представлена очень слабо: ручейников – 5 видов, поденок – 3 вида, веснянок обнаружено не было.

На р. Люк были выделены следующие типы грунтов: глинистые, илистые, илисто-песчаные, песчано-детритные и песчано-каменистые. Содержание органических веществ в донных отложениях изменялось от 3,9 до 22,3 %. Всего обнаружен 91 вид макрозообентоса. Среди которых по числу видов доминируют личинки двукрылых (15 таксонов) и моллюски (14 видов). Личинки подёнок представлены 11 видами, личинки ручейников – 10, веснянок не отмечено.

Река Малиновка зарегулирована каскадом из трёх прудов, построенных для хозяйственно-бытовых нужд населения и противопожарной безопасности. Доля органических веществ в донных отложениях реки меняется мозаично, в зависимости от скорости течения реки, глубины отбора проб, проективного покрытия макрофитов. В 2019 г. процент органических веществ менялся от 1,5% до 8,1%.

В 2019 г. на реке Малиновка было выявлено 88 видов макрозообентоса. По числу таксонов доминирующими группами являются: двукрылые (21 таксон), брюхоногие моллюски (20 видов), жуки (12 видов), ручейники и олигохеты по 7 видов соответственно. Личинки подёнок представлены 5 видами, веснянки – одним видом.

### **Обсуждение**

Донные биоценозы изученных рек характеризовались богатой и разнообразной фауной макрозообентоса, в которой представлены все основные таксономические группы макрозообентоса.

Наибольшее количество видов донных беспозвоночных было обнаружено на р. Иж (138), высоким видовым разнообразием также отличалась река Пазелинка (108), минимальное количество видов обнаружено на р. Подборенка (68) (табл. 2). Также значительно различалась сумма видов «реофильного комплекса» (веснянки, поденки и ручейники). От 36 видов на р. Иж до 8 на Подборенке.

Общая численность макрозообентоса в обследованных биоценозах рек колебалась от 50 экз./м<sup>2</sup> (устье р. Подборенка) до 3488 экз./м<sup>2</sup> (илисто-детритный грунт р. Иж). В целом ненарушенные биотопы характеризовались более высокой численностью, чем сообщества, испытывающие антропогенную нагрузку и псаммореофильные рипальные сообщества.

Общая биомасса макрозообентоса составляла от 0,35 (псаммореофильное сообщество р. Подборенки загрязненное нефтепродуктами) до 78,06 г/м<sup>2</sup> (нижнее течение р. Малиновка). Биомасса в первую очередь определялась присутствием в сообществе двусторчатых и брюхоногих моллюсков. По индексу сапробности (S) исследованные реки можно отнести к трем типам. Река Пазелинка в истоках относится к олигосапробной зоне, в среднем течении к β-мезосапробной и при впадении в водохранилище – к α-мезосапробной зоне. Реки: Иж (исследуемый участок), Малиновка относятся к β-мезосапробной зоне, характеризуются умеренным загрязнением вод. Воды рр. Подборенка и Люк находятся на границе β- и α-мезосапробной зоны, характеризуются переходом от умеренно загрязненных к загрязненным водам, а два участка р. Подборенки под воздействием города переходят к полисапробной (грязной) зоне.

Сообщества макрозообентоса рек с коэффициентом информационного разнообразия Шеннона ниже 2,0 можно охарактеризовать как недостаточно устойчивые. Такие участки есть на всех изученных реках, однако средний показатель индекса минимален в реке Подборенка.

Показатели олигохетного индекса Гуднайта Уитлея менялись мозаично соответственно типам донных отложений, достигая абсолютного максимума 90,9% на р. Подборенке. Биотический индекс Вудивисса также указывает на

критическое состояние р. Подборенки и ухудшение экологического состояния в нижнем течении реки Люк (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели развития макрозообентоса притоков Ижевского водохранилища**

<i>Показатели \ Река</i>	<i>Участок р. Иж</i>	<i>Пазелинка</i>	<i>Подборенка</i>	<i>Люк</i>	<i>Малиновка</i>
<i>Число таксонов МЗБ (без учета Chironomidae и Ceratopogonidae)</i>	138	108	68	91	88
<i>Виды ЕРТ</i>	36	23	8	21	13
<i>Индекс Шеннона, бит/экз (диапазон, среднее)</i>	0,94-3,04	1,33-2,17	0,30-1,80	0,69-2,43	0,7-2,4
	2,22	1,75	1,15	1,83	1,52
<i>Выравненность Пилу</i>	0,41-0,96	0,78-0,83	0,19-0,94	0,4-0,97	0,33-0,87
	0,79	0,81	0,74	0,80	0,67
<i>Индекс Вудивисса</i>	5,0-9,0	6,0-7,0	1,0-6,0	2,0-8,0	5,0-9,0
	7,73	6,50	3,78	5,69	6,9
<i>Индекс Сапробности Пантле-Букка</i>	1,61-2,32	1,28-2,67	2,02-3,6	1,68-2,84	1,75-2,2
	1,93	1,98	2,85	2,25	1,89
<i>Индекс Гуднайта Уитлея, %</i>	0-37,3	0-40,71	0-90,91	2,1-72,9	0-10,0
	5,05	20,36	27,71	42,32	3,52
<i>Биомасса, г/м²</i>	1,67-64,84	17,25-25,52	0,35-4,81	0,68-26,44	1,98-78,06
	19,17	13,62	1,89	12,12	22,14
<i>Плотность, экз/м²</i>	265,20-3488,80	566,66-1255,55	50,10-622,22	400,30-1555,4	266,7-3200,0
	1659,48	911,105	302,75	908,52	1738,1

### **Выводы**

По результатам проведенных исследований можно заключить, что качество воды в изученных притоках Ижевского водохранилища относится в основном к 3 и 4 классу вод. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки происходит ухудшение санитарного состояния в нижнем течении р. Люк и Подборенка. Река Подборенка является наиболее загрязненной из притоков Ижевского ВДХР, а значит важным источником ухудшения качества воды в нем.

### **Библиографический список**

1. Удмуртская Республика: энциклопедия / гл. ред. В. В. Туганаев. Ижевск: Удмуртия, 2000. 797 с.
2. Шитиков, В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Кн. 1. Ин-т экологии Волж. бассейна. М.: Наука, 2005. 281 с.
3. Холмогорова Н.В., Каргапольцева И.А. Видовой состав макробеспозвоночных Ижевского водохранилища и оценка качества воды по организмам макрозообентоса // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь, 2019. Т. 3. С. 85-90.



***Оргкомитет выражает искреннюю благодарность руководству  
ПАО «Уралкалий», филиала ПАО «РусГидро» - Камская ГЭС, ООО  
«НОВОГОР-Прикамье» за оказание помощи в организации и проведении  
VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным  
участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов»***

**ПАО «Уралкалий»** – ведущий вертикально интегрированный мировой производитель калия, одного из важнейших элементов, необходимых для развития всех живых организмов. На долю Компании приходится около 20% мирового производства калийных удобрений. Компания контролирует всю производственную цепочку – от добычи калийной руды до поставок хлористого калия покупателям.



Уралкалий уделяет первостепенное внимание мерам по минимизации негативного влияния своей деятельности на окружающую среду. Ответственность за сохранение природной среды является одним из основополагающих принципов ведения бизнеса Компании. Свой вклад в устойчивое развитие региона «Уралкалий» обеспечивает соблюдением требований природоохранного законодательства, рациональным использованием природных ресурсов и постоянным совершенствованием природоохранной деятельности.

Высочайший уровень организации производства и использование передовых технологий позволяют Компании успешно добиваться поставленных целей. ПАО «Уралкалий» придает особое значение повышению уровня жизни местного населения. Активно реализует социальные, экологические и инфраструктурные проекты. Инвестиции в Пермский регион – это инвестиции в наше будущее.



**Камская ГЭС – филиал ПАО «РусГидро»** – одной из крупнейших по установленной мощности гидрогенерирующих компаний в мире.

Исторически первая ступень Камского каскада. Это мощный и сложный гидротехнический и энергетический комплекс, гордость всего Пермского края. Камская ГЭС – гидроузел, занимающий географически центральное место в промышленной части Урала, пункт кратчайшего соединения двух основных (западной и восточной) линий Уральского энергокольца. Является частью единой энергосистемы России и обеспечивает потребности в электроэнергии не только промышленных предприятий Прикамья, но и стабильность экономики всего Уральского региона.



**ООО «НОВОГОР-Прикамье»** – компания коммунального комплекса, действующая на территории Пермского края и обеспечивающая потребителей ресурсами и услугами – водой, канализацией.

Компания «НОВОГОР-Прикамье» осознает высокую значимость своей сферы деятельности и берет на себя ответственность перед обществом за экономические, экологические и социальные результаты данной деятельности. Реализует эту ответственность через предоставление качественных услуг, создание достойных условий труда, бережное обращение с окружающей средой и заботу о благополучии жителей и будущих поколений, внесение своего вклада в развитие региона.

*Научное издание*

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ**  
**MODERN PROBLEMS OF RESERVOIRS AND THEIR CATCHMENTS**

Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием  
(г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.)

Издается в авторской редакции  
Техническая подготовка материалов: *Е. Г. Бочкаревой, О. В. Ларченко*

Ответственность за аутентичность и точность цитат; имен, названий  
и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной  
собственности несут авторы публикуемых материалов.

---

Объем данных 8,20 Мб  
Подписано к использованию 26.05.2021

---

Размещено в открытом доступе  
на сайте [www.psu.ru](http://www.psu.ru)  
в разделе НАУКА / Электронные публикации  
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Издательский центр  
Пермского государственного  
национального исследовательского университета.  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15