

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ**

Труды IX Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием

Том 2

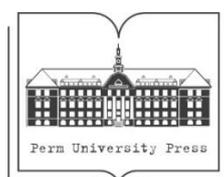


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ**

Труды IX Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием  
(г. Пермь, 25 мая–28 мая 2023 г.)

Том 2



Пермь 2023

УДК 556.552: 551.579  
ББК 26.222  
С568

**Современные проблемы водохранилищ и их водосборов = Modern problems of reservoirs and their catchments** [Электронный ресурс] : труды IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. (г. Пермь, 25–28 мая 2023 г.) / науч. ред. А. Б. Китаев, О. В. Ларченко, В. Г. Калинин ; Пермский государственный национальный исследовательский университет – Пермь, 2023. – Электронные данные. – Пермь, 2023. – Т. 2. – 7,05 Мб ; 309 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/modern-problems-of-reservoirs-and-their-catchments-2023-tom2.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3972-4

ISBN 978-5-7944-3976-2 (том. 2)

Рассмотрены вопросы загрязнения естественных и искусственных водных объектов; дана оценка качества воды озер (Телецкое, Чебаркуль) и водохранилищ (Иваньковское, Угличское, Рыбинское, Камское и др.); изучена трансформация биогенных и органических веществ в водных объектах, рассмотрен геохимический состав их донных осадков. Дана оценка опасности лекарственного загрязнения природных вод; рассмотрены подходы к нормированию качества воды; представлена оценка особенностей развития фито- и зоопланктона в различных частях водоемов; дана ихтиологическая характеристика водных объектов.

Представлены проблемы инженерных гидрометеорологических изысканий на водотоках и водоемах; рассмотрены проблемы, решения и перспективы управления водными ресурсами в различных регионах России и стран ближнего зарубежья.

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

*Издается по решению оргкомитета конференции*

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

*Рецензенты:* старший научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, канд. геогр. наук  
**С. А. Агафонова**

научный сотрудник лаборатории проблем гидрологии суши Горного института УрО РАН, канд. техн. наук **Ю. С. Ляхин**

ISBN 978-5-7944-3972-4

ISBN 978-5-7944-3976-2 (том. 2)

© ПГНИУ, 2023

UDC 556.552: 551.579

LBK 26.222

**Modern** problems of reservoirs and their catchments: proceedings of the IX All-Russian scientific-practical conference with international participation (Perm, May, 25-28, 2023): Scientific editors A.B. Kitaev, O.V. Larchenko, V.G. Kalinin; Perm State University. – Perm, 2023. – V. 2. – 309 pp.: ill.

ISBN 978-5-7944-3972-4

ISBN 978-5-7944-3976-2 (V. 2)

The issues of pollution of natural and artificial water bodies are considered; an assessment of the water quality of lakes (Teletskoye, Chebarkul) and reservoirs (Ivankovskoye, Uglichskoye, Rybinskoye, Kamskoye, etc.); The transformation of nutrients and organic substances in water bodies has been studied, the geochemical composition of their bottom sediments has been considered. An assessment of the danger of drug contamination of natural waters is given; approaches to water quality rationing are considered; an assessment of the features of phytoplankton and zooplankton development in various parts of water bodies is presented; The ichthyological characteristics of water bodies are given.

The problems of engineering hydrometeorological surveys on watercourses and reservoirs are presented; the problems, solutions and prospects of water resources management in various regions of Russia and neighboring countries 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, O.V. Larchenko, V.G. Kalinin*

ISBN 978-5-7944-3972-4

ISBN 978-5-7944-3976-2 (V. 2)

© Perm State University, 2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## КАЧЕСТВО ВОДЫ

<i>Борисов А.А., Богомолов А.В.</i> Влияние сезонной вариативности гидрохимических параметров вод на экологическое состояние водных объектов на примере водохранилищ Челябинской области.....	12
<i>Волкова З.В., Ломова Д.В., Кременецкая Е.Р.</i> Изменения качества вод в речных системах ЕЧР.....	17
<i>Гайдукова Е.В., Босавина И.Д., Маргарян В.Г., Батмазова А.А.</i> Оценка распространения примесей в Камском водохранилище.....	22
<i>Гришанцева Е.С., Федорова Л.П., Григорьева М.Л., Николаева И.Ю., Тарнопольская М.Е.</i> Биоаккумуляция тяжелых металлов двустворчатými моллюсками Иваньковского водохранилища.....	27
<i>Гришанцева Е.С., Ясинский С.В., Капустина Е.А.</i> Геохимический состав донных осадков малых рек Нижнего Новгорода как индикатор антропогенного воздействия.....	32
<i>Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.</i> О роли боковой приточности в формировании качества воды Иваньковского и Угличского водохранилищ.....	37
<i>Двинских С.А., Ларченко О.В., Оськина М.А.</i> Использование индикаторов загрязнения поверхностных вод для оценки самоочищающей способности водохранилища (на примере Камского)...	42
<i>Демин А.П.</i> Анализ видов экономической деятельности, наиболее загрязняющих водные объекты российской части бассейна реки Урал....	48
<i>Долгов С.В., Швыдкий В.О., Алентьев Ю.Ю., Штамм Е.В., Барабанова Е.А., Шишкина Л.Н.</i> Фоновое природно-антропогенное содержание биогенных веществ в реках зоны смешанных лесов на русской равнине.....	53
<i>Дьяконов К.Н., Хрусталева М.А., Суслов С.В.</i> Современные проблемы качества воды Волжского водохранилища.....	58
<i>Ерина О.Н., Терешина М.А., Медянкина М.В., Тригуб А.С., Кадыров О.Р.</i> Российские и мировые практики нормирования качества воды: ретроспектива, сравнительный анализ, пути развития.....	64
<i>Ефимов В.А., Антипов Н.Е., Ефимова Л.Е.</i> Исследование качества вод Рыбинского водохранилища по данным зимней съёмки 2022 года.....	69
<i>Ефимова Л.Е., Ерина О.Н., Платонов М.М., Сазонов А.А.</i> Оценка экологического состояния реки Клязьмы.....	74
<i>Захаров С.Г.</i> Гидрохимический режим и качество вод озера Чебаркуль...	79

<i>Зиновьев А.Т., Дьяченко А.В., Кошелев К.Б.</i> Кислородный режим Телецкого озера: наблюдения и моделирование.....	84
<i>Кашутина Е.А., Ясинский С.В., Гришанцева Е.С., Сидорова М.В.</i> Оценка переноса загрязнения со взвешьями в водных объектах.....	89
<i>Киртичникова Н.В., Воронина К.П.</i> Основные факторы формирования качества воды р. Яузы в многолетней динамике.....	96
<i>Козлова М.А.</i> Оценка опасности лекарственного загрязнения природных вод.....	101
<i>Кутявина Т.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я.</i> Гидрохимические особенности и формирование фитопланктона в искусственных водоемах Вятско-Камского Предуралья.....	106
<i>Латина Е.Е., Латина Л.Э., Кудряшова В.В.</i> Динамика магния и фосфора в подземных водах вокруг Ивановковского водохранилища....	111
<i>Мурсынина Е.В.</i> Пространственные изменения содержания основных загрязняющих веществ в поверхностных водах реки Тобол.....	116
<i>Рахуба А.В.</i> Вертикальное распределение хлорофилла и гидрохимических показателей воды в период цветения фитопланктона Куйбышевского водохранилища.....	122
<i>Репина И.А., Мишин Д.В., Строков А.А., Ильяшенко Е.Ф., Фатхи М.О.</i> Особенности пространственно-временного распределения метана в водной толще Саяно-Шушенского водохранилища по результатам полевых исследований 2021-2022 гг. ....	128
<i>Ушакова Е.С., Паньков Н.Н., Белкин П.А.</i> Биоиндикация при оценке экологического состояния малых рек.....	133
<i>Чекмарева Е.А., Григорьева И.Л.</i> Оценка выноса биогенных элементов и тяжелых металлов малыми притоками в Ивановское водохранилище...	139
<i>Шاپоренко С.И., Кузовлев В.В.</i> Влияние городов Ржев и Тверь на гидрохимический режим Волжского притока Ивановского водохранилища.....	144
<i>Шашуловская Е.А.</i> Гидрохимические исследования нижеволжских водохранилищ (по результатам трансъевропейской экспедиции НИС «ПРОТЕЙ»).....	149
<i>Шашуловская Е.А., Мосияш С.А.</i> Биогенные элементы в водохранилищах Нижней Волги в начале XXI века.....	154
<i>Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В.</i> Современное состояние проблемы оценки характеристик диффузного загрязнения водных объектов на равнинных территориях.....	159

## ГИДРОБИОЛОГИЯ И ИХТИОЛОГИЯ

<i>Беляева П.Г.</i> Состав и структура фитопланктона Воткинского водохранилища в 2017–2022 гг. ....	169
<i>Житлухина В.Н., Истомин С.Г.</i> Наблюдения за ихтиофауной нижнего района Воткинского водохранилища в нерестовый период .....	174
<i>Жихарев В.С., Гаврилко Д.Е., Обедиентова Е.С., Шурганова Г.В.</i> Чужеродные виды зоопланктона водохранилищ Средней Волги.....	178
<i>Журова Д.А., Воденеева Е.Л.</i> Фитопланктон пойменно-русловых комплексов нижнего течения р. Оки .....	183
<i>Истомина А.М., Беляева П.Г., Истомин С.Г., Крайнев Е.Ю., Мельникова А.Г., Токарев А.В., Целищева Е.М.</i> Гидробиологическая и ихтиологическая характеристика Павловского водохранилища на р. Уфа...	188
<i>Казаринов С.Н., Комарова Л.В., Поносков С.В., Мерзляков И.Н., Михеев П.Б.</i> Расчет неучтенного вылова рыбы на примере судака <i>sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758) Камского водохранилища (Пермский край)....	195
<i>Карабанов Д.П., Сабитова Р.З., Котов А.А.</i> Чужеродные виды <i>cladocera</i> (Crustacea: Branchiopoda) в водохранилищах России: единичные случаи или глобальный процесс?.....	199
<i>Каралаш А.А., Казаринов С.Н., Комарова Л.В., Мерзляков И.Н.</i> Внутрипопуляционная изменчивость линейного роста синца ( <i>Ballerus ballerus</i> ) Камского водохранилища.....	204
<i>Михеев П.Б., Бакланов М.А., Паньков Н.Н., Меньшикова Е.А.</i> Оценка толерантности зообентоса и рыб текучих вод к загрязнению кислыми шахтными водами на примере рек Кизеловского угольного бассейна (Пермский край, Россия).....	208
<i>Мухортова О.В., Сабитова Р.З., Тарасова Н.Г., Карабанов Д.П., Унковская Е.Н.</i> Инвазийные виды фито- и зоопланктона Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (Куйбышевского водохранилища).....	213
<i>Полева А.О., Мухутдинов В.М.</i> Основные тенденции развития сообществ фитопланктона Павловского водохранилища на р. Уфе по многолетним данным.....	218
<i>Рубанова М.В., Мухортова О.В.</i> Инвазия речного окуня <i>perca fluviatilis</i> (Perciformes, Actinopterygii) чужеродной трематодой <i>apophallus muehlingi</i> (Heterophyidae, Trematoda) в реке Большой Черемшан.....	223
<i>Тарасова Н.Г., Быкова С.В., Уманская М.В., Горбунов М.Ю., Мухортова О.В., Краснова Е.С.</i> Формирование сообщества планктонных организмов в приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища в осенний период 2020 г.....	228

<i>Холмогорова Н.В., Пушина О.А.</i> Многолетняя динамика показателей макрозообентоса Ижевского водохранилища .....	232
<i>Чуйко Г.М., Томилина И.И., Гребенюк Л.П., Ложкина Р.А.</i> Связь тератогенных эффектов у личинок хирономид с уровнем антропогенной нагрузки загрязняющими веществами в Рыбинском водохранилище .....	237

**КРУГЛЫЙ СТОЛ**  
**«ИНЖЕНЕРНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ**  
**ИЗЫСКАНИЯ»**

<i>Бузмаков С.В., Осташов А.А., Юхно А.В., Лубенцов А.С., Пнюшков А.Д.</i> Расчёт наивысших уровней воды в условиях нестационарности рядов наблюдений на примере устьевого участка реки Нева .....	242
<i>Егоркина С.С., Китаев А.Б.</i> Инженерно-гидрометеорологические изыскания для обоснования строительства берегозащитного сооружения .....	250
<i>Логина Л.В.</i> Лицензия Росгидромет .....	255
<i>Самохин М.А., Смирнова Е.А.</i> Оценка отклика нормативных расчетных гидрологических коэффициентов на современные изменения климата...	260

**КРУГЛЫЙ СТОЛ**  
**«УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ»**

<i>Абдурашидов А.М.</i> Проблемы определения береговых линий пересыхающих водоемов на примере Туралинских озер Дагестана.....	267
<i>Второва А.И., Мякишева Н.В., Панина М.В., Лиходумова И.Н.</i> Современные особенности регулирования водохранилищ верховья реки Урал.....	272
<i>Горячев В.С.</i> Оценка роли водохранилищ республики Башкортостан в регулировании стока и водообеспечении населения и объектов экономики.....	278
<i>Лопатина И.И.</i> Роль судебной гидрологической экспертизы в судебном производстве.....	283
<i>Фролова Т.С.</i> Управление водными ресурсами в мире.....	289
<i>Фролова Т.С., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С.</i> Водное хозяйство стран БРИКС.....	294

**ГИДРОЛОГИЯ ДЛЯ ДУШИ**

<i>Фролова И.В.</i> «Гидрография» литературных пейзажей в произведениях пермских поэтов .....	299
---	-----

# CONTENTS

## WATER QUALITY

<i>Borisov A., Bogomolov A.</i> The impact of seasonal variability waters hydrochemical parameters on the ecological condition of water objects on the example of reservoirs of the Chelyabinsk region.....	12
<i>Volkova Z., Kremenetskaya E., Lomova D.</i> Long – term variations of the water quality characteristics of the river EPR .....	17
<i>Gaidukova E., Bosavina I., Margaryan V., Batmazova A.</i> Evaluation of distribution of impurities in the Kama reservoir.....	22
<i>Grishantseva E., Fedorova L., Grigorieva M., Nikolaeva I., Tarnopolskaya M.</i> Bioaccumulation of heavy metals by bivalve mollusks of the Ivankovo reservoir.....	27
<i>Grishantseva E., Yasinsky S., Kashutina E.</i> Geochemical composition of bottom sediments of small rivers of Nizhny Novgorod as an indicator of anthropogenic impact.....	32
<i>Datsenko Yu., Puklakov V.</i> On the role of lateral tributaries in the formation of water quality of the Ivankovo and Uglich reservoirs.....	37
<i>Dvinskikh S., Larchenko O., Os'kina M.</i> Use of surface water pollution indicators to assess the self-cleaning capability of a reservoir (on the example of Kamskoye).....	42
<i>Demin A.</i> Analysis of economic activities most polluting water bodies in the russian part of the ural river basin.....	48
<i>Dolgov S., Shvydkiy V., Alentev Yu., Shtamm E., Barabanova E., Shishkina L.</i> Natural background and anthropogenic content of nutrients in rivers of the mixed forest zone on the Russian plain.....	53
<i>Dyakonov K., Khrustaleva M., Suslov S.</i> Modern problems of water quality in the Volga water source.....	58
<i>Erina O., Tereshina M., Mediankina M., Trigub A., Kadyrov O.</i> Russian and world practices of water quality regulation: background, comparative analysis, pathways for improvement.....	64
<i>Efimov V., Antipov N., Efomova L.</i> Study of the water quality of the Rybinsk water reservoir according to the winter survey of 2022.....	69
<i>Efimova L., Erina O., Platonov M., Sazonov A.</i> Assessment of the ecological state of the Klyazma river.....	74
<i>Zakharov S.</i> Hydrochemical regime and water quality of lake Chebarkul.....	79
<i>Zinoviev A., Dyachenko A., Koshelev K.</i> Oxygen regime of lake Teletskoye: observations and modeling.....	84

<i>Kashutina E., Yasinsky S., Grishantseva E., Sidorova M.</i> Evaluation of pollution transfer with suspensions in water bodies.....	89
<i>Kirpichnikova N., Voronina K.</i> The main factors of the formation of the water quality of the Yauza river in the long-term dynamics.....	96
<i>Kozlova M.</i> Hazard assessment of pharmaceutical pollution of natural waters	101
<i>Kutyavina T., Kondakova L., Ashikhmina T.</i> Hydrochemical features and formation of phytoplankton in artificial reservoirs of the Vyatka-Kama Pre-Urals.....	106
<i>Lapina E., Lapina L., Kudrajshova V.</i> Dynamics of magnesium and phosphorus in groundwater around Ivankovo reservoir.....	111
<i>Mursynina E.</i> Spatial changes in the content of the main pollutants in the surface waters of the Tobol river.....	116
<i>Rakhuba A.</i> Vertical distribution of chlorophyll and hydrochemical indicators of water during the phytoplankton bloom of the Kuibyshev reservoir .....	122
<i>Repina I., Mishin D., Stokov A., Ilyashenko E., Fatkhi M.</i> Features of the spatial and temporal distribution of methane in the water column of the Sayano-Shushenskoye reservoir based on the results of field studies in 2021-2022.....	128
<i>Ushakova E., Pankov N., Belkin P.</i> Bioindication in the assessment of the environmental status of small rivers .....	133
<i>Chekmareva E., Grigoryeva I.</i> Assessment the flow of biogenic elements and heavy metals by small tributaries in Ivankovo reservoir .....	139
<i>Shaporenko S., Kuzovlev V.</i> The influence of the cities of Rzhev and Tver on the hydrochemical regime of the Volga tributary of the Ivankovsky reservoir.....	144
<i>Shashulovskaya E.</i> Hydrochemical studies of the lower Volga reservoirs (based on the results of the Trans-European expedition of NIS "Proteus") .....	149
<i>Shashulovskaya E., Mosiyash S.</i> Biogenic elements in reservoirs Lower Volga of the XXI century .....	154
<i>Yasinskii S., Kashutina E., Sidorova M.</i> The current status of the problem of assessing the characteristics of diffuse pollution of water bodies in plain areas	159

## **HYDROBIOLOGY AND ICHTHYOLOGY**

<i>Belyaeva P.</i> Composition and structure of phytoplankton of the Kama and Votkinsk reservoirs in summer .....	169
<i>Zhitlukhina V., Istomin S.</i> Observation of lower Votkinsk reservoir fish fauna in spawning period .....	174
<i>Zhikharev V., Gavrilko D., Obedientova E., Shurganova G.</i> Alien species of zooplankton of the Middle Volga reservoirs .....	178

<i>Zhurova D., Vodeneeva E.</i> Phytoplankton of floodplain-channel complexes of the Oka river lower reaches .....	183
<i>Istomina A., Belyaeva P., Istomin S., Krainev E., Melnikova A., Tokarev A., Tselishcheva E.</i> Hydrobiological and ichthyological characteristics of the Pavlovsk reservoir on the Ufa river .....	188
<i>Kazarinov S., Komarova L., Ponosov S., Merzlyakov I., Mikheev P.</i> Calculation of unaccounted fish catches by the example of pikeperch <i>sander lucioperca</i> (linnaeus, 1758) of the Kama reservoir (Perm krai) .....	195
<i>Karabanov D., Sabitova R., Kotov A.</i> Non-indigenous species of cladocera (crustacea: branchiopoda) in Russian reservoirs: single cases or global process? .....	199
<i>Karalash A., Kazarinov S., Komarova L., Merzlyakov I.</i> Of the blue bream ( <i>ballerus ballerus</i> ) Kama reservoir .....	204
<i>Mikheev P., Baklanov M., Pankov N., Menshikova E.</i> Assessment of tolerance of zoobenthos and fish of flowing waters to pollution by acid mine waters: case study on the rivers of the Kizelovsky coal basin (Perm krai, Russia) .....	208
<i>Mukhortova O., Sabitova R., Tarasova N., Karabanov D., Unkovskaya E.</i> Invasive species of phyto- and zooplankton of the Saralinsky site Volga-Kama state natural biosphere reserve (Kuibyshev reservoir) .....	213
<i>Poleva A., Muhutdinov V.</i> Main trends in the development of phytoplankton communities in the Pavlovskoe reservoir on river Ufa according to long-term data .....	218
<i>Rubanova M., Mukhortova O.</i> Invasion of the perch <i>perca fluviatilis</i> (perciformes, actinopterygii) with the alien trematode <i>apophallus muehlingi</i> (heterophyidae, trematoda) in the river Bolshoy Cheremshan .....	223
<i>Tarasova N., Bykova S., Umanskaya M., Gorbunov M., Mukhortova O., Krasnova E.</i> Formation of a community of plankton organisms in the priplotinny reach of the Kuibyshev reservoir in autumn 2020.....	228
<i>Kholmogorova N., Pushina O.</i> Long-term dynamics of the macrozoobenthos community indicators of the Izhevsk reservoir .....	232
<i>Chuiko G., Tomilina I., Grebenjuk L., Lozhkina R.</i> The relationship of teratogenic effects in chironomid larvae with the level of anthropogenic load of pollutants in the Rybinsk reservoir .....	237

## ENGINEERING HYDROMETEOROLOGICAL SURVEYS

<i>Buzmakov S., Ostashov A., Yukhno A., Lubentsov A., Pnyushkov A.</i> Calculation of the highest water levels in the case of non-stationary series of observations on the example of the Neva river mouth .....	242
<i>Egorkina S., Kitaev A.</i> Engineering and hydrometeorological surveys to justify the construction of a coastal protective structure .....	250

<i>Loginova L.</i> License Of Roshydromet .....	255
<i>Samokhin M., Smirnova E.</i> Assessment of the response of normative calculated hydrological coefficients to modern climate changes .....	260

### **WATER RESOURCES MANAGEMENT**

<i>Abdurashidov A.</i> Problems of determining the shorelines of drying reservoirs on the example of the Turaly lakes of Dagestan .....	267
<i>Vtorova A., Myakisheva N., Panina M., Lichodumova I.</i> Modern features of the regulation of reservoirs of the upper Ural river .....	272
<i>Goryachev V.</i> Assessment of the role of reservoirs of the republic of Bashkortostan in regulating the flow and water supply of the population and economic facilities .....	278
<i>Lopatina I.</i> The role of forensic hydrological expertise in court proceedings	283
<i>Frolova T.</i> World water management .....	289
<i>Frolova T., Koronkevich N., Barabanova E., Zajtseva I.</i> Anthropogenic impact on water resources in the BRICS countries .....	294

### **HYDROLOGY FOR THE SOUL**

<i>Frolova I.</i> "Hydrography" of literary paysage in the poetry of perm poets .....	299
---	-----

# КАЧЕСТВО ВОДЫ

УДК 556.551

А.А. Борисов<sup>1</sup>, А.В. Богомолов<sup>2,3</sup>, borissoff@mail.ru

<sup>1</sup>Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Камский филиал, г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия

<sup>3</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

## ВЛИЯНИЕ СЕЗОННОЙ ВАРИАТИВНОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОД НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрены результаты наблюдений за составом вод на нескольких водохранилищах Челябинской области. Установлено, что прослеживаются изменения гидрохимических параметров, которые обусловлены сезонными изменениями.

*Ключевые слова:* водохранилище, гидрохимия, сезонные изменения, состав вод, водоснабжение, водородный показатель, металлы, кислород.

A.A. Borisov<sup>1</sup>, A.V. Bogomolov<sup>2,3</sup>, borissoff@mail.ru

<sup>1</sup>Russian Research Institute for Integrated of Water Management and Protection, Kama Branch, Perm, Russia

<sup>2</sup>Mining institute of the Ural Branch of the RAS, Perm, Russia

<sup>3</sup>Perm State University, Perm, Russia

## THE IMPACT OF SEASONAL VARIABILITY WATERS HYDROCHEMICAL PARAMETERS ON THE ECOLOGICAL CONDITION OF WATER OBJECTS, ON THE EXAMPLE OF RESERVOIRS OF THE CHELYABINSK REGION

The results of observations of the composition of water in several reservoirs of the Chelyabinsk region are considered. It is established that changes in hydrochemical parameters are traced, which are due to seasonal changes.

*Keywords:* reservoir, hydrochemistry, seasonal changes, water composition, water supply, hydrogen index, metals, oxygen.

### ***Введение***

Основным источником питьевого водоснабжения городской агломерации г. Челябинска является Шершневское водохранилище на р. Миасс, которое эксплуатируется в каскаде с Аргазинским. Оба водохранилища обеспечивают водными ресурсами территорию с населением более 1,5 млн человек. Для покрытия дефицита воды были построены Долгобродское водохранилище на р.Уфа и

Ново-Кыштымское водохранилище на р. Кыштым с комплексом гидротехнических сооружений по переброске воды в Аргазинское водохранилище. Таким образом, в маловодные периоды качество вод Долгобродского и Ново-Кыштымского водохранилищ способно влиять на качество вод в Аргазинском, а значит и в Шершневском водохранилищах.

Особенностями данной водохозяйственной системы является сопряжение водосборных территорий с горнодобывающими и металлургическими предприятиями, повышенное содержание минеральных комплексов в почво-грунтах и донных отложениях, работа водохранилищ на отметках ниже нормального подпорного уровня и др. [1-2].

Поскольку формирование химического состава вод водохранилищ представляет собой комплексный результат совокупного влияния набора факторов, из которых многие обладают сезонными особенностями проявления (внутриводоемные (гидрохимические и микробиологические) процессы, интенсивность осадков, содержание кислорода и т.д.), отмечается определенная вариативность гидрохимических параметров [3]. Изменения гидрохимических параметров водохранилищ могут быть интерпретированы как изменения экологической обстановки, что при отсутствии представлений об сезонных закономерностях их изменений может привести к ошибочному прогнозу развития ситуации.

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

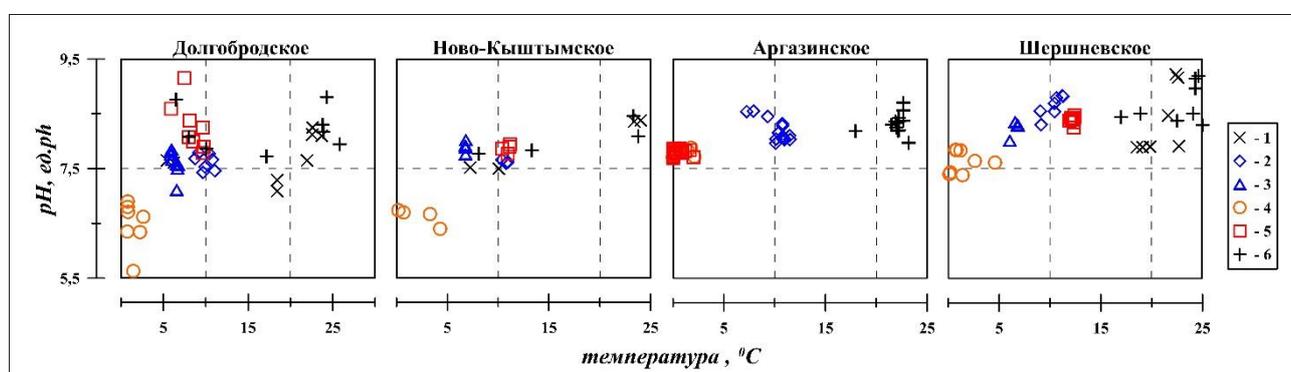
Исследования выполнялись в соответствии с гидрологическими циклами рассматриваемой территории: ледостав, (март 2022 г.); половодье (май 2022 г.); летне-осенняя межень с паводками (август 2021 г., сентябрь 2021 г., октябрь 2021 г., июль 2022 г.). Отбор проб и определение физико-химических параметров выполнялись в приповерхностном и придонном горизонтах. Определение физико-химических параметров (температура, водородный показатель (рН), растворенный кислород) выполнялось анализатором Hanna Instruments HI 98194. Количественное определение в пробах гидрохимических компонентов (взвешенные вещества, медь, цинк, и т.д.) осуществлялось в аккредитованной лаборатории. Доставка проб в лабораторию выполнялась в течении суток после отбора. По результатам лабораторных определений были получены величины по каждому из анализируемых показателей, из которых в данной работе рассматриваются величины взвешенных веществ и металлы (цинк, медь). Для наглядного отображения результатов были построены комбинированные графики для нескольких показателей на каждом графике.

### ***Анализ результатов***

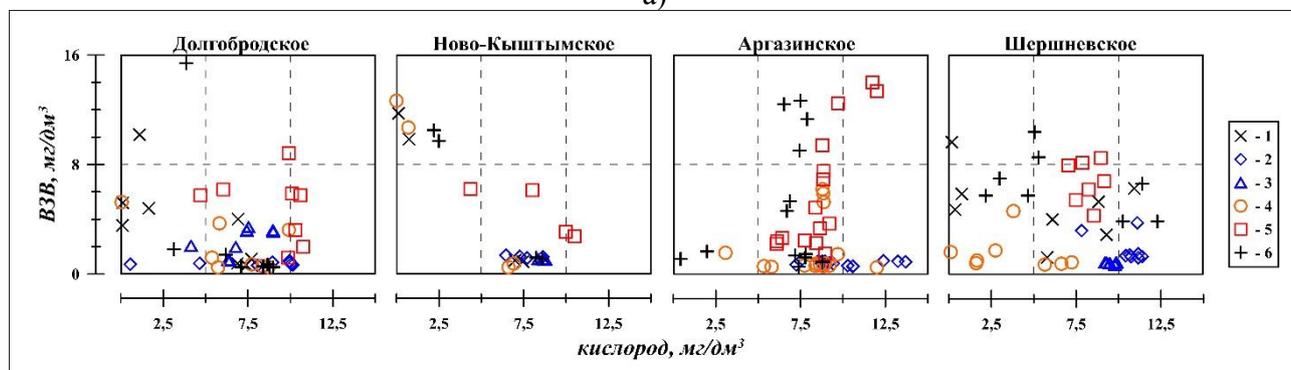
Достаточно четко сезонная изменчивость проявилась в значениях количественной характеристики активной реакции среды – водородном показателе (рН). На всех водохранилищах минимальные значения были зарегистрированы в период ледостава, а максимальные в период межени (рисунок а). Данное явление объясняется сезонными изменениями интенсивности микробиологических и гидрохимических процессов, которые с одной стороны зависят от внутриводо-

емных процессов (содержания кислорода и углекислого газа в воде, карбонатного баланса и т.д.), а с другой внешних факторов среды (температурные воздуха, динамического перемешивания водных масс). Наибольшие значений рН в рассматриваемой водохозяйственной системе наблюдаются в Шершневском водохранилище.

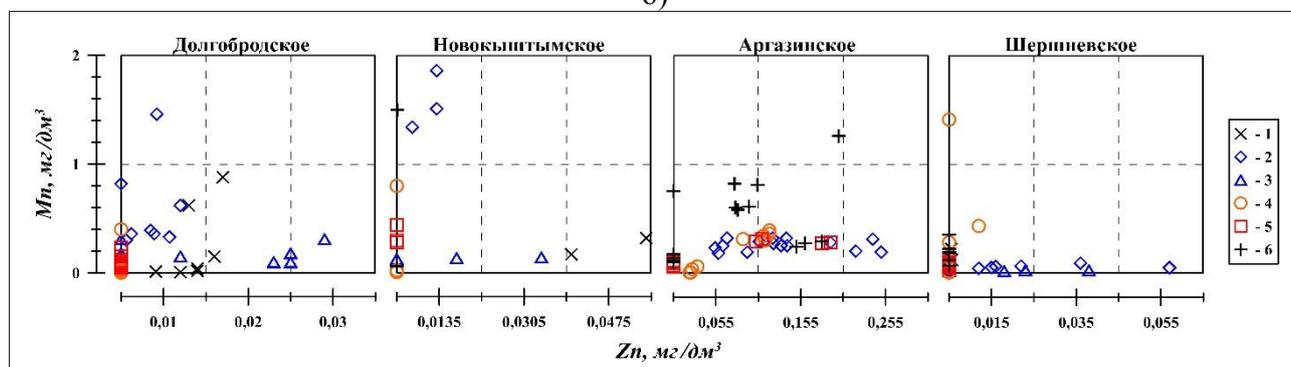
В содержании взвешенных веществ (ВЗВ) сезонная изменчивость проявилась в минимальных значениях в период ледостава, и максимальных в периоды половодья и летней межени (рисунок (б)). Формирование максимальных значений ВЗВ в период половодья обусловлено поступлением в водохранилища с водосборной площади значительного количества веществ. В период летней межени появление значительного количества ВЗВ в воде, главным образом для Шершневского водохранилища, обусловлено интенсивным развитием фауны в этот период.



а)



б)



в)

**Гидрохимические параметры водохранилищ в разные период обследования:**

- 1 – межень (август 2021 г.); 2 и 3 – осенние паводки (сентябрь 2021 г. и октябрь 2021 г.);
- 4 – ледостав (март 2022 г.); 5 – половодье (май 2022 г.); 6 – межень (июль 2022 г.)

Наиболее контрастное проявление сезонного изменения содержания ВЗВ зафиксировано на Аргазинском водохранилище. Что связано с активными ветровыми волнениями и внутренними течениями, приводящими к размыву дна и береговой линии, с последующим интенсивным перемешиванием мелкообломочного и дисперсного материала в водной толще [4].

В общем случае содержание кислорода в воде водного объекта контролируется несколькими факторами – газовым обменом с атмосферой, окислительными внутриводоемными процессами, жизнедеятельностью микроорганизмов [3-4]. Исходя из этого минимальные концентрации кислорода в воде соответствуют периоду ледостава (процессы взаимодействия с атмосферой замедляются) и летней межени (рост биомассы микроорганизмов приводит к увеличению количества потребляемого её кислорода). Наиболее выражены данные процессы проявились на Шершневском и Ново-Кыштымском водохранилище (рисунок (б)). В свою очередь, низкая микробиологическая активность и интенсивное поступление вод с водосборной площади и из атмосферы в период летне-осенних паводков и весеннего половодья, обусловленная тепловым режимом (рисунок (а)), объясняет максимальные концентрации кислорода в данные периоды.

Относительно содержания меди на водохранилищах прослеживалась тенденция приуроченности более высоких концентраций к периоду осенних паводков и ледостава, и следовых количеств в межень и половодье (рисунок (в)). Близкий характер отмечался и для концентраций цинка – наибольшие в осенние паводки, а минимальные в ледостав и половодье (рисунок (в)). Схожесть тенденций для цинка и меди обусловлена тем, что их содержание в водных системах в большей степени контролируется с одной стороны интенсивностью из поступления с водосборной площади, с другой, интенсивностью микробиологических процессов и сорбцией на глинистых частицах и гидроксидах [5].

При общем соответствии вышеизложенным особенностям сезонных изменений, уровень содержания меди и цинка в водах Аргазинского водохранилища было значительно больше, чем в других. При этом максимальные концентрации отмечались непосредственно в период открытой воды, не смотря на активную ассимиляцию данных металлов микроорганизмами и взвешенными частицами. Аномально высокий уровень концентрации данных компонентов, не свойственных природным гидрохимическим системам региона, является отображением ранее сформированной на водосборной площади техногенной обстановки, образованной в результате прямого влияния металлургического комбината на данное водохранилище и питающего его р. Миасс.

### ***Выводы***

Результаты исследований показали, что в составе вод водохранилищ отмечаются определенные сезонные закономерности, что в количественном отношении отображается в изменении концентрации водорастворенных компонентов в 2-6 раза. В значительной мере, сезонная вариативность обуславливается сочета-

нием различных факторов, среди которых наиболее важным является микробиологические процессы, интенсивность протекания которых определяется температурой.

Степень проявления сезонных гидрохимических изменений в каждом из рассмотренных водохранилищ обладает индивидуальным характером, и в конечном счете отображает особенности данных водоемов. Отсутствие унаследованного характера концентраций между Аргазинским и Шершневым водохранилищами, даже при аномальных значениях в одном из них, указывает на то, что имеют место активные естественные процессы самоочищения.

Выявленные сезонные изменения рН водной среды, могут оказывать влияние на массообменные процессы между водой и донными отложениями, а также на переход водорастворенных форм металлов в минеральную. Это необходимо учитывать при дальнейшей эксплуатации водохранилищ и прогнозировании качества воды в водоемах.

На основании полученных результатов, рассмотренные водохранилища следует рассматривать не как инертную, а как динамичную гидрохимическую систему, которая стремится к формированию равновесия с факторами внешней среды, и обладает сложной системой подвижных связей.

### **Библиографический список**

1. *Удачин В.Н.* Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. Томск, 2012. 249 с. EDN QFNXST.
2. *Хакимов Р.Ш.* Использование водных ресурсов озера Аргаз: прошлое, настоящее, будущее. Челябинск: Челябинский государственный университет, 2021. 108 с. ISBN 978-5-7271-1722-4. – EDN ZQBNPM.
3. *Папина Т.С.* Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем: анализ. обзор / ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. Новосибирск, 2001. Сер. Экология. Вып. 62. 58 с.
4. *Богомолов А.В., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С. и др.* К вопросу оценки качества воды Аргазинского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 1. С. 6-23. DOI 10.35567/1999-4508-2021-1-1. – EDN MHASLA.
5. *Линник П.Н., Набиванец Б.И.* Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 136 с.

З.В. Волкова, Д.В. Ломова, Е.Р. Кременецкая, zinaL@bk.ru  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОД В РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ ЕЧР**

Обобщены многолетние данные наблюдений (2007-2021 гг.) за качеством вод рек северо-восточной и центральной частей европейской России. Приведены характеристики межгодовых изменений приоритетных показателей качества вод и индекса загрязнения вод (ИЗВ) для рек с высокой антропогенной нагрузкой. Получена оценка тенденций многолетних изменений качества вод рек.

*Ключевые слова:* гидрохимические показатели, ИЗВ, качество вод, речные системы.

Z.V. Volkova, E.R. Kremenetskaya, D.V. Lomova, zinaL@bk.ru  
*Water Problems Institute of the RAS, Moscow, Russia*

## **LONG – TERM VARIATIONS OF THE WATER QUALITY CHARACTERISTICS OF THE RIVER EPR**

Long-term observational data (2007-2021) on the water quality of the rivers in the northeastern and central parts of European Russia are summarized. Characteristics of interannual changes in priority indicators of water quality and water pollution index (WPI) for rivers with high anthropogenic load are given. An assessment of the tendencies of long-term changes in the quality of river waters has been obtained.

*Keywords:* hydrochemical indicators, WPI, water quality, river systems.

### ***Введение***

Изучение межгодовой динамики и тенденций состояния загрязнения вод речных систем в условиях высокой антропогенной нагрузки имеет важное практическое значение для развития хозяйственной деятельности и питьевого водоснабжения в северо-западной и центральной частях европейской России. Объектами исследования являются крупные речные системы в районах с развитой хозяйственной деятельностью (рр. Северная Двина, Онега, Мезень, Печора, Охта, Хауки-лампи-йоки (г. Заполярный), Волга. Большую часть рек можно отнести к крупным, они имеют площадь водосбора более 50 тыс. км<sup>2</sup> [2].

Выполнено обобщение данных о приоритетных загрязняющих веществах (ЗВ), наиболее опасных для биоты: тяжелые металлы (ТМ) Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, нефтепродукты (НП), БПК<sub>5</sub>, фенолы, ХПК, ПО и др. Рассмотрены изменения качества вод рек и роль определяющих факторов в его формировании, показана необходимость введения региональных нормативов с учетом специфических условий формирования качества вод.

## *Материалы и методы исследования*

Использованы материалы ГСН по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета) за период 2007-2021 гг., [5], привлекались литературные источники, данные экспедиционных исследований качества вод рек [1; 3; 4]. Для анализа многолетних рядов данных использовался статистический подход. Оценка качества вод речных систем проводилась на основе интегральных индексов загрязнения вод (ИЗВ), комплексной экологической классификации поверхностных вод суши и кривых обеспеченностей для загрязняющих веществ и ИЗВ.

### *Анализ результатов*

К наиболее загрязненным рекам северо-западного региона ЕЧР с высокими ИЗВ относятся реки районов горнодобывающей промышленности, а также принимающие стоки крупных промышленных центров (рр. Сев.Двина, Хаукилампи-йоки, Охта, Печора, Онега и др.), на которых отмечаются проблемы питьевого водоснабжения населения. Высокая зависимость содержания ЗВ в водах рек от геохимических условий бассейна и антропогенного воздействия и связанная с ними специфика содержания приоритетных загрязняющих веществ, требуют разработки региональных нормативов, учитывающих требования здравоохранения и экологии.

Из таблицы 1 следует, что наиболее значительную роль в формировании загрязнения вод играют геохимические провинции с повышенным содержанием элементов и горно – добывающие предприятия в бассейнах этих рек [5]. Вторым по значимости фактором являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности ЦБК и деревообработки в бассейне р. Сев.Двины, выполняющие недостаточную очистку сточных вод на р. Пельшме в г. Сокол [1].

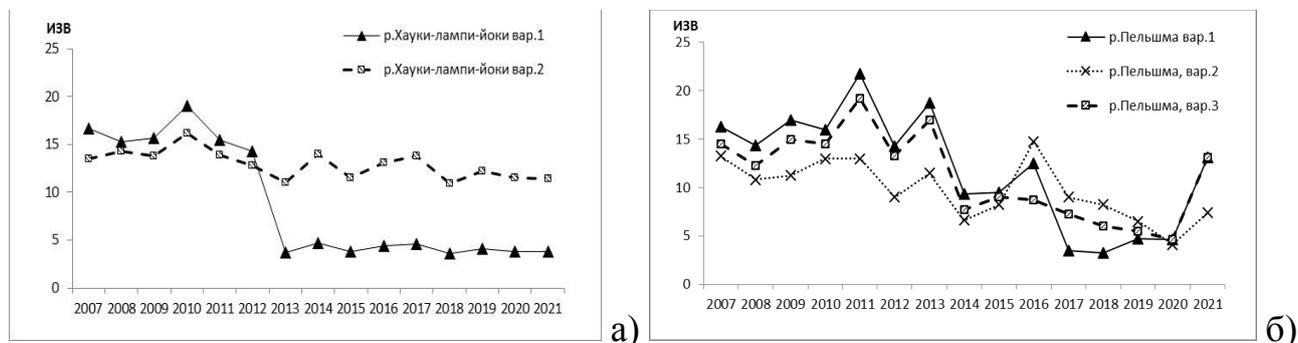
Таблица 1

### **Изменение ИЗВ и класса качества вод на реках ЕЧР в период 2007-2021 гг.**

<i>Объект</i>	<i>Приоритетные загрязняющие вещества</i>	<i>Диапазон изменения ИЗВ</i>	<i>Класс качества вод</i>
р.Хауки-лампи-йоки, г.Заполярный	Cu,Zn,Ni	7,9-13,6 (1 вариант)	VII
р.Хауки-лампи-йоки, г.Заполярный	Дитиофосфат,Cu,Zn,Ni,N-NO <sub>2</sub>	11,3-19,0 (2 вариант)	VII
р. Охта, г.Санкт-Петербург	Cu,Mn,Fe	3,3-13,7	VI-VII
р.Сев.Двина, г.Красавино	Cu,Mn, Ni, Fe	2,2-6,8	V-VII
р.Пельшма, г.Сокол	БПК <sub>5</sub> , ХПК, лигносульфонат, фенол	3,2-21,7 (1 вариант)	VI-VII
р.Пельшма, г.Сокол	БПК <sub>5</sub> , ХПК, лигносульфонат, Fe	4,1-13,2 (2 вариант)	VI-VII
р.Пельшма, г.Сокол	БПК <sub>5</sub> , ХПК, фенол, Fe	4,6-19,2 (3 вариант)	VI-VII
р. Волга, г. Ниж.Новгород	Cu, N-NO <sub>2</sub> , N-NH <sub>4</sub> , ХПК	1,6-2	IV-V
р. Волга, г. Ниж. Новгород	Cu, N-NO <sub>2</sub> , N-NH <sub>4</sub> , ХПК, БПК <sub>5</sub>	1,7-2,7	IV-V
р. Волга, г.Астрахань	БПК <sub>5</sub> , ХПК, фенол, Cu	1,1-2,4	III-V

*Примечание:* III – умеренно-загрязненные, IV – загрязненные, V – грязные, VI – очень грязные, VII – чрезвычайно грязные.

Как видно из таблицы 1, для северных рек, испытывающих влияние предприятий рудодобывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, деревообработки и др., с высоким содержанием приоритетных ЗВ в воде (ТМ, дитиофосфат, N-NO<sub>2</sub>, БПК<sub>5</sub>, ХПК, лигносульфонат, фенол и др.) – характерны высокие значения ИЗВ. По показателю ИЗВ воды рр. Хауки-лампи-йоки, Охты и Пельшмы относятся к VI-VII классу качества (очень грязные и чрезвычайно грязные).



**Рис.1. Динамика изменения ИЗВ для р. Хауки-лампи-йоки (а) и р. Пельшмы (б) в период 2007-2021 гг. (при различных вариантах приоритетных загрязняющих веществ (см. табл.1))**

Воды р. Сев.Двины в створе г.Красавино относятся к V-VII классу (грязные, очень грязные и чрезвычайно грязные), значения ИЗВ здесь, соответственно, ниже (табл.1). Для изменения ИЗВ в рассматриваемый период характерно снижение показателя загрязнения на наиболее загрязненных объектах: р.Хауки-лампи-йоки и р.Пельшма. Между тем, для р.Охты в створе г.Санкт-Петербург, а также для створа г.Красавино наблюдается рост загрязнения вод, что связано с хозяйственной деятельностью крупных промышленных центров, расположенных в этих городах.

Таблица 2

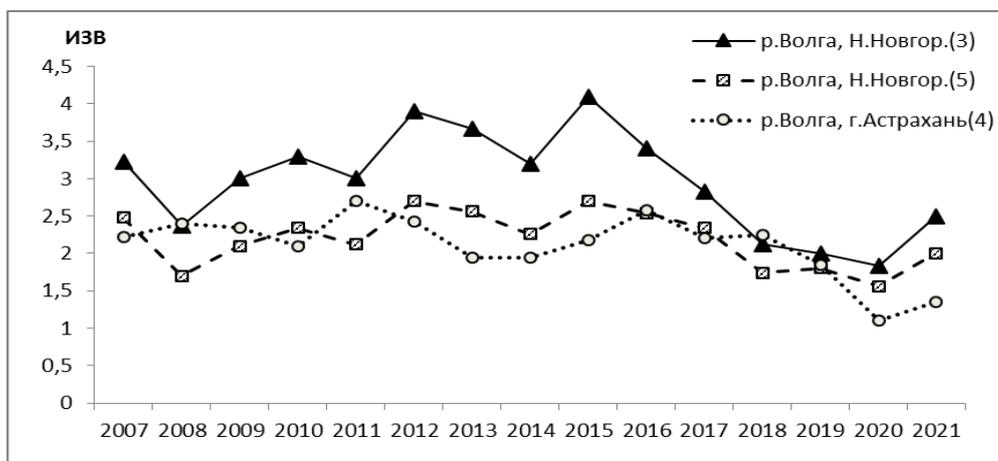
**Обеспеченность ИЗВ на реках ЕЧР в 2007-2021 гг.**

Река, пункт наблюдений	Обеспеченность, %				
	10	25	50	75	90
р.Хауки-лампи-йорк, г. Заполярный (1)	12,7	11,7	10,7	9,7	8,7
р.Хауки-лампи-йорк, г. Заполярный (2)	17,8	16,5	14,9	13,4	12,0
р.Охта, г.С-Пб	13,2	11,3	9,5	7,1	4,6
р.Пельшма, г.Сокол (1)	20,0	16,5	12,0	7,5	5,0
р.Пельшма, г.Сокол (2)	14,0	12,0	9,5	7,5	3,5
р.Пельшма, г.Сокол (3)	18,0	14,5	11,0	7,6	5,0
р.Сев.Двина, г.Красавино	6,0	4,7	3,5	3,0	2,7
р.Волга, г. Нижний Новгород (1)	3,1	3,1	2,9	2,5	1,8
р.Волга, г. Нижний Новгород (2)	2,5	2,5	2,5	2,2	1,8
р.Волга, г.Астрахань	2,6	2,5	2,4	1,7	1,4

Как следует из таблицы 2, для всех значений обеспеченности ИЗВ воды р.Хауки-лампи-йоки относятся к VII классу, при этом значения ИЗВ существенно превышают порог для чрезвычайно грязных вод ( $ИЗВ > 5$ ) при двух вариантах расчета ИЗВ. Для рр. Пельшмы и Охты также преобладает УП класс за исключением 90% обеспеченности. Для р.Волги в створе г.Нижний Новгород характерны два класса загрязнения (V и VI), для створа г.Астрахани – также два класса (IV и V). Наибольшая изменчивость класса качества вод отмечается на р.Сев. Двине в створе г.Красавино – диапазон изменений ИЗВ в период 2007-2021 гг. включает три класса качества вод (V, VI, VII).

Для центральной части ЕЧР наиболее крупным объектом является р.Волга. Основное внимание было уделено участку Нижний Новгород – Астрахань (табл.1).

Для р.Волги, которая также испытывает высокое антропогенное воздействие, классы качества вод в створах Нижней Волги относятся к диапазонам IV-V и V-VI (для разных вариантов расчета ИЗВ) – воды загрязненные, грязные, очень грязные. Наиболее высокий класс качества вод отмечен для района ниже г. Астрахани (III-V классы – умеренно загрязненные, загрязнённые и грязные). Приоритетными ЗВ р.Волги являются: ТМ, БПК<sub>5</sub>, ХПК, фенолы, N-NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>4</sub>. В изменении ИЗВ на станциях Нижней Волги в период 2007-2021 гг. (рис.2) прослеживается тенденция снижения ИЗВ, связанная с колебаниями водности и развитием экономики в условиях санкционного давления.



**Рис.2. Динамика изменения ИЗВ р. Волги в створе Нижнего Новгорода и ниже г. Астрахани в период 2007-2021 гг.**

Анализ многолетних изменений концентраций гидрохимических показателей на исследуемых участках р. Волги показал значительные различия в содержании загрязняющих веществ в воде на рассматриваемых станциях. Высокие межгодовые колебания концентраций элементов отмечены для Hg, Zn, Cu, HУ. Так, максимальные и минимальные значения концентраций Hg различались в 9-11 раз, Zn – в 6 раз, Cu – в 5-6 раз, HУ – в 3 раза. Меньшие различия наблюдались для ХПК – в 2,5раза, общего железа в 2,2-4,0 раза, БПК<sub>5</sub> в 1,8-2,4 раза [3]. На всех станциях отмечается падение концентраций ЗВ, что обусловлено рядом факторов, в том числе – снижением водности реки.

Среднемноголетние величины ИЗВ для створов Нижний Новгород и Астрахань в период 2007–2021 гг. изменялись в диапазоне от 2,11 до 2,96 (коэффициенты вариации ИЗВ имели значения от 0,17 до 0,23) т.е. были близки, что показывает достаточно высокую степень однородности и устойчивости содержания ЗВ на рассматриваемых станциях, стабильности местных факторов формирования качества воды.

### **Выводы**

Выявлены тенденции межгодовых изменений ИЗВ и гидрохимических показателей для рек ЕЧР в период 2007-2021 гг. На примере р. Хауки-лампи-йоки показано влияние геохимических условий бассейна реки и освоения рудных месторождений на качество вод реки. Высокие уровни ИЗВ отражают экстремальное загрязнение вод (VII класс качества вод – чрезвычайно грязные, в течение всего периода наблюдений). Специфические условия регионов месторождений требуют разработки регионального подхода к оценке качества вод.

На примере р. Пельшмы (приток р. Сухоны) в бассейне р. Сев.Двины, рассмотрена межгодовая изменчивость загрязнения вод реки, связанная с влиянием сбросов предприятий ЦБК и деревообработки и тенденции изменений ИЗВ.

Для рассмотренных рек в рассматриваемый период характерно снижение уровня загрязнения (за исключением р.Охты и р.Сев.Двины в районе Красавино). Снижение уровня загрязнения вод рек (по ИЗВ) в период с 2007-2021 гг., обусловлено рядом факторов, в том числе и уменьшением водности. Для разных водных объектов тенденции снижения ИЗВ различны.

*Работа подготовлена в рамках плана ИВП РАН, тема 2 Исследование геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий (N FMWZ-2022-0002), N госрегистрации 122041100236-4). Сроки выполнения темы 2022-2024 гг.*

### **Библиографический список**

1. *Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Колесниченко Н.Н.* Проблемы качества поверхностных вод в бассейне Северной Двины. М.: Наука, 2003. 233 с.
2. *Вендров С.Л.* Жизнь наших рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 112 с.
3. *Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна /отв. Ред. В.Ф. Бреховских, Е.В. Островская.* Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2017. 408 с.
4. *Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В.* Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоеме (на примере оз. Имандра). Апатиты. Изд.: Кольского науч. центра, 1997. 127 с.
5. *Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в РФ за 2021 г.* М.: Росгидромет, 2022. 216 с.

Е.В. Гайдукова<sup>1</sup>, И.Д. Босавина<sup>1</sup>, В.Г. Маргарян<sup>2</sup>, А.А. Батмазова<sup>1</sup>,  
oderiut@mail.ru

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Ереванский государственный университет, г. Ереван, Армения

## **ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В КАМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

Рассматриваются методы разбавления сточных вод: метод номограмм ГГИ, метод Фролова–Родзиллера, метод ТПИ, детальный метод разбавления. Методы отличаются входными параметрами, трудоемкостью алгоритмов расчета и точностью получаемых результатов. Апробация перечисленных методов на Камском водохранилище показала преимущества детального метода разбавления, реализуемого по схеме плоской задачи (турбулентной диффузии).

*Ключевые слова:* методы разбавления, сточные воды, концентрация, сравнение методов.

E.V Gaidukova, I.D. Bosavina, V.G. Margaryan, A.A. Batmazova, oderiut@mail.ru  
*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia*  
*Yerevan State University, Yerevan, Armenia*

## **EVALUATION OF DISTRIBUTION OF IMPURITIES IN THE KAMA RESERVOIR**

Wastewater dilution methods are considered: the nomogram method of State Hydrological Institute, the Frolov–Rodziller method, the method of Tomsk Polytechnic Institute, and the detailed dilution method. The methods differ in input parameters, the complexity of the calculation algorithms, and the accuracy of the results obtained. Aprobation of the listed methods on the Kama reservoir showed the advantages of the detailed dilution method implemented according to the planar problem scheme (turbulent diffusion).

*Keywords:* dilution methods, wastewater, concentration, method comparison.

### ***Введение***

Проблема влияния сточных вод решается на многих водных объектах и на их водосборах. Сброс сточных вод происходит с разных предприятий в разные водные системы. Одни системы способны разбавить сточные воды и сохранить свою экосистему, другие экосистемы могут преобразовываться и оказывать негативное воздействие на окружающую среду и местных жителей.

Река Кама и Камское водохранилище находятся под воздействием стоков из шламоохранилища № 2 «Белое море» [7]. Сейчас планируется рекультивация этого объекта, но сточные воды продолжают поступать в водный поток. При этом позиционируется, что загрязненные воды разбавляются в потоке и не могут оказать губительное влияние ни на ее обитателей, ни на местное население [1].

Целью исследования явилась оценка распространения примесей на участках Камского водохранилища. Рассматривались методы расчета разбавления сточных вод в естественных водотоках, по которым было рассчитано разбавление сточных вод и проведен сравнительный анализ полученных результатов.

## Методы и исходная информация

Для исследования оценки распространения примесей в Камском водохранилище различными методами имеется необходимый набор данных, предоставленный ПАО «Уралкалий»: карты-схемы створов, измеренные концентрации растворенных веществ, глубины, скорости потока, рассчитанные значения расходов воды [8].

Исследование базируется на данных измерений 2019 г. В том году 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 водоемом сезонного регулирования. Измерения концентраций растворенных веществ и других характеристик было выполнено в июле, сентябре и октябре. Источником сточных вод зафиксировано шламоохранилище № 2 «Белое море».

Были рассмотрены следующие методы расчет разбавления сточных вод в естественных водотоках: 1 – метод номограмм, разработанный в ГГИ Фаустовой Л.И.; 2 – метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера / метод ВНИИ ВОДГЕО; 3 – метод Томского политехнического института (ТПИ); 4 – детальный метод разбавления, рассчитываемый по схеме плоской задачи (турбулентная диффузия).

## Результаты исследования

1. Реализация метода номограмм [6] начинается с определения относительной зоны загрязнения  $\eta_{заг}$ : исследуемый участок водного объекта относится к определенной категории и по номограмме с помощью значения относительной длины зоны загрязнения снимается значение относительной площади зоны загрязнения (рис. 1).

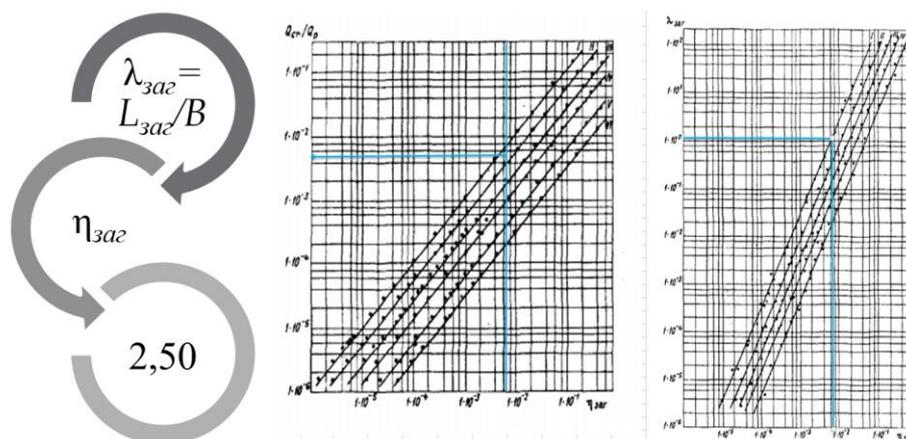
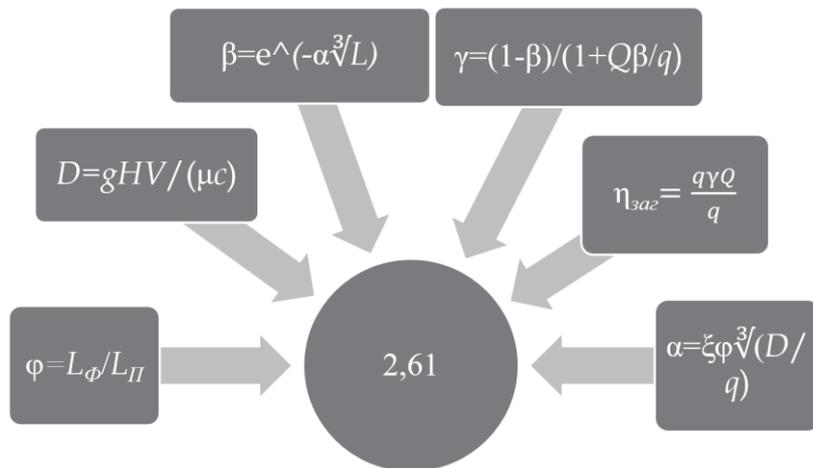


Рис. 1. Расчет методом номограмм, разработанный в ГГИ ( $L_{заг}$  – длина зоны загрязнения;  $\lambda_{заг}$  – относительная длина зоны загрязнения;  $B$  – ширина потока;  $\eta_{заг}$  – относительная площадь зоны загрязнения)

Далее по номограмме для полученных значений  $\eta_{заг}$  по заданному соотношению расходов сточных и природных вод находится кратность разбавления  $n$ , которая для рассматриваемого водного объекта получилась равной 2,50,

т.е. начальная концентрация загрязняющего веществ уменьшится в 2,5 раза на расстоянии 15 км.

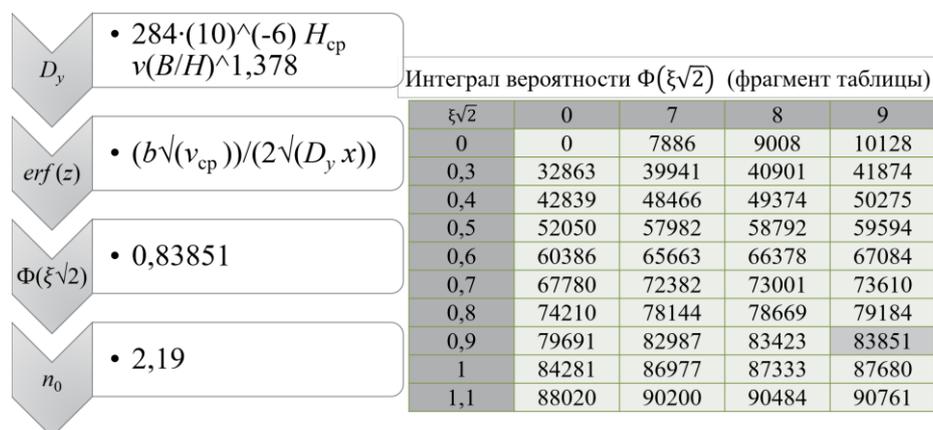
2. При реализации метода Фролова–Родзиллера [3] с помощью математических формул, приведенных на рис. 2, производится расчет кратности основного разбавления. Для рассматриваемого объекта полученная кратность разбавления равна 2,61.



**Рис. 2. Расчет методом Фролова–Родзиллера / метод ВНИИ ВОДГЕО**  
 ( $\phi$  – безразмерный коэффициент извилистости, равный отношению расстояния по фарватеру  $L_\phi$  от места выпуска сточных вод до рассматриваемого створа к расстоянию между этими створами по прямой  $L_{II}$ ;

$L$  – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до рассматриваемого контрольного створа;  $\alpha$  – безразмерный коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения;  $\xi$  – коэффициент, зависящий от расположения выпуска сточных вод в водоток;  $D$  – коэффициент турбулентной диффузии;  $g$  – ускорение свободного падения;  $V$  – средняя скорость течения реки на рассматриваемом участке;  $H$  – средняя глубина реки;  $c$  – коэффициент Шези;  $\mu$  – функция коэффициента Шези;  $Q$  – расход воды;  $q$  – расход загрязняющих вод)

3. Чтобы найти величину  $n_0$  по методу ТПИ [4; 5] (рис. 3) сначала находится коэффициент поперечной дисперсии. Потом с помощью несложных расчетов и таблицы интегралов вероятности определяется функция ошибок. Затем, используя полученные значения, определяется либо кратность разбавления, либо максимальная концентрация загрязняющего вещества. Получена кратность разбавления равная 2,19.



**Рис. 3. Расчет методом ТПИ** ( $b$  – расстояние от берега до выпуска сточных вод;  $B$  – ширина реки;  $D_y$  – коэффициент дисперсии в поперечном направлении;  $erf(z)$  – функции ошибок;  $H_{cp}$  – средняя глубина на участке;  $H$  – глубина;  $v_{cp}$  – средняя скорость)

4. Детальный метод разбавления реализует схему плоской задачи (турбулентной диффузии) [2].

На первом этапе находится начальное разбавление струи и ширина загрязненной части водотока в начальном створе. Затем рассчитывается разбавление на каждом последующем расчетном шаге по длине водотока.

С увеличением расстояния от места сброса сточных вод уменьшается концентрация загрязняющих веществ. И на расстоянии 15 км разбавление достигает значения в 2,35 раз.

На середине потока сохраняется самая большая концентрация загрязняющего вещества, а к границам потока концентрация уменьшается.

В таблице представлены полученные разными методами результаты расчетов. Видно, что результаты мало отличаются друг от друга, что косвенно подтверждает правильность расчетов. Разница в результирующих значениях предположительно появляется из-за погрешностей округления в каждой расчетной формуле. Наименьший результат расчета составил по методу ТПИ, а наибольший по методу Фролова–Родзиллера. Разница между этими результатами составила 0,42 раза в кратности разбавления.

Таблица

**Сравнение результатов оценки кратности разбавления сточных вод на участке Камского водохранилища**

Значение разбавления	Название метода			
	Метод номограмм, разработанный в ГГИ	Метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера / метод ВНИИ ВОДГЕО	Метод ТПИ	Метод по схеме плоской задачи (турбулентная диффузия)
	2,50	2,61	2,19	2,35

### **Выводы**

Примеси, попадающие в Камское водохранилище из шламоохранилища № 2 «Белое море», через 15 км разбавляются средним в 2,4 раза.

Применяемые методы (метод номограмм ГГИ, метод Фролова–Родзиллера, метод ТПИ, детальный метод разбавления) отличаются входными параметрами, трудоемкостью алгоритмов расчета и точностью получаемых результатов.

К практически простому методу можно отнести метод номограмм ГГИ, требующий для своей реализации минимальный объем данных. Самым трудозатратным методом является метод Фролова–Родзиллера, включающий множество формул, для расчета по которым требуется наибольшее количество входной информации. Несмотря на то, что метод плоской задачи выглядит достаточно трудоемким из-за реализации схемы конечно-разностной аппроксимации уравнения турбулентной диффузии, исходные данные не многочисленны, и проведение расчетов в автоматическом режиме не занимает много времени.

## Библиографический список

1. *Березниковский содовый завод* заявил, что уберет шламонакопитель «Белое море» до 2030 года // 59.ru Пермь онлайн, 2020. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://59.ru/text/ecology/2020/11/18/> (дата обращения 16.02.2023).
2. *Караушев А.В.* Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 176 с.
3. *Родзиллер И.Д.* К вопросу о расчете сточных вод в реках. М.: Изд. ВНИИ ВОДГЕО, 1976. 31 с.
4. *Савичев О.Г.* Метод оценки допустимых антропогенных изменений химического состава поверхностных вод // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. С. 51–55.
5. *Савичев О.Г., Кузеванов К.И., Хващевская А.А., Янковский В.В.* Экологическое нормирование: методы расчета допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. Томск: Томский политех. ун-т, 2009. 108 с.
6. *Фаустова Л.И.* Зависимость размеров зон загрязнения от гидрологических факторов. // Труды ГГИ. 1978. Вып. 249. С. 109–114.
7. *Ядовитые отходы* продолжают загрязнять Каму. Экологи бьют тревогу // News, 2020. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://news.myseldon.com/ru/news/> (дата обращения 16.02.2023).
8. *Batmazova A.A., Gaidukova E.V., Vinokurov I.O.* On the issue of using Auto-Cad to assess flow rates (on the example of the Kama reservoir) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 8. Сер. "VIII All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation "Modern Problems of Reservoirs and Their Catchments"" 2021. С. 012002.

Е.С. Гришанцева<sup>1</sup>, Л.П. Федорова<sup>2</sup>, М.Л. Григорьева<sup>1</sup>, И.Ю. Николаева<sup>1</sup>,  
М.Е. Тарнопольская<sup>1</sup>, shes99@mail.ru

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

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, Ивановская научно-исследовательская станция,  
г. Конаково, Тверская область, Россия

## **БИОАККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДВУСТВОРЧАТЫМИ МОЛЛЮСКАМИ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Определены уровни содержания микроэлементов (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ag, Cd, Pb) в двустворчатых моллюсках вида *Dreissena polymorpha Pallas* Ивановского водохранилища. Проведена оценка коэффициентов биологического поглощения микроэлементов в раковинах и тканях дрейсены относительно мелкодисперсной фракции донных осадков и воды.

*Ключевые слова* биоаккумуляция, тяжелые металлы, двустворчатые моллюски, Ивановское водохранилище.

E.S. Grishantseva<sup>1</sup>, L.P. Fedorova<sup>2</sup>, M.L. Grigorieva<sup>1</sup>, I.Y. Nikolaeva<sup>1</sup>,  
M.E. Tarnopolskaya<sup>1</sup>, shes99@mail.ru

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

<sup>2</sup>Institute of Water Problems of the RAS, Ivankovskaya Research Station,  
Konakovo, Tver Region, Russia

## **BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS BY BIVALVE MOLLUSKS OF THE IVANKOVO RESERVOIR**

The levels of trace elements (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ag, Cd, Pb) in bivalve mollusks of the species *Dreissena polymorpha Pallas* of the Ivankovo reservoir were determined. The coefficients of bioaccumulation of trace elements in the shells and tissues of the dreissena relative to the fine fraction of bottom sediments and water were evaluated.

*Keywords:* bioaccumulation, heavy metals, bivalve mollusks, Ivankovo reservoir.

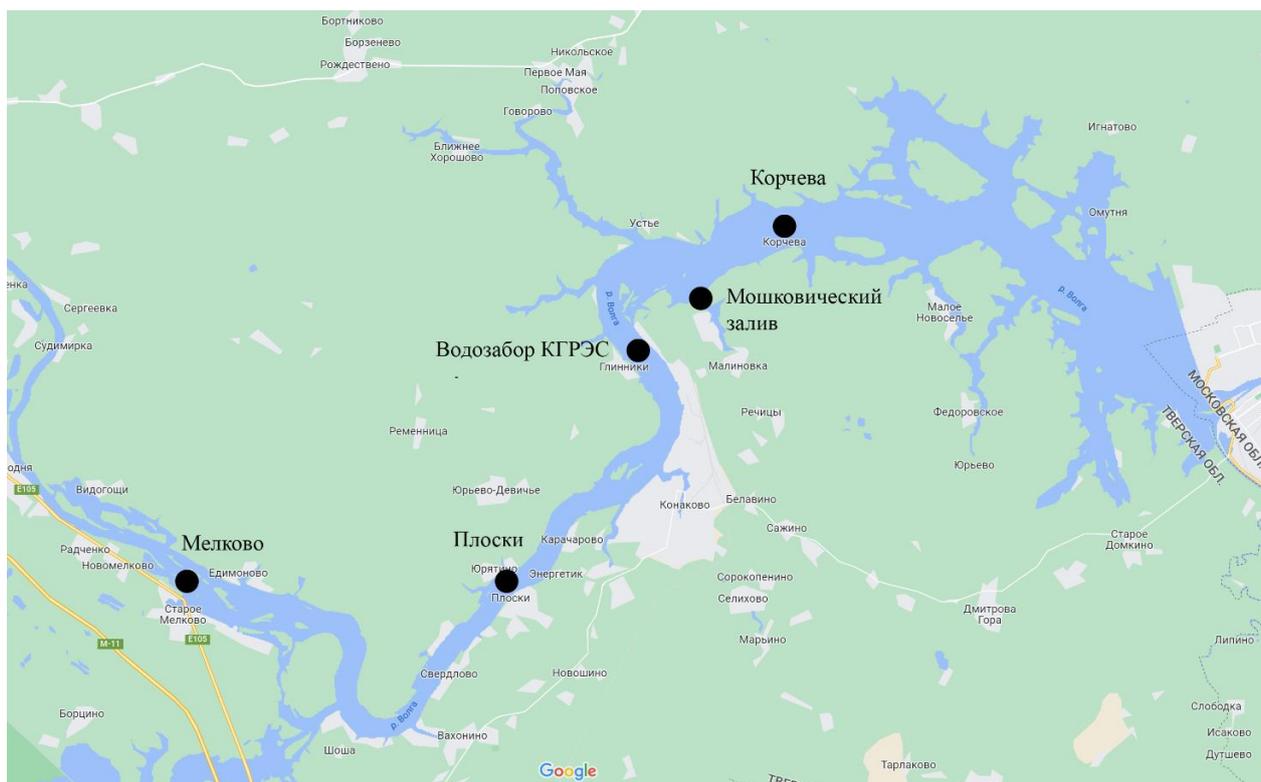
### ***Введение***

Целью работы является выявление закономерностей биоаккумуляции тяжелых металлов (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ag, Cd, Pb) в системе гидробионты – вода – донные отложения Ивановского водохранилища. Задачами исследования были: определение уровней концентраций микроэлементов в абиогенных компонентах экосистемы Ивановского водохранилища (в воде и донных осадках); определение средних значений и диапазонов содержаний микроэлементов в мягких тканях и раковинах двустворчатых моллюсков вида *Dreissena polymorpha Pallas*. Изучение биоаккумуляции микроэлементов в водных экосистемах важно как для практической оценки границ устойчивости организмов в условиях антропогенной нагрузки, так и с точки зрения вклада организмов в биогеохимическую миграцию химических элементов в водных объектах и

участия элементов в процессах перераспределения и изменения форм их миграции в водных экосистемах [2].

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

Биогеохимические исследования проводились на одном из Верхневолжских водохранилищ – Ивановском водохранилище, расположенном в Московской области, и используемом для целей питьевого водоснабжения г. Москвы, гидроэнергетики, судоходства, рыбного хозяйства и рекреации. Отбор проб донных осадков, поверхностных вод и гидробионтов проводился в июле 2021-2022 г. в створах Мелково, Плоски, водозабор КГРЭС, Корчева и в устье Мошковического залива (рисунок). Отбор образцов также проводили в местах высокой антропогенной нагрузки на водоем – в устье р.Донховка и в месте сброса сточных вод в Мошковическом заливе, однако там были обнаружены только танатоценозы, живые особи дрейсен не были найдены. Донные отложения отбирали с помощью дночерпателя в пластиковые емкости, масса каждой пробы составляла 500 г. Поверхностные воды отбирали с глубины 1-1,5 м с помощью батометра и сразу фильтровали через мембранный фильтр (шприц-насадка с ацетатно-целлюлозным фильтром, диаметр пор 0,45 мкм) для разделения взвешенных и растворенных форм микроэлементов и подкисляли 0,5 мл  $\text{HNO}_3$  конц марки ОСЧ на 15 мл пробы.



**Схема расположения станций отбора проб на Ивановском водохранилище**

Из проб донных осадков в лаборатории была выделена мелкодисперсная фракция размерностью менее 0,1 мм методом ситования. Мелкодисперсную фракцию донных осадков переносили в фарфоровые тигли и высушивали при 105<sup>0</sup>С до постоянной массы.

В качестве объекта исследования были выбраны двустворчатые моллюски вида *Dreissena polymorpha Pallas*, как наиболее многочисленные и широко распространенные в водоемах средней полосы России. Образцы моллюсков отбирались с помощью драги в пластиковые емкости, общая масса образцов составляла около 500 гр.

Образцы гидробионтов разделяли по размеру раковины на две группы большие и маленькие особи. Большие особи имели размер раковин от 24 до 30 мм, маленькие – от 12 до 18 мм. Поскольку размер раковины зависит от возраста дрейсены, маленькие особи имели возраст около 2-х лет, а большие – около 4-х лет. Образцы моллюсков очищали от взвеси, промывали в дистиллированной воде, и препарировали на раковины и мягкие ткани. Мягкие ткани помещали в фарфоровые тигли и высушивали в сушильном шкафу при температуре 50°C 6 часов до постоянной массы, а затем разлагали в  $\text{HNO}_3$  конц. Раковины сушили, дробили и истирали в агатовой ступке, а затем разлагали методом спекания [1], как и мелкодисперсную фракцию донных осадков. Абсолютная весовая влажность составляла для раковин от 2 до 13%, для мягких тканей 56-91%. Определение содержания микроэлементов в гидробионтах, донных осадках и воде проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре ELEMENT-2 фирмы Thermo Scientific на кафедре геохимии Геологического факультета МГУ. Контроль полноты разложения образцов и оценку правильности результатов анализа проводили по государственным и международным стандартным образцам: для донных отложений и раковин – СДО-3 (известковый ил); для тканей гидробионтов – MODAS 3 (M\_3HerTis Herring tissue, Clupea harengus from the North Sea – ткань атлантической сельди из Северного моря). Контроль правильности для анализов проб воды проводил по международным стандартным образцам CRM TMDW (Trace Metals in Drinking Water Standart – многоэлементный калибровочный стандарт следов металлов в питьевой воде).

### ***Результаты и их обсуждение***

Средние значения концентраций микроэлементов в раковинах и тканях двустворчатых моллюсков, мелкодисперсной фракции донных осадков и воде Ивановского водохранилища приведены в таблице 1.

Поскольку дрейсена является фильтратором и сестонофагом, т.е. способна усваивать микроэлементы как в виде растворенной формы из природных вод, так и из взвеси, расчет коэффициентов биологического поглощения (КБП) проводили для системы гидробионт-вода (КБП<sub>в</sub>), и гидробионт-донные отложения (фракция менее 0,1 мм) (КБП<sub>до</sub>).

Коэффициент биологического поглощения рассчитывался как отношение содержания микроэлемента в органе гидробионта (на сухую массу, мг/кг) к содержанию в компоненте среды, из которого организм может поглощать микроэлементы (мелкодисперсная фракция донных осадков, мг/кг; вода мг/л) (табл.2).

Таблица 1

**Средние концентрации микроэлементов в гидробионтах, донных осадках и воде  
Иваньковского водохранилища**

	<i>Ag</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Sr</i>	<i>As</i>
концентрация в тканях <i>Dreissena polymorpha Pallas</i> , мг/кг сухой биомассы												
М n=20	0.10	0.39	1.0	1.0	3	570	1.8	14	14	92	16	3.6
Б n=20	0.11	0.46	1.5	0.99	3.5	1316	2.3	23	13	135	24	4.1
концентрация в раковинах <i>Dreissena polymorpha Pallas</i> , мг/кг сухой биомассы												
М n=20	0.2	0.04	0.8	15.0	3.4	521	2.0	12	28	14	443	6.0
Б n=20	0.18	0.07	0.6	15.4	3.2	1365	2.3	11	29	10	523	4.1
концентрация в донных отложениях (фракция меньше 0,1 мм), мг/кг сухой массы												
n=10	0.47	0.92	18.9	89.4	68	1609	10.5	25.6	50.4	228	129	6.5
концентрация в воде, мкг/л												
n=10	0.03	0.01	0.15	0.39	1.19	4.2	0.07	1.19	1.89	2.2	126	0.96

Примечание: М – дрейсенy с размером раковины 12-18 мм, Б – дрейсенy с размером раковины 24-30 мм; n – количество проб.

Таблица 2

**Средние значения КБП микроэлементов в системе гидробионт-вода, гидробионт-донные осадки**

	<i>Ag</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Sr</i>	<i>As</i>
КБП микроэлементов мягкими тканями дрейсен												
КБП <sub>в</sub> n=20	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^3$
КБП <sub>до</sub> n=20	0.2	0.4	0.06	0.1	0.04	0.05	0.2	0.8	0.3	0.5	0.2	0.6
КБП микроэлементов раковинами дрейсен												
КБП <sub>в</sub> n=20	$6 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$
КБП <sub>до</sub> n=20	0.4	0.06	0.04	0.01	0.04	0.5	0.2	0.4	0.6	0.05	3.7	0.7

Примечание: n – количество проб.

Получены следующие средние значения КБП<sub>в</sub> для системы гидробионт-вода для мягких тканей дрейсенy:  $n \cdot 10^5$  для Mn;  $n \cdot 10^4$  для Cd, Co, Ni, Cu;  $n \cdot 10^3$  для Ag, Pb, V, Cr, Cu, As;  $n \cdot 10^2$  для Sr; для раковин:  $n \cdot 10^5$  для Mn;  $n \cdot 10^4$  для V, Co, Ni, Cu;  $n \cdot 10^3$  для Ag, Cd, Pb, Cr, Zn, Sr, As. Величины КБП<sub>до</sub> в системе гидробионт-донные осадки в мягких тканях были меньше 1 для всех элементов и находились в диапазоне  $n \cdot 10^{-1}$   $n \cdot 10^{-2}$ . КБП<sub>до</sub> в раковинах относительно донных отложений также находится в пределах  $n \cdot 10^{-1}$   $n \cdot 10^{-2}$ . Исключение составляет Sr для которого в раковинах был получен КБП<sub>до</sub> = 3.7.

## **Выводы**

Установлены уровни содержания микроэлементов в двустворчатых моллюсках вида *Dreissena polymorpha Pallas* Иваньковского водохранилища, которые отражают физиологическую потребность элементов для данного вида гидробионтов. Показано, что концентрации микроэлементов в мягких тканях и раковинах дрейсен не зависят от возраста и размера особи. Крупные и мелкие особи дрейсен накапливают одинаковое количество микроэлементов. Исключение составляют Pb, Mn, Co, Ni, Zn, Sr, As, концентрации которых выше в мягких тканях крупных особей по сравнению с мелкими, что можно объяснить сложностью удаления частиц взвеси с сорбированными на ней микроэлементами из внутренних органов при пробоподготовке. Концентрация марганца в раковинах крупных особей выше, чем в мелких.

Проведенный сравнительный анализ распределения микроэлементов между органами дрейсен показывает, что в мягких тканях более активно накапливаются Cd, Pb, Zn. Эти элементы в дальнейшем могут перераспределяться по пищевым цепям. Элементы Ag, V, Cu, Sr в большей степени аккумулируются в раковинах дрейсен, и таким образом довольно прочно связываются на длительный период, а после отмирания дрейсен переходят в состав донных отложений. Для Cr, Mn, Co, Ni, As получены одинаковые показатели биоаккумуляции в мягких тканях и раковинах.

*Биогеохимические исследования выполнены в рамках темы «Экспериментальные исследования форм нахождения, адсорбции, миграции и геохимических циклов микроэлементов в гидротермальных системах и водах континентальной литосферы» (номер цитис 121071200143-2) Гос. задания МГУ; гидробиологические исследования выполнены в рамках темы «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий» (№ FMWZ-2022-0002) Гос. задания ИВП РАН.*

## **Библиографический список**

1. Бычкова Я. В., Николаева И. Ю., Ермина О.С. и др. Методические особенности подготовки твердых геологических проб для мультиэлементного анализа методом ИСП-МС // Вестник Моск. ун-та. Сер.4. Геология. 2018. № 5. С. 54–57.
2. Демина Л.Л. Биогенная миграция микроэлементов в океане: автореф. дисс... д-ра. геол.-мин. наук. М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. 2010. 48 с.

Е.С. Гришанцева<sup>1,2</sup>, С.В. Ясинский<sup>1</sup>, Е.А. Кашутина<sup>1</sup>, shes99@mail.ru

<sup>1</sup>Институт географии РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. Ломоносова, г. Москва, Россия

## **ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛЫХ РЕК НИЖНЕГО НОВГОРОДА КАК ИНДИКАТОР АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Приведены результаты изучения микроэлементного состава и дана характеристика геохимических ассоциаций элементов в донных осадках малых рек г. Нижнего Новгорода: Левинка, Параша, Борзовка, Ржавка, Кова, Рахма. Определены фоновые содержания микроэлементов (Be, Hg, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Tl, Pb, Bi, Th, U) в донных осадках малых рек.

*Ключевые слова:* малые реки Нижнего Новгорода, донные отложения, тяжелые металлы.

E.S. Grishantseva<sup>1,2</sup>, S.V. Yasinsky<sup>1</sup>, E.A. Kashutina<sup>1</sup>, shes99@mail.ru

<sup>1</sup>Institute of Geography of the RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## **GEOCHEMICAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL RIVERS OF NIZHNY NOVGOROD AS AN INDICATOR OF ANTHROPOGENIC IMPACT**

The results of studying the trace element composition are presented and the characteristics of geochemical associations of elements in the bottom sediments of small rivers of Nizhny Novgorod are given: Levinka, Parasha, Borzovka, Rust, Kova, Rakhma. The background contents of trace elements were determined (Be, Hg, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Tl, Pb, Bi, Th, U) in the bottom sediments of small rivers.

*Keywords:* small rivers of Nizhny Novgorod, bottom sediments, heavy metals.

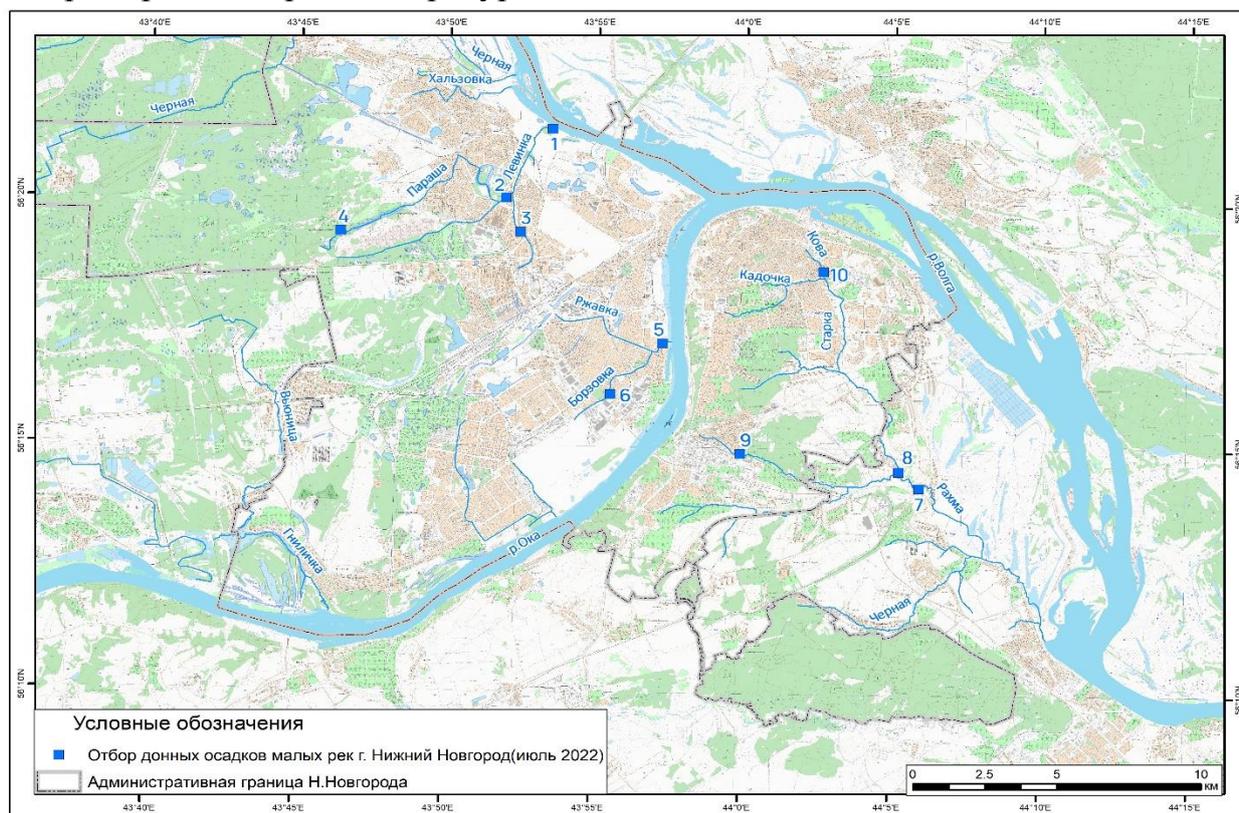
### ***Введение***

Целью работы являлась эколого-геохимическая оценка состояния донных осадков малых рек г. Нижний Новгород. Геохимический состав донных отложений отражает интегральное влияние природных факторов и уровень антропогенной нагрузки на территории их водосбора. Неудовлетворительное экологическое состояние малых рек оказывает негативное влияние на качество воды р. Волга, в бассейне которой они находятся. Загрязненные донные осадки могут являться источником вторичного загрязнения поверхностных вод.

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

Отбор образцов донных осадков малых рек г. Нижний Новгород проводился в июле 2022 г. на 10 створах, расположенных на рр. Левинка, Параша, Ржавка, Борзовка, Старка, Рахма, Кова (рис.1). Верхний слой донных осадков

(0-10 см) отбирали с помощью дночерпателя в пластиковые контейнеры объемом 1 литр и хранили при температуре 4 °С.



**Рис.1. Карта отбора проб донных отложений малых рек г. Нижний Новгород**

Концентрации микроэлементов в донных осадках определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре ELEMENT-2 фирмы Thermo Scientific. Образцы осадков разлагали спеканием с  $\text{NaHCO}_3$  с последующим растворением в смеси кислот  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HF}$ . Контроль полноты вскрытия пробы проводили по ГСО СДО-3 (известковый ил), которые разлагали как анализируемые образцы. Концентрацию ртути определяли методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе «РА-915+». Содержания микроэлементов в донных осадках малых рек приведены в таблице 1.

### *Анализ результатов*

Для анализа полученных геохимических данных и характеристики геохимических ассоциаций элементов в донных отложениях рек принято использовать такие показатели как коэффициент концентрации химического элемента  $K_c$ , формула геохимической ассоциации, суммарный показатель загрязнений  $Z_c$  [1; 3]. Охарактеризовать техногенные геохимические аномалии в донных осадках малых рек можно путем расчета коэффициентов концентрации химических элементов  $K_c$  и приведения формулы геохимической ассоциации элементов для каждого малого водотока. Коэффициенты концентрации химических элементов ( $K_c$ ), характеризующие интенсивность геохимической аномалии, уровень концентрирования элемента в геохимическом объекте рассчитывали по формуле  $K_c = C_i / C_{\phi}$ , где  $C_i$  – концентрация химического элемента в донных осадках конкретной реки,  $C_{\phi}$  – фоновое содержание этого элемента для рек района исследования. В качестве

фоновых концентраций приняты средние значения концентраций элементов в донных отложениях малых рек, водосборы которых расположены в пределах ненарушенных природных ландшафтов, где нет явных антропогенных источников загрязнения. Значения фоновых концентраций элементов для донных осадков малых рек Нижнего Новгорода приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Содержание химических элементов в донных осадках малых рек  
г. Нижний Новгород, в мг/кг**

№	место отбора	Be	Hg	Mg	Al, %	P	K	Ca	Ti	V	Cr
1	Устье р. Левинки	0,5	0,21	2668	2,7	442	8871	2333	1094	21	39
2	р. Параша, около автомобильного моста	0,9	0,02	6797	3,3	228	9982	2773	2414	31	54
3	р. Левинка, около лица	0,2	0,01	932	0,8	93	2848	2864	249	4	9
4	р. Параша	1,1	0,13	1782	1,8	1018	3504	4216	763	27	41
5	устье р. Ржавки	0,5	0,15	15532	2,1	2289	6107	14644	1454	28	102
6	р. Борзовка, в парке «Дубки»	1,5	0,45	3196	7,2	1221	13020	2837	3529	44	524
7	р. Старка после впадения р. Рахмы	0,5	0,04	7248	2,6	473	9254	6360	2507	21	60
8	р. Старка перед впадением в р. Рахму	0,9	0,08	13524	3,8	641	13195	11093	3879	36	93
9	верховье р.Рахмы	0,3	0,13	11149	1,4	442	4442	12520	929	18	55
10	р. Кова	0,4	0,10	18417	2,3	640	7936	17761	2320	30	67
	<b>фон</b>	<b>0,4</b>	<b>0,05</b>	<b>4109</b>	<b>2,3</b>	<b>422</b>	<b>3766</b>	<b>3709</b>	<b>968</b>	<b>19,8</b>	<b>39</b>

№	Mn	Fe, %	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
1	520	1,4	4,1	28,7	26,9	55	4,8	27	65	8	84	3
2	203	1,9	4,4	17,4	24,6	67	3,2	39	54	18	142	6
3	150	0,6	1,2	4,6	23,7	47	2,9	9	33	2,6	21	0,6
4	390	5,4	8,5	23,1	35	150	9,9	13	45	14,4	83	2,4
5	918	13	7,1	28,3	81,3	271	8,8	21	124	11,3	91	3,5
6	902	16	21	191	429	765	17,5	20	61	11	149	4
7	397	1,5	5,8	23,8	29,7	81	4,2	26	89	15,7	208	5,3
8	879	2,3	9,2	34,6	42,9	134	5,5	42	111	24,5	309	9,2
9	374	1,1	4,5	17,6	102	143	3,8	15	63	9,3	79	2,0
10	412	1,7	6,6	26,3	56,2	204	4,2	25	90	12,8	120	4,4
фон	331	1,9	3,6	18,8	28	88	4,0	18	52	9	68	2,6

№	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
1	0,5	0,2	0,2	2,2	0,5	217	0,8	0,03	14,2	0,06	2,2	0,69
2	0,3	0,3	0,2	1,1	0,3	236	0,6	0,02	10,5	0,08	4,5	0,96
3	0,3	0,1	0,06	0,6	0,3	94	5,6	0,02	6,2	0,01	0,5	0,23
4	1,6	0,2	0,6	2,1	0,9	150	1,3	0,01	42,6	0,11	2,0	0,64
5	4	0,2	0,9	8,7	2,7	286	5	0,02	56,2	0,2	2,4	1,16
6	6,8	0,3	1,2	8	6,3	414	4,7	0,28	150	1,38	1,2	1
7	0,3	0,4	0,5	2,5	0,4	236	0,6	0,04	12,6	0,08	3,2	0,78
8	0,6	0,6	0,3	2,7	1,2	289	1,7	0,02	26,6	0,18	6,1	1,32
9	0,7	0,3	0,6	7,7	3,3	138	2	0,03	26,5	0,16	1,4	0,65
10	1	0,3	0,4	5,1	10,6	208	2,3	0,04	34	0,21	2,6	0,75
фон	0,5	0,2	0,2	2	0,6	182	1	0,02	16,1	1,09	2,0	0,7

Расчет коэффициентов концентрации проводился для элементов, которые относятся к трем классам опасности химических элементов, присутствующих в

воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [2]: 1 класс опасности (чрезвычайно опасные) Be, Hg, Tl; 2 класс опасности (высоко опасные) Ag, Al, As, B, Ba, Bi, Br, Cd, Co, F, Li, Mo, Nb, Sb, Se, Sr, Te, Pb, W; 3 класс опасности (опасные) Cr, Cu, Mn, Ni, Ri, V, Zn.

Формула геохимической ассоциации характеризует элементный состав и структуру геохимической аномалии объекта исследования и представляет собой ранжированный по значениям  $K_c$  ряд. Конкретная геохимическая ассоциация характерна для конкретного источника антропогенного воздействия, отличается определенным количественным соотношением значений  $K_c$  [3]. Формулы геохимических ассоциаций элементов-загрязнителей донных осадков малых рек г. Нижний Новгород приведены в таблице 2. Значение суммарного показателя загрязнения  $Z_c$ , отражающего аддитивное превышение фонового уровня группой элементов, характеризует общий уровень техногенного загрязнения малой реки. Суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  рассчитывается по формуле:  $Z_c = (\sum K_c) - (n - 1)$ , где n-число, равное количеству химических элементов, входящих в геохимическую ассоциацию. Полученные для малых рек значения суммарного показателя загрязнения приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Геохимические ассоциации элементов в донных осадках малых рек г. Нижний Новгород**

№	место отбора	формула геохимической ассоциации	$Z_c$
1	устье р. Левинки	$Hg_{4.2}-(Al, Mn)_{1.6}-Ni_{1.5}$	5,9
2	р. Параша, около автомобильного моста	$Ti_{2.5}-(Be, Nb)_{2.3}-Al_2-V_{1.6}$	6,7
3	р. Левинка, около лица	$W_{5.6}$	5,6
4	р. Параша	$Mo_{3.3}-Be_{2.8}-(Hg, Cd, Pb)_{2.6}-As_{2.5}-Co_{2.4}-Zn_{1.7}-Sb_{1.5}$	14
5	устье р. Ржавки	$Mo_{7.9}-W_5-(Cd, Sb)_{4.5}-Pb_{3.5}-(Zn, Hg)_3-(Mn, Cr, Cu)_{2.9}-(As, Co)_2-(Ba, Ni, Ti)_{1.5}$	34,6
6	р. Борзовка, в парке «Дубки»	$Cu_{15.3}-(Tl, Cr, Mo)_{13}-(Ni, Sb)_{10}-(Pb, Hg)_9-Zn_8-(Co, Cd)_{5.7}-W_{4.7}-Be_{3.8}-As_3-Ba_{2.3}-Nb_{1.5}$	112
7	р. Старка после впадения р. Рахмы	$Ti_{2.6}-Cd_{2.4}-(Nb, Tl)_2-(Ag, Al)_{1.7}$	7,4
8	р. Старка перед впадением в р. Рахму	$Ti_{4.1}-Nb_{3.5}-(Mn, Co, Ag)_{2.6}-(Be, Al, Cr)_{2.3}-Sb_2-(Ni, Pb, V)_{1.8}-(Ba, Hg, Zn)_{1.6}$	20,5
9	верховье р.Рахмы	$Sb_{5.5}-Cu_{3.7}-Cd_3-Hg_{2.6}-W_2-(Pb, Zn)_{1.6}-(Mo, Tl)_{1.5}$	15
10	р. Кова	$Sb_{17.7}-(Ti, W, Zn)_{2.3}-(Hg, Cu, Pb, Tl, Co, Mo)_2-(Cd, Nb, Cr)_{1.7}-V_{1.5}-Ni_{1.4}$	30,6

Примечание: цифровые индексы в формуле около символов х.э. соответствуют значениям  $K_c$

### **Выводы**

Проведенные эколого-геохимические исследования малых рек г. Нижний Новгород показывают высокую степень антропогенной нагрузки на водосборы малых рек, а полученные характеристики геохимических ассоциаций элементов в донных осадках отображают геохимические черты антропогенного воздействия на территории их водосборов. Самый высокий уровень техногенного за-

грязнения донных осадков микроэлементами (значения  $Z_c=34-112$ ), который соответствует опасной санитарно-токсикологической обстановке обнаружен в рр. Ржавка и Борзовка. Для донных осадков этих рек характерны не только самые высокие концентрации большого количества токсичных микроэлементов, значительно превышающие фоновые содержания, но и широкий спектр элементов-загрязнителей, которые сформировали геохимическую аномалию. Причем, в состав геохимических ассоциаций элементов-загрязнителей донных осадков этих рек входят элементы 1-го класса опасности (Hg, Tl, Be), для которых наблюдаются высокие значения  $K_c$ . Реки Левинка и Параша характеризуются концентрациями большинства элементов на уровне фоновых значений. Геохимические аномалии в донных осадках этих рек представлены малым количеством элементов, преимущественно 2-го и 3-го классов экологической опасности. На примере р.Левинка показано, что устьевые зоны рек являются своеобразными геохимическими барьерами, на которых происходит осаждение взвешенного материала и аккумуляция тяжелых металлов в донных осадках. В отличие от участка в среднем течении реки (створ 3), для которого характерны фоновые значения концентраций всех элементов кроме W в донных осадках, в устьевой зоне р.Левинка формируются геохимические аномалии повышенных концентраций Hg, Al, Mn, Ni. Полученные результаты показывают значительные различия в элементном составе геохимических ассоциаций элементов в донных осадках малых рек, дренирующих различные районы города.

*Работа выполнена в рамках реализации и при поддержке гранта РФФ 22-17-00224 «Формирование гидролого-геохимических процессов на водосборах каскадов Верхне-Волжских и Камских водохранилищ при различных сценариях землепользования и изменениях климата на их территориях», в рамках Государственного задания Института географии РАН FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).*

### **Библиографический список**

1. Саев Ю.Е. Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение): Автореф. дисс....д-ра геол.-мин.наук. М.: ИМГРЭ, 1982. 53 с.
2. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. М.: Минздрав России, 1998. 126 с.
3. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002. 52 с.

Ю.С. Даценко, В.В. Пуклаков, yuri0548@mail.ru  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г.Москва, Россия

## **О РОЛИ БОКОВОЙ ПРИТОЧНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИВАНЬКОВСКОГО И УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ**

Анализируется поступление загрязняющих веществ в Иваньковское и Угличское водохранилища с водами основной реки, боковых притоков и сточных вод городов, расположенных на берегах водохранилищ. Рассматриваются показатели качества воды по общей минерализации, сульфатам, аммонийному азоту, нитратам, фосфатам, железу, органическому веществу по ХПК. По процентному соотношению поступающих в водоемы потоков загрязнения и общей химической нагрузки оценивается роль этих источников химических веществ в формировании качества воды водохранилищ в различные по водности годы. Оценивается сезонная изменчивость вклада боковых притоков в качество воды.

*Ключевые слова:* водохранилище, качество воды, боковые притоки, сбросы сточных вод.

Yu.S. Datsenko, V. V. Puklakov, yuri0548@mail.ru  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## **ON THE ROLE OF LATERAL TRIBUTARIES IN THE FORMATION OF WATER QUALITY OF THE IVANKOVO AND UGLICH RESERVOIRS**

The article analyzes the flow of pollutants into the Ivankovo and Uglich reservoirs with the waters of the main river and lateral tributaries during the average water content year. Water quality indicators for total mineralization, sulfates, ammonium nitrogen, nitrates, phosphates, iron, organic matter for COD are considered. In the lateral inflow, the flows of substances with wastewater from cities located on the shores of reservoirs are calculated separately. The role of these sources of chemicals in the formation of reservoir water quality is estimated by the percentage of lateral inflow and the main river, urban wastewater and total chemical load. The seasonal variability of the contribution of lateral tributaries to water quality is evaluated.

*Keywords.* Reservoir, water quality, lateral inflow, wastewater discharges.

### ***Введение***

Интенсивное гидротехническое преобразование крупных речных систем привело к созданию каскадов водохранилищ на крупнейших реках индустриально развитых районов земного шара.

Особое значение в управлении такими системами имеют вопросы качества воды. Результаты исследований процессов трансформации качества воды в водохранилищах каскадов и водохозяйственных систем показали наличие существенных особенностей гидроэкологического режима в этих водоемах [4; 5; 6]. Формирование качества воды в каскадных водохранилищах в значительной степени определяется влиянием притока химических веществ с водным стоком из

вышерасположенного водохранилища. Степень этого влияния определяется соотношением доли бокового и основного питания в водном и вещественном балансе водохранилища.

Роль бокового притока в формировании качества воды водохранилища каскада может существенно изменяться в течение года, поскольку величины сбросов из вышерасположенного водохранилища часто находятся в противофазе с расходами воды в боковых притоках, что особенно ярко проявляется в периоды половодья при наполнении водохранилищ каскада. Помимо поступления химических веществ с естественным притоком с территории собственного водосбора, на гидрохимический режим и качество воды водохранилища оказывают влияние прямые сбросы сточных вод расположенных на берегах водохранилища городов. При относительном постоянстве расходов сточных вод влияние этих городских сбросов также будет существенно изменяться в различные фазы водного режима притока воды в водохранилище.

Таким образом, качество воды водохранилища зависит от заметно изменяющегося в течение года соотношения потоков по основной реке в виде сбросов из вышерасположенного водохранилища каскада и поступления химических веществ из естественных и антропогенных источников питания водохранилища с его бокового водосбора.

В настоящей работе такое соотношение анализируется на примере верхней ступени Волжского каскада – Ивановского водохранилища и нижерасположенного каскадного Угличского водохранилища.

### ***Объекты и методы***

В Ивановском водохранилище гидрометрически контролируемый приток с бокового водосбора представлен рр. Тверца, расход которой составляет примерно треть притока по Волге, а также Лама и Шоша. В Угличском водохранилище боковой приток контролируется на рр. Медведица, Дубна, Нерль, Кашинка. Наиболее крупные города на берегах Ивановского водохранилища – Тверь и Конаково, на Угличском водохранилище – Дубна, Кимры и Калязин.

Балансовые и модельные расчеты проведены для гидрометеорологических условий трех разных по водности лет: маловодного 1973 г., среднего по водности 1984 г. и многоводного 1981 г.

Для оценки влияния бокового и основного притоков на качество воды водохранилища использовались расчеты потоков общей минерализации, сульфатов, нитратов, аммонийного азота, фосфатов, органического вещества по ХПК, общего железа. Концентрации этих показателей в сбросах из Ивановского водохранилища рассчитывались по гидрологической модели ГМВ-МГУ, детальное описание алгоритма расчетов по которой приведено в работе [2]. Эта модель ранее была адаптирована к Ивановскому водохранилищу и позволяет с суточным шагом рассчитывать качество воды в нижнем бьефе водохранилища [3].

Поступление водного стока с бокового водосбора рассчитывалось по измеренным расходам на постах Госгидромета, а с гидрометрически неконтролируемой площади бокового водосбора – по модулю стока. Потоки по отдельным притокам и склоновому стоку суммировались и рассматривались как общий боковой

приток. Изменения показателей качества воды в притоках водохранилищ оценивались по их эмпирическим зависимостям от расходов воды, полученным по данным гидрохимических наблюдений на притоках для разных фаз годового стока.

Поступление загрязнений со сточными водами городов ориентировочно оценивалось по нормативам водоотведения сточных вод в зависимости от количества жителей. Концентрации химических веществ в сточных водах принимались средними из литературных данных. Расходы сточных вод и концентрации загрязнений принимались постоянными в течение всего года.

Таким образом, по рассчитанным ежедневным балансам рассмотренных характеристик качества воды оценивался вклад боковой приточности с водосбора (БПВ) и сбросов сточных вод городов (СВГ) в формирование качества воды водохранилищ в различные фазы их гидрологического режима.

### **Результаты и обсуждение**

Годовая химическая нагрузка водохранилища из различных источников получена суммированием ежедневных значений потоков веществ с водами основного притока (для Иваньковского водохранилища – р.Волга, для Угличского – сбросы Иваньковского гидроузла) и суммы боковых притоков по рекам как с контролируемой, так и с неохваченной гидрометрическими наблюдениями территории бокового водосбора (БПВ), а также суммы сбросов сточных вод городов (СВГ). Соотношения средних за рассматриваемые годы нагрузок для этих водохранилищ представлены в таблице.

**Годовой вклад (в %) потоков воды и химических веществ различных источников в их поступление в водохранилища**

Характеристика	Водохранилище					
	Иваньковское			Угличское		
	р.Волга	БПВ	СВГ	р.Волга	БПВ	СВГ
Поток воды	47	53	<1	63	37	<1
Общая минерализация	39	59	2	57	42	1
Сульфаты	42	53	5	44	55	1
Нитраты	41	55	4	56	43	2
Аммонийный азот	42	45	13	69	27	4
Фосфаты	24	26	49	50	29	21
Железо общее	45	47	8	33	64	3
ХПК	44	52	4	63	36	1

Из этой таблицы видно, что БПВ играет значительную роль в формировании химической нагрузки на водохранилища. Для Иваньковского водохранилища вклад боковой приточности по всем показателям превышает вклад основного притока, в Угличском водохранилище – только по сульфатам и общему железу. По остальным характеристикам вклад основной реки на 15-40% превышает вклад БПВ, тем не менее, ее доля в общей нагрузке на водоем составляет от 27% для аммонийного азота до 64% для общего железа. Доля СВГ в Угличском водо-

хранилище для большинства показателей не превышает 3%, за исключением аммония (4%) и фосфатов (21%), в Иваньковском водохранилище, за счет сбросов крупного города – Твери, она существенно выше – 4-13%, а по фосфатам достигает 49%. Максимальный вклад СВГ в загрязнение водохранилища наблюдается для биогенных веществ, что обусловлено крайне высокими различиями концентраций этих веществ в сточных и природных водах.

С увеличением водности года естественным образом снижается вклад СВГ в структуру поступления ЗВ в водохранилища. Так увеличение водности 1981 г. по сравнению с 1973 г. на 40% привело к снижению доли СВГ в загрязнении водоемов по различным показателям в 1,5-2,5 раза. Тогда как вклад БПВ в Иваньковском водохранилище увеличился на 1-2% (по биогенам – на 4-12%), а в Угличском водохранилище, наоборот, уменьшился на 5-10%, за исключением аммония и фосфатов, по которым он увеличился на 1,5 и 4% соответственно.

Наибольший вклад в поступление загрязняющих веществ БПВ вносит в период половодья (до 40-70% для отдельных характеристик в Иваньковском и 30-67% в Угличском), а меньше всего – во время зимней и летней межени, тогда как вклад СВГ в формирование качества воды водохранилищ в это время максимален. В маловодный 1973 г. в летний период он достигал 35% по аммонийному азоту и 85% по фосфатам в Иваньковском и, соответственно, 15 и 40% в Угличском водохранилище.

Если сравнивать БПВ Угличского и Иваньковского водохранилищ, то при практически одинаковой площади бокового водосбора (19020 км<sup>2</sup> у Угличского и 19513 км<sup>2</sup> у Иваньковского), водный сток с бокового водосбора Угличского водохранилища на 30-50% меньше. Примерно такое же соотношение имеет место и для среднегодовых значений минерализации, соединений азота и ХПК. Количество фосфатов, поступающих в водохранилища с БПВ примерно одинаково, а сульфатов и железа в Угличское водохранилище поступает на 30-40% больше, чем в Иваньковское, что обусловлено их значительно большим содержанием в воде боковых притоков Угличского водохранилища.

Если сравнивать среднегодовое содержание загрязняющих веществ всей водной массы, поступающей в Иваньковское водохранилище с их содержанием в сбросах воды в Угличское водохранилище, то модельные расчеты показывают, что ХПК и концентрация ионов аммония в волжской воде, поступающей в Угличское водохранилище, увеличивается в среднем на 10-20%, а содержание нитратов, фосфатов и общего железа уменьшается, соответственно, на 20-40%. Содержание консервативных показателей, таких как общая минерализация и сульфаты, остается практически неизменной.

### ***Выводы***

Роль боковой приточности водохранилищ в формировании и трансформации качества воды контролируется, главным образом, долей водного притока в приходной части баланса, режимом питания водохранилища по основной реке для водохранилищ с не зарегулированным притоком и сбросами из вышерасположенного водохранилища для каскадного водохранилища. Степень влияния сбросов коммунальных сточных вод городов на качество воды водохранилища

колеблется в широком диапазоне. Доля СВГ в Угличском водохранилище для большинства показателей не превышает 3-4%, за исключением фосфатов (21%). В Иваньковском водохранилище она существенно выше – 4-13%, а по фосфатам достигает 49%. Сезонные изменения роли боковой приточности в Иваньковском водохранилище зависят от естественного режима притоков водохранилища с максимумом влияния городских сбросов на качество воды водохранилища в зимний период.

### Библиографический список

1. *Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги.* Л.: Гидрометеиздат, 1975. 292 с.
2. *Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз).* М.: Изд-во «Перо», 2015. 286 с.
3. *Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.* Имитационное моделирование гидроэкологического режима Иваньковского водохранилища // Современное состояние водных биоресурсов: материалы междунар. конф. Новосибирск, 2021.
4. *Эдельштейн К.К.* Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
5. *Kimmel B.L., Soballe D.M., Adams S.M., Palumbo A.V., Ford C.J., Bevelhimer M.S.* Inter-reservoir interactions: effects of a new reservoir on organic matter and processing in a multi-impoundment series // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 1988. V.23. P.985-994.
6. *Oskam G.* Main principles of water-quality improvment in reservoirs // *J. Water SRT – Aqua.* 1995. V.44. P.23-29.

С.А. Двинских, О.В. Ларченко, М.А. Оськина, hydrology@psu.ru  
Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ДЛЯ ОЦЕНКИ САМООЧИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩА (НА ПРИМЕРЕ КАМСКОГО)**

Предложен индикатор загрязнения ( $I_{\text{загр}}$ ) поверхностных вод, который возможно использовать в случае, когда источниками сбросов сточных вод является несколько предприятий и нет возможности учета химического состава сбрасываемых вод конкретным предприятием. Сопоставление его с ПДК (предельно-допустимой концентрацией) позволяет оценить самоочищающую способность водного объекта.

*Ключевые слова:* индикатор, загрязнение, химические элементы, самоочищающая способность, водохранилище, ПДК, сточные воды.

S.A. Dvinskikh, O.V. Larchenko, M.A. Os'kina, hydrology@psu.ru  
Perm State University, Perm, Russia

## **USE OF SURFACE WATER POLLUTION INDICATORS TO ASSESS THE SELF-CLEANING CAPABILITY OF A RESERVOIR (ON THE EXAMPLE OF KAMSKOYE)**

An indicator of pollution ( $I_{\text{zagr}}$ ) of surface waters is proposed, which is proposed to be used in the case when several enterprises are sources of wastewater discharges and there is no possibility to take into account the chemical composition of discharged waters by a particular enterprise. Comparing it with maximum allowable concentration makes it possible to evaluate the self-cleaning capacity of a water body.

*Keywords:* indicator, pollution, chemical elements, self-cleaning capacity, reservoir, wastewater.

Пермский край имеет предприятия всех основных отраслей экономики России, в том числе самых водоемких: теплоэнергетики, химии и нефтехимии, целлюлозно-бумажной, топливной, черной и цветной металлургии. Технологические процессы их производства предполагают образование стоков, загрязненных самыми различными веществами. На сегодняшний день промышленное загрязнение сточными водами является одной из самых существенных угроз экологическому состоянию водных объектов.

На территории Пермского края в водные объекты ежегодно сбрасывается около 2,5 млрд м<sup>3</sup> сточных вод, в т.ч. загрязненных – 302,5 млн м<sup>3</sup>, из них без очистки – 49,5 млн м<sup>3</sup>. С 2017 г. наблюдается стабильное снижение объемов загрязненных сточных вод. В 2020 г. объем сброса загрязненных сточных вод составил 194,19 млн м<sup>3</sup>, что меньше на 15,32 млн м<sup>3</sup>, чем в 2019 г. Со сточными водами в 2020 г. в водные объекты было сброшено 1 167,51 тыс. т загрязняющих веществ, что больше на 45,23 тыс. т, чем в 2019 г. Основными загрязнителями на территории края на протяжении ряда лет являются предприятия Березниковско-Соликамского

промышленного района и г. Перми: в 2020 г. ими сброшено более 80 % от общей массы загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами в поверхностные водные объекты, а именно – Камское и Воткинское водохранилища [1].

Ежегодно статистической отчетностью регистрируется объем сброшенных сточных вод с подразделением на «загрязненные», «нормативно чистые» и «нормативно очищенные». Такое разделение часто оказывается весьма условным. Так, коллекторно-дренажные воды с орошаемых земель до 1999 г. относились к категории «нормативно чистых», при фактической загрязненности ядохимикатами, соединениями азота и фосфора.

При всей условности деления сточных вод на категории «загрязненные», «нормативно чистые» и «нормативно очищенные» наибольшее негативное воздействие на природные водные объекты оказывает фактическое количество загрязненных сточных вод, поступающих в водных объект. Не меньшее значение имеет качество воды выше выпусков сточных вод, т.е. во входном или фоновом створе.

Для оценки степени загрязнения водного объекта и его самоочищающей способности мы предлагаем использовать индикатор загрязнения ( $I_{загр}$ ):

$$I_{загр} = \frac{C_{iфакт}}{C_{iфон}}. \quad (1)$$

Здесь  $C_{iфакт}$  – фактические концентрации в воде  $i$ -го ингредиента (мг/л);  $C_{iфон}$  – концентрации в воде  $i$ -го ингредиента в фоновом створе (мг/л). Эти данные приводятся в протоколах гидрохимических лабораторий Центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Предлагаемый индикатор показывает, как изменяется фон после поступления в водохранилище сточных вод с изучаемой территории.

При  $C_{факт} \leq C_{фон}$  величина  $I_{загр} \leq 1$ , это допустимый предел значения индикатора, свидетельствующий о том, что в изучаемом створе загрязнения нет, накопления загрязняющих веществ не происходит.

Соответственно, при  $I_{загр} > 1$  – наблюдается поступление (или накопление) загрязняющих веществ в пределах изучаемого участка, если  $C_{iфакт}$  будет больше не только  $C_{iфон}$ , но и ПДК $_i$ , то можно говорить о загрязнении водного объекта.

На основе предложенной методики проведен анализ возможного поступления (или накопления) загрязняющих веществ в воде в пределах Березниковско-Соликамского промышленного района (БСПР) Пермского края.

Район исследования расположен в верхнем бьефе Камского водохранилища, состояние вод которого зависит от поступающих в них сточных вод предприятий разных отраслей промышленности и других сфер, а также субъектов иных видов деятельности, расположенных в гг. Березники, Соликамск, Усолье, Усольском и Соликамском районах и в основном приуроченных к ареалу Верхнекамского месторождения калийных и других солей [2; 3]. Конечным пунктом поступления вод всех водотоков, в том числе малых рек и искусственных каналов, является р.Кама (Камское водохранилище). Здесь происходит частичное разбавление, частичное оседание загрязняющих элементов и окислительно-восстановительные реакции, то есть процессы самоочищения. В результате этого концентрация поступивших в р.Каму загрязняющих веществ уменьшается. О степени этого уменьшения можно судить по индикаторам загрязнения.

Данные о концентрации загрязняющих веществ ( $\text{мг/дм}^3$ ) предоставлены Пермским Центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиалом ФГБУ «Уральское УГМС», который проводит систематические (1 раз в месяц) наблюдения за уровнем загрязнения р. Кама и Камского водохранилища в створах государственной сети наблюдений по программе утвержденной головным НИУ Росгидромета Гидрохимическим институтом (в районе д. Усть-Пожва наблюдения проводятся 7 раз, в основные гидрологические фазы) по следующим показателям: взвешенные вещества, рН, растворенный кислород, углекислый газ, цветность, прозрачность, жесткость, кальций, магний, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, минерализация, ионы аммония, нитраты, нитриты, железо общее, фосфаты, фосфор (общ), кремний, медь, цинк, никель, хром, марганец, органические вещества /по ХПК, БПК/, нефтепродукты, фенолы, СПАВа/а, фториды, сероводород.

Нами в качестве расчетных взяты среднегодовые и минимальные концентрации загрязняющих веществ ( $\text{мг/дм}^3$ ) за период 2016-2020 гг. и январь-октябрь 2021 г. В качестве анализируемых элементов выбраны следующие:  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ , БПК<sub>5</sub>, ХПК, взвешенные вещества. Их выбор обусловлен тем, что они содержатся в сбросах сточных вод практически всех предприятий региона и включены в программы их экологического мониторинга.

Для расчета использованы створы государственной сети наблюдений, расположение которых приведено на рисунке 1:

- р. Кама, черта п. Тюлькино, 948 км выше устья (фоновый створ для речных условий);
- Камское водохранилище, черта г. Соликамск, 0,3 км выше Боровского залива (фоновый створ для условий «водохранилища»);
- Камское водохранилище, в черте г. Березники 0,15 км выше автодорожного моста (расчетный створ, где химический состав формируется не только за счет фона, но и за счет сброса сточных вод предприятий БСПУ);
- Камское водохранилище, 0,85 км ниже п. Усть-Пожва (закрывающий створ).

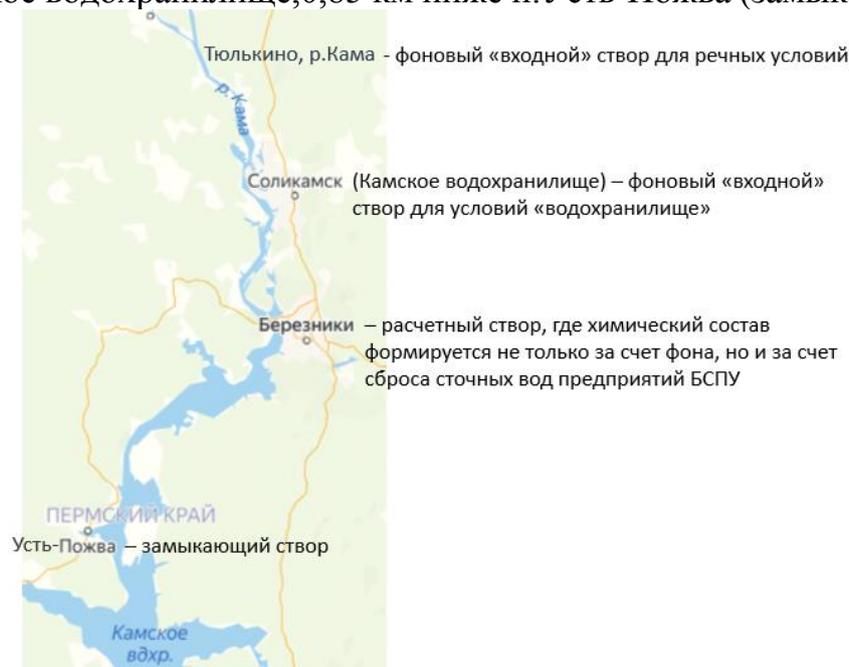


Рис.1. Схема расположения створов государственной сети наблюдений ПЦГМС

Расчет показал, что практически по всем элементам, ХПК и БПК<sub>5</sub>,  $I_{загр} \geq 1$ , что говорит о накоплении загрязняющих веществ в пределах участков Соликамск-Березники, Березники-Усть-Пожва. Исключение составил нитритный азот, по которому ни разу не было зафиксировано превышение индикатора.

Максимальное значение индикатора достигало 2,5 по взвешенным веществам (Березники-Усть-Пожва, 2017 г.) (табл.).

**Расчет индикатора загрязнения по среднегодовым концентрациям в створе п.Усть-Пожва с учетом концентраций ЗВ в створе "черта г. Березники" как фоновый**

Вещество или показатель химического состава воды водного объекта	$I_{загр} = \frac{C_{i \text{ Усть-Пожва}} / \text{годы}}{C_{i \text{ Березники}}}$					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Гидрокарбонаты	0,75	1,37*	1,08	0,67	1,08	0,87
Сульфаты	0,95	1,23	0,85	0,50	0,89	1,37
Хлориды	1,43	1,94	1,07	0,44	1,68	2,02
Кальций	1,11	1,58	1,27	0,69	1,51	1,21
Вещество или показатель химического состава воды водного объекта	$I_{загр} = \frac{C_{i \text{ Усть-Пожва}} / \text{годы}}{C_{i \text{ Березники}}}$					
Магний (расчет.)	0,91	1,32	0,99	0,58	1,36	0,95
БПК <sub>5</sub>	1,15	1,11	1,15	0,74	0,86	1,15
ХПК	1,04	1,12	1,10	1,09	0,92	1,37
Нитратный азот	2,00	0,56	1,69	1,85	0,68	0,50
Нитритный азот	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Азот аммонийный	1,31	1,20	2,43	1,50	0,83	1,00
Взвешенные вещества	1,53	2,50	1,03	1,17	0,74	1,59

\*Цветом выделено превышение индикатора

Для уточнения степени загрязнения водоема выполнено сравнение концентраций загрязняющих веществ с их предельно-допустимой концентрацией. Считаем, если  $C_{i \text{ факт}}$  будет больше не только  $C_{i \text{ фон}}$ , но и  $\text{ПДК}_i$ , то можно говорить о загрязнении водного объекта. Индикатор его загрязнения предлагаем определять по формуле:

$$I^*_{загр.в} = \frac{C_{i \text{ факт}}}{\text{ПДК}_i}, \quad (2)$$

где  $I^*_{загр.в}$  – индикатор загрязнения воды относительно ПДК,  $C_{i \text{ факт}}$  – фактические концентрации в воде  $i$ -го ингредиента (мг/дм<sup>3</sup>),  $\text{ПДК}_i$  – предельно-допустимая концентрация  $i$ -го ингредиента (мг/дм<sup>3</sup>).

На рисунке 2 приведен пример результатов расчета: изменение по длине среднего, максимального и минимального значений, показана линия тренда.

Расчеты индикатора загрязнения и анализ полученных результатов позволяет сделать несколько выводов:



## **Выводы**

В качестве индикаторов, характеризующих качество воды нами предложены:

- *индикатор загрязнения воды  $I_{загр}$* , характеризующий изменение концентраций анализируемых элементов относительно фона и равный отношению фактического количества в воде  $i$ -го ингредиента ( $C_{iфакт}$ ) к концентрации  $i$ -го ингредиента в фоновом створе ( $C_{iфон}$ ). При их равенстве величина  $I_{загр}=1$ , это допустимый предел значения индикатора.

- *индикатор загрязнения воды  $I^*_{загр.в}$* , характеризующий изменение концентраций анализируемых элементов относительно ПДК и равный отношению фактического количества в воде  $i$ -го ингредиента ( $C_{iфакт}$ ) к его ПДК ( $C_{iПДК}$ ). При величине индикатора  $I^*_{загр.в} \leq 1$ , содержание анализируемого элемента не превышает допустимой нормы.

Расчет показал, что несмотря на то, что значения индикатора загрязнения воды относительно фона больше 1 и говорят об увеличении концентраций загрязняющих элементов по длине участка, величины индикатора  $I^*_{загр}$  не превышают 1, а, следовательно, самоочищающая способность водохранилища достаточна для разбавления поступающих сточных вод предприятий Березниковско-Соликамского промузла.

## **Библиографический список**

1. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края». Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. Пермь, 2021.

2. *Двинских С.А., Ларченко О.В., Оськина М.А.* Обоснование выбора системы экологических индикаторов, отражающих водохозяйственные аспекты промышленного предприятия в свете устойчивого развития // Технологии переработки отходов с получением новой продукции: Мат. III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2021. С.187-191.

3. *Dvinskikh S., Larchenko O., Oskina M.A.* Assessing the sustainable development of an enterprise from the water use standpoint // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science. 2021. doi.10.1088/1755-1315/834/1/012052.

А.П. Демин, deminap@mail.ru  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **АНАЛИЗ ВИДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НАИБОЛЕЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ БАСЕЙНА РЕКИ УРАЛ**

Показано сокращение объема водоотведения в российской части бассейна р. Урал в результате трансформации экономики и социальной сферы, а также ухудшение структуры сбрасываемых сточных вод. Выявлены виды экономической деятельности, наиболее загрязняющие водные объекты.

*Ключевые слова:* виды экономической деятельности, сброс сточных вод, структура сточных вод, загрязняющие вещества, бассейн реки Урал.

A.P. Demin, deminap@mail.ru  
*Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia*

## **ANALYSIS OF ECONOMIC ACTIVITIES MOST POLLUTING WATER BODIES IN THE RUSSIAN PART OF THE URAL RIVER BASIN**

A decrease in the volume of wastewater disposal in the Russian part of the Ural River basin as a result of the transformation of the economy and the social sphere, as well as a deterioration in the structure of discharged wastewater, is shown. The types of economic activity that most pollute water bodies are identified.

*Keywords:* types of economic activity, wastewater discharge, wastewater structure, pollutants, Ural river basin.

### ***Введение***

Для бассейна р. Урал характерна высокоразвитая промышленность в северной части до г. Оренбурга, в южной части наряду с промышленностью развито сельское хозяйство. В промышленном комплексе особенно велика роль электроэнергетики, черной и цветной металлургии, химической промышленности, а также машиностроения и металлообработки при значительном развитии пищевой и легкой промышленности. На территории бассейна размещаются крупные промышленные узлы: Магнитогорский в Челябинской области, Оренбургский, Орский и Медногорский в Оренбургской области, а также предприятия городов Учалы, Сибай, Миндяк (Республика Башкортостан) [2].

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

Для анализа изменения объемов отводимых в поверхностные водные объекты бассейна р. Урал сточных, шахтно-рудничных и коллекторно-дренажных вод, а также сброса загрязняющих веществ (ЗВ) в составе сточных вод, использовались данные государственной статистической отчетности, собранные по форме 2-ТП (водхоз) за период 2010–2021 гг. Исследование проведено на основе

системного подхода с использованием следующих методов: аналитического, статистической обработки данных, сравнительного анализа.

### *Анализ результатов*

Основной забор пресной воды и сброс сточных вод в водные объекты осуществляется следующими видами экономической деятельности (ВЭД) (в порядке снижения их значимости): обеспечение электрической энергией, газом и паром; забор, очистка и распределение воды; производство металлургическое; сельское хозяйство (растениеводство и животноводство, охота); добыча металлических руд; производство кокса и нефтепродуктов; операции с недвижимым имуществом; добыча сырой нефти и природного газа; деятельность по обеспечению военной безопасности, социальному обеспечению. На эти 9 ВЭД приходится более 99% всего водопотребления и водоотведения в российской части бассейна р. Урал [1].

В 2010 г. суммарно по форме 2-ТП (водхоз) отчитывалось 550 хозяйствующих субъекта. К 2021 г. их число снизилось до 467, в основном за счет реорганизации производства.

За период 2010-2021 гг. объем сброса сточной, шахтно-рудничной и коллекторно-дренажной воды в поверхностные водные объекты российской части бассейна р. Урал сократился в 3,1 раза – с 1919 до 611 млн м<sup>3</sup>. Связано это в основном с сокращением забора воды для нужд населения и объектов экономики в связи с падением производства промышленной и сельскохозяйственной продукции, переходом на замкнутые системы водоснабжения и внедрением водосберегающей техники в ЖКХ. Максимальное сокращение сброса сточных вод произошло в ВЭД «Обеспечение электрической энергией, газом и паром», с 1600-1700 млн м<sup>3</sup> в 2011-2012 гг. до 445 млн м<sup>3</sup> в 2021 г.

По металлургическому производству сброс сточных вод сократился с 387 до 26 млн м<sup>3</sup> (15 раз), что связано в основном с прекращением с ноября 2018 г. сброса сточных вод ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» в русло р.Урал и переходом на замкнутую систему водоснабжения. По ВЭД «Забор, очистка и распределение воды» сброс сточных вод сократился со 170 до 130 млн м<sup>3</sup>. По остальным ВЭД также отмечается заметное снижение объема сброса сточных вод.

Несмотря на снижение сброса загрязненных сточных вод, доля их в общем объеме сброшенной воды по видам экономической деятельности в российской части бассейна р. Урал с течением времени почти не меняется. По ВЭД «Производство металлургическое» и «Забор, очистка и распределение воды» она стабильно находится на уровне 99,7-100%. По ВЭД «Добыча металлических руд» она снизилась с 96 до 90%.

В целом по российской части бассейна р. Урал до нормативов на сооружениях очистки воды очищалось в 2010 г. 15,4 млн м<sup>3</sup>, в 2021 г. – 1,1 млн м<sup>3</sup>, что составляло соответственно 2,8 и 0,6% в общем объеме стоков, подлежащем очистке. Бассейн р. Урал является бассейном с наиболее низкой долей нормативно-очищенной воды в объеме вод, требующей очистки, среди всех бассейнов крупных рек России. В целом по Российской Федерации в 2021 г. до нормативов очищалось 20,4% сточных вод, подлежащих очистке.

Объем сточных вод, в которых содержатся ЗВ, в российской части бассейна р. Урал составлял в 2021 г. 167,18 млн м<sup>3</sup>, или 1,14% от общего объема таких вод, сброшенных в России. В то же время доля некоторых загрязняющих веществ, сброшенных в составе сточных вод, существенно превышает эту величину. Так, доля сброшенного магния в 2021 г. составляла 4,52% от общего объема по РФ, что говорит о том, что концентрация магния в сброшенных сточных водах в 4 раза превышала среднероссийскую величину. Концентрация сухого остатка превышала среднероссийскую величину в 1,9 раза, цинка – в 1,7 раза, нитратов – в 1,2 раза (таблица).

**Ранжирование доли российской части бассейна р. Урал в сбросе загрязняющих веществ в составе сточных России в 2021 г.**

<i>Загрязняющее вещество</i>	<i>Сброшено в бассейне р. Урал</i>	<i>Сброшено на территории России</i>	<i>Доля сброшенных веществ в бассейне р. Урал в общем объеме сброса, %</i>
Магний, т	1383,00	30567,5	4,52
Сухой остаток, тыс. т	133,99	6346,6	2,11
Цинк, т	3,37	172,6	1,95
Нитраты, тыс. т	4,83	366,8	1,32
Медь, т	0,312	26,90	1,16
Нитриты, т	74,91	6479,6	1,16
Железо, т	24,52	2528,9	0,97
СПАВ, т	7,10	933,2	0,76
Кадмий, кг	5,53	756,1	0,73
Взвешенные вещества, тыс. т	1,404	197,5	0,71
Свинец, кг	29,07	4205,9	0,69
Фенолы, т	0,119	19,34	0,61
Сульфаты, тыс. т	23,52	4966,0	0,47
БПК полн., тыс. т	0,626	134,2	0,47
Азот аммонийный, т	237,41	53339,3	0,45
Хлориды, тыс. т	25,55	5941,9	0,43
Нефтепродукты, т	8,11	2258,7	0,36
ХПК, т	660,10	348232,4	0,19
Никель, т	0,031	31,04	0,10
Марганец, т	0,062	286,3	0,02

Концентрация большинства ЗВ в составе сброшенных сточных вод в бассейне Урала была ниже, чем в среднем по России. Особенно это относится к марганцу (57 раз), никелю (11 раз), ХПК (6 раз), нефтепродуктам (3,2 раза).

Рассмотрим, какие ВЭД вносят наибольший вклад в сбросы ЗВ в российской части бассейна р. Урал исходя из приведенной таблицы. Более 99% сброса магния приходится на три ВЭД – «Производство металлургическое», «Добыча металлических руд», «Забор, очистка и распределение воды» (рис. 1). По ВЭД «Производство металлургическое» с 2019 г. произошло резкое уменьшение сброса магния (как и остальных загрязняющих веществ) в результате прекраще-

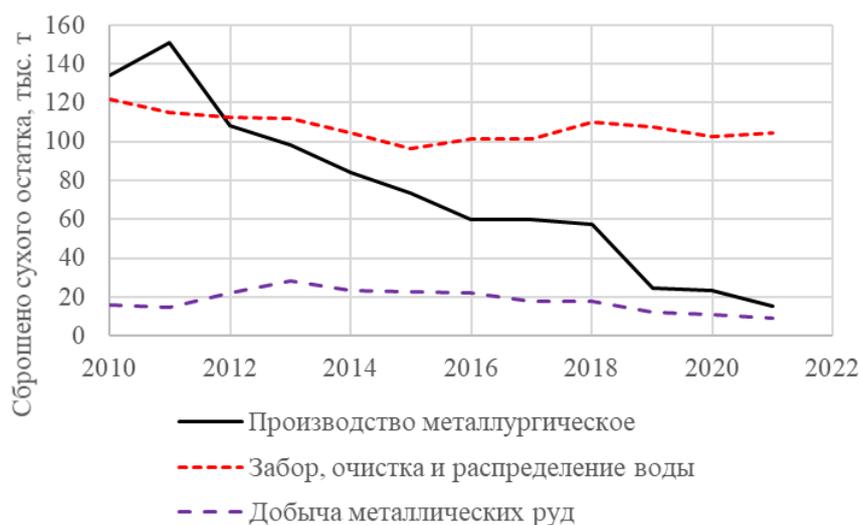
ния сброса загрязненных сточных вод Магнитогорским металлургическим комбинатом, самым крупным из восьми металлургических предприятий бассейна р. Урал. Сброс магния остальными крупными ВЭД остался на прежнем уровне.



**Рис. 1. Сброшено магния в составе сточных вод по видам экономической деятельности в российской части бассейна р. Урал, т**

Величина сухого остатка является обобщенным показателем качества воды, характеризует общее содержание растворенных в воде нелетучих минеральных и частично органических соединений, т. е. свидетельствует о минерализации воды. На три ВЭД («Забор, очистка и распределение воды», «Производство металлургическое», «Добыча металлических руд») в 2021 г. приходилось более 96% сброса сухого остатка в бассейне Урала. В жилищно-коммунальном хозяйстве после 2015 г. сброс сухого остатка стал вновь расти, по остальным ВЭД отмечается неуклонное снижение сброса (рис. 2).

Около 99% сброса цинка в 2021 г. приходилось на три ВЭД – «Производство металлургическое», «Добыча металлических руд», «Забор, очистка и распределение воды» (рис. 3).



**Рис. 2. Сброшено сухого остатка в составе сточных вод по видам экономической деятельности в российской части бассейна р. Урал, тыс. т**



**Рис. 3. Сброшено цинка в составе сточных вод по видам экономической деятельности в российской части бассейна р. Урал, тыс. т**

По ВЭД «Производство металлургическое» сброс цинка практически прекратился, по ВЭД «Добыча металлических руд» он достигал минимальных величин (0,032 т), по ВЭД «Забор, очистка и распределение воды» – 3,287 т., или более 97% суммарного сброса.

На эти же три ВЭД приходится около 92% суммарного сброса нитратов, почти 95% суммарного сброса меди, почти 99% суммарного сброса нитритов, около 95% суммарного сброса железа. При этом ВЭД «Забор, очистка и распределение воды» сбрасывается 85% всех нитратов, 89% сброса меди, 86% сброса нитритов, 88% сброса железа.

### **Выводы**

На три вида экономической деятельности – «Производство металлургическое», «Добыча металлических руд», «Забор, очистка и распределение воды» приходится 92-99% суммарного сброса основных загрязняющих веществ. Сброс ЗВ металлургическим производством за последнее десятилетие снизился в десятки раз, сброс по ВЭД «Добыча металлических руд» по многим веществам в 3-6 раз, сброс по ВЭД «Забор, очистка и распределение воды» по многим веществам в 1,5-2 раза при сокращении объема сточных вод, имеющих загрязняющие вещества, на 24%.

*Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 государственного задания ИВП РАН.*

### **Библиографический список**

1. Данные наблюдений за объемом вод при водопотреблении и водоотведении на всех водных объектах (по форме 2-ТП (водхоз)) // Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=513> (дата обращения: 16.01.2023).

2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Урал (российская часть). Приложение 2. Сводная пояснительная записка. 241с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nvbvu.ru/info/category/7594> (дата обращения: 16.01.2023).

УДК 504.453; 504.4.054

С.В. Долгов<sup>1</sup>, В.О. Швыдкий<sup>2,3</sup>, Ю.Ю. Алентьев<sup>1</sup>, Е.В. Штамм<sup>3</sup>,  
Е.А. Барабанова<sup>1</sup>, Л.Н. Шишкина<sup>2</sup>, svdolgov1978@yandex.ru

<sup>1</sup>Институт географии РАН, г.Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт биохимической физики РАН, г.Москва, Россия

<sup>3</sup>ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, г.Москва, Россия

## **ФОНОВОЕ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В РЕКАХ ЗОНЫ СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ НА РУССКОЙ РАВНИНЕ**

Предложены методические подходы к оценке региональных фоновых значений характеристик химического состава речных вод. Приведены результаты расчетов фоновых величин содержания биогенных веществ в речных водах и показателя ХПК (химическое потребление кислорода) для периода летней межени. Выполнено сравнение фоновых величин гидрохимических показателей для рек зоны смешанных лесов с ПДК и с фоновыми значениями для рек лесостепи, степи и г. Москвы. Приведены результаты оценки токсичности речных вод в Московском регионе на основе биотестов инфузории *Tetrahymena Pyriformis* и светящихся бактерий серии «Биотест-Эколюм».

*Ключевые слова:* лесная зона, речные воды, экологическое состояние, азот и фосфор, биотестирование.

S.V. Dolgov<sup>1</sup>, V.O. Shvydkiy<sup>2,3</sup>, Yu.Yu. Alentev<sup>1</sup>, E.V. Shtamm<sup>3</sup>,  
E.A. Barabanova<sup>1</sup>, L.N. Shishkina<sup>2</sup>, svdolgov1978@yandex.ru

<sup>1</sup>Institute of Geography of the RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Institute of Biochemical Physics of the RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup>N.N. Semenov Institute of Chemical Physics of the RAS, Moscow, Russia

## **NATURAL BACKGROUND AND ANTHROPOGENIC CONTENT OF NUTRIENTS IN RIVERS OF THE MIXED FOREST ZONE ON THE RUSSIAN PLAIN**

Methodological approaches to the assessment of regional background values of the characteristics of the chemical composition of river waters are proposed. The results of calculations of the background values of the content of nutrients in river waters and the COD index (chemical oxygen consumption) for the period of summer autumn are given. Comparison of background values of hydrochemical indicators for rivers of the mixed forest zone with MPC (Maximum Permissible Concentrations) and with background values for the rivers of the forest-steppe, steppe and Moscow is carried out. The results of the toxicity assessment of river waters in the Moscow region based on biotests of *Tetrahymena Pyriformis* infusoria and luminous bacteria of the «Biotest-Ecolume» series are presented.

*Keywords:* forest zone, river waters, ecological condition, nitrogen and phosphorus, biotesting.

## ***Введение***

В настоящее время оценка экологического состояния речных вод осуществляется главным образом по отношению концентрации содержащихся в них различных веществ (в том числе биогенных) к их ПДК. Природный фон при этом, как правило, не учитывается, что весьма осложняет определение степени антропогенного загрязнения речных вод, определения предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ в реки и водоемы и допустимого уровня антропогенной нагрузки на их водосборы, разработку эффективных водоохраных мер. В этой связи региональная оценка природных фоновых значений концентрации различных веществ в водных объектах весьма актуальная научная и практическая проблема. Различные ее аспекты рассмотрены в немногочисленных публикациях, в том числе [1; 2; 3 и др.].

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

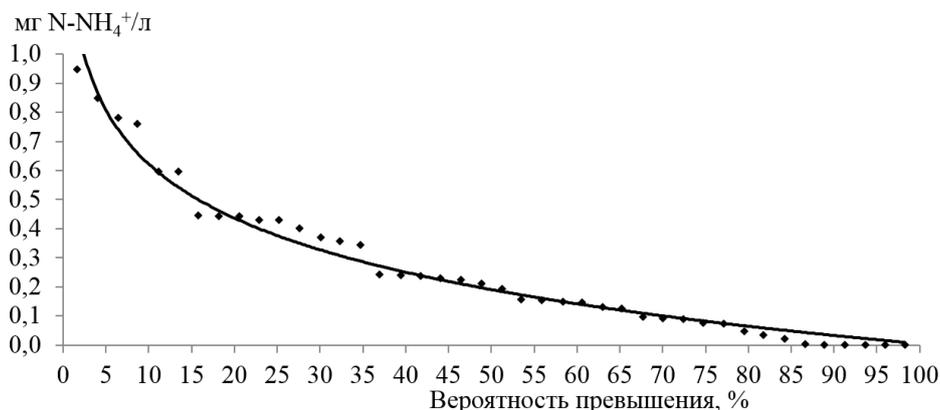
Исключить полностью влияние антропогенных факторов, а также ошибок химических анализов при региональной оценке природной фоновой составляющей не представляется возможным, поэтому она носит условный вероятностный характер.

Под условным природно-антропогенным фоновым содержанием биогенных веществ в речных водах приняты его значения, соответствующие 50, 75 и 95% обеспеченности (вероятности превышения), определяемые по пространственным кривым обеспеченности, построенных при статистическом обобщении однородных в отношении генезиса (фазы водного режима) результатов химических анализов в пределах территорий с определенными физико-географическими условиями. При других одинаковых условиях с наименьшими ошибками рассчитывается величина 50% обеспеченности, принятая нами в качестве основной.

Вследствие отсутствия наблюдений Росгидромета на многих малых и средних реках для оценки региональных фоновых значений гидрохимических показателей в качестве исходной информации использовались результаты полевых работ, выполненных при реализации проекта РНФ 20-17-00209 в 2020–2022 гг. (руководитель А.Г. Георгиади). Статистическому их обобщению предшествовало исключение из выборок участков рек, подверженных воздействию сточных вод. Расчеты выполнены для летне-осенней межени на реках южной части лесной зоны по данным экспедиционного обследования 46 участков рек в Курской, Московской и Нижегородской области. Для сравнительного географического анализа были также рассчитаны фоновые гидрохимические характеристики речных вод в лесостепной (35 проб) и степной зоне в бассейне Дона (23) и в г. Москве (13).

Анализируемые показатели – концентрация в речной воде аммония, нитритов, нитратов, минерального азота (суммы азота аммония, нитритов и нитратов), фосфора фосфатов, ХПК, определены в ИБХФ РАН на основе фотометрического метода. В качестве ПДК принято: для аммонийного азота 0.4 мг N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/л, азота нитритов – 0.02 мг N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/л, азота нитратов – 9.1 мг N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/л, фосфора фосфатов – 0.2 мг P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/л, ХПК (для питьевого водоснабжения) – 15 мг О/л. Для каждого из 6 показателей по кривым обеспеченности рассчитана

фоновая величина 50% обеспеченности (вероятности превышения) в летне-осеннюю межень. В качестве примера на рисунке 1 приведена кривая обеспеченности концентрации аммонийного азота.

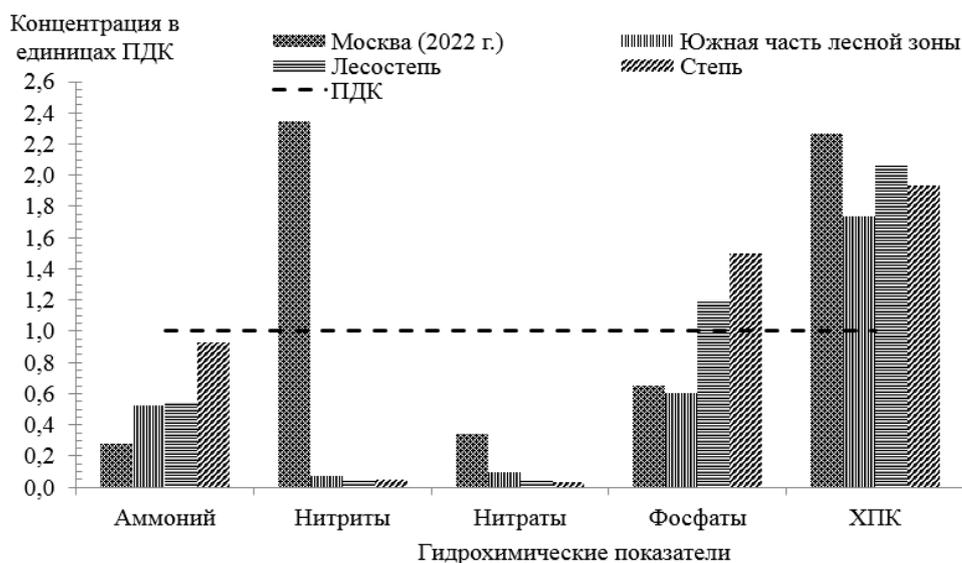


**Рис. 1. Эмпирическая кривая вероятности превышения (обеспеченности) содержания аммонийного азота в речных водах в южной части лесной зоны**

На основе данных гидроэкологического обследования в 2022 г. 22 участков рек Московского региона (г. Москвы и Московской области) в ФИЦ ХФ РАН по биотестам «Биотест-Эколюм» и «Tetrahymena Pugniformis» была определена также степень биологической полноценности водной среды используя природоохранные нормативные документы (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.4-99; ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 16.1:2.3:3.7-04 2004 и др.).

### *Анализ результатов*

Результаты ориентировочной оценки фоновых величин анализируемых показателей (аммония, нитритов, нитратов, фосфатов и ХПК) 50% обеспеченности для летне-осенней межени (в единицах ПДК – отношении фоновой величины данного показателя к его ПДК) приведены на рисунке 2.



**Рис. 2. Гидрохимические показатели речных вод 50% обеспеченности в летне-осеннюю межень (2020-2022 гг.)**

В итоге исследования установлено:

1. Фоновые величины концентрации рассмотренных биогенных веществ в речных водах южной части лесной зоны в летне-осеннюю межень существенно ниже их ПДК. Для аммонийного азота отношение фонового содержания к ПДК составило 0,5, азота нитритов и нитратов – 0,1, фосфора фосфатов – 0,6. В то же время фоновое значение показателя ХПК (26 мг О/л) значительно выше принятой величины ПДК (15 мг О/л).

2. В зоне смешанных лесов отмечаются довольно высокие фоновые значения минерального азота (в сумме аммония, нитритов и нитратов – 1,15 мг/л) – в 1,8 раза больше, чем для рек лесостепи и степи. В отличие от минерального азота фоновая величина содержания минерального фосфора в речных водах на юге лесной зоны (0,12 мг/л) значительно ниже, чем в лесостепи (0,24 мг/л) и степи (0,30 мг/л), что обусловлено, вероятно, большей долей подземного питания рек с облесенными водосборами.

3. В южной части лесной зоны острая негативная гидроэкологическая ситуация сложилась в г. Москве (во многом вследствие интенсивной антропогенной нагрузки). В результате экспедиционного обследования, проведенного в августе 2022 г., в реках г. Москвы зафиксировано аномально высокое содержание минерального азота – в среднем в 4,4 раза больше фона. Крайне высокое превышение фоновых значений отмечается по нитритам – в 29 раз, весьма существенное превышение зафиксировано по аммонийному азоту – 8 раз, по нитратам превышение зонального фона в г. Москве составило 4–5 раз, по фосфатам – 3 раза. Небольшое превышение фона зафиксировано по показателю ХПК – соответственно в 1,3 раза.

4. На многих реках Московского региона по отношению к гидробионтам наблюдается ситуация далекая от экологического благополучия. Из 19 обследованных речных участков не обнаружена токсичность одновременно по двум биотестам только на 10, в том числе при относительно невысоком содержании биогенных веществ и значении показателя ХПК (р. Раменка, р. Каменка у ВДНХ, р. Сетунь у Очаковского моста, р. Городня в Братеево и др.). По одному из двух биотестов зафиксирована токсичность на 9 участках, в том числе в рр. Москва, Дубна, Нищенка, Яуза, Пехорка, Клязьма у п. Поярково и в г. Ногинск.

5. Из сравнения результатов химического анализа 19 проб воды с результатами их биотестирования следует, что отчетливо выраженной взаимосвязи между содержанием биогенных веществ в рассмотренном диапазоне их содержания в речных водах, показателем ХПК и токсичностью водной среды по отношению к гидробионтам не наблюдается. Токсичность возможна не только на участках рек вследствие интенсивной антропогенной нагрузки, проявляющейся, в частности в многократном превышении ПДК биогенами и показателем ХПК. Немаловажным фактором может быть неблагоприятный природный гидрохимический фон в маловодных верхних звеньях речной сети (например, р. Клязьмы у п. Поярково). Кроме того, количество известных веществ с токсическими свойствами на несколько порядков больше, чем 6 рассмотренных нами гидрохимиче-

ских показателей. В связи с этим использование биотестирования для оценки интегрального показателя состояния водной среды, представляется весьма перспективным направлением гидроэкологических исследований.

### ***Выводы***

Рассчитанные величины фоновых гидрохимических показателей носят ориентировочный характер, в дальнейшем, при получении более детальной информации о пространственно-временной их изменчивости могут корректироваться. Предмет дальнейших исследований и более детальная оценка экологического состояния речных вод на основе биотестирования – при разных уровнях антропогенной нагрузки и в разные сезоны. Тем не менее, уже полученные на данном этапе результаты целесообразно использовать для оценки роли антропогенной нагрузки в формировании экологического состояния водных ресурсов, выявления негативных гидроэкологических ситуаций и разработки эффективных природо- и водоохраных мер.

*Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).*

### **Библиографический список**

1. *Закруткин В.Е., Коронкевич Н.И., Шишкина Д.Ю., Долгов С.В.* Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области). Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 2004. 252 с.
2. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод / [А.В. Караушев, Б.Г. Скакальский, А.Я. Шварцман и др.]. Под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 175 с.
3. *Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Черногаева Г.М.* Антропогенно-измененный природный фон и его формирование в пресноводных экосистемах России // Метеорология и гидрология. 2007. № 11. С. 62-79.

К.Н. Дьяконов<sup>1</sup>, М.А. Хрусталева<sup>1</sup>, С.В. Суслов<sup>2</sup>, sus2014.sus@yandex.ru

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

<sup>2</sup>Государственный университет по землеустройству, г. Москва, Россия

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОЛЖСКОГО ВОДОИСТОЧНИКА**

Рассматриваются результаты мониторинговых эколого-гидрогеохимических комплексных исследований ландшафтов водохранилищ и водосборов с учетом особенностей формирования химического состава, распределения элементов на основании классификации, антропогенного воздействия, оценки экологического состояния.

*Ключевые слова:* гидрогеохимия ландшафтов, миграция, аккумуляция химических элементов, загрязнение, экология, охрана.

K.N. Dyakonov, M.A. Khrustaleva, S.V. Suslov, sus2014.sus@yandex.ru

<sup>1</sup>Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow, Russia

<sup>2</sup>State University of Land Management, Moscow, Russia

## **MODERN PROBLEMS OF WATER QUALITY IN THE VOLGA WATER SOURCE**

The article discusses the results of monitoring ecological hydrogeochemical integrated studies of landscapes of reservoirs and watersheds, taking into account the features of their formation, chemical composition, distribution of elements based on classification, anthropogenic impact, assessment of ecological state.

*Keywords:* hydrogeochemistry of landscapes, migration, accumulation of chemical elements, pollution, ecology, preservation.

Изучение современных проблем качества воды проводили согласно положениям Водного кодекса Российской Федерации, принятого 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ (ВК РФ).

Геофизические и геохимические свойства ландшафтов изучали К.Н. Дьяконов (геофизика ландшафта), Ю.С. Даценко (водоснабжение), В.И. Лазарева, И.Э. Степанова, Е.М. Бикбулатова (комплексные исследования Рыбинского водохранилища), М.А. Терешина (биогенные элементы в р.Москве), М.А. Хрусталева (геохимия ландшафта) и др.

Изучение качества воды ландшафтов водохранилищ и водосборов Волжской водохозяйственной системы в связи с разработкой и введением новых технологий имеет важное научное и практическое значение.

Современные мониторинговые комплексные исследования ландшафтов по выявлению особенностей формирования качества вод включают изучение их составляющих, обуславливающих состав сложными перемещениями атмосферных масс.

Гидрогеохимические исследования вод ландшафтов водохранилищ и водосборов проводили в Истринско-Клязьминском физико-географическом районе Смоленско-Московской возвышенности Московского региона, расположенного в подзоне хвойно-широколиственных лесов с дерново-подзолистыми почвами [1; 6].

Проведенные исследования по решению проблем улучшения качества воды имеют важное научное и практическое значение в связи с выявлением путей миграции и аккумуляции химических элементов на биогеохимических барьерах, разработкой классификации, охраны и экологической оценкой качества поверхностных вод с учетом антропогенного воздействия.

Генезис и процессы развития компонентов ландшафтов в процессе эволюции проходят под воздействием как природных, так и антропогенных факторов. Исследования вели методом комплексного сопряженного ландшафтно-геохимического профилирования в шести видах современных ландшафтов: лесных, луговых, гидроморфных, антропогенных, трансаквальных и аквальных, когда профили закладывали в направлении потока вещества от автономных ландшафтов к подчиненным [1; 6].

Следует отметить, что наиболее подвижной фазой вещества в ландшафтах является водная составляющая, которая играет важную роль в формировании гидрогеохимических свойств ландшафтов. Проблемы состояния и качества воды являются основными. Из всех природных вод наиболее заметная вариабельность химического состава и минерализации в пространственно-временном аспекте наблюдалась в атмосферных осадках. Различия их химического состава обусловлены сложными перемещениями атмосферных масс и антропогенной деятельностью. Снег является аккумулятором и индикатором химических элементов. Он сорбирует элементы в зависимости от температуры воздуха, направления розы ветров, удаленности по отношению к источнику загрязнения, рельефа и др. Средние значения величин концентрации водородных ионов в снеге, отобранном весной перед началом половодья, в автономных позициях катены были слабокислыми и кислыми [4; 6].

Химический состав вод из снега в начале половодья имел гидрокарбонатно- и сульфатно-кальциевый состав при минерализации 30-34 мг/л. Снег содержит такие элементы, как Cl, SO<sub>4</sub>, Sr, Ni, Pb, Cd, Co, V, которые поступают из выхлопных труб автомобильного транспорта (93,2%), ТЭЦ, промышленных предприятий. Ухудшают экологию в городе противогололедные реагенты, свалки, а в регионе – стоки от животноводческих и птицеводческих комплексов [4; 6].

Отрицательно действует на ландшафты рекреация, горнодобывающая промышленность. Отметим, что на десяти процентах обследованной территории ландшафтов, присоединенных к юго-западной части столицы в 2012 г., отмечали ухудшение радиационной обстановки.

Химический состав вод весеннего половодья начинает формироваться на поверхности почв ландшафтов водосбора, а в лесных ландшафтах еще и в лесной подстилке, что зависит от физико-географических условий, состояния агрофона, почво-грунтов, состава отложений, деятельности человека [6]. Средние показатели величин рН в них изменялись от 5,00 (слабокислые) до 7,56 (щелочные.)

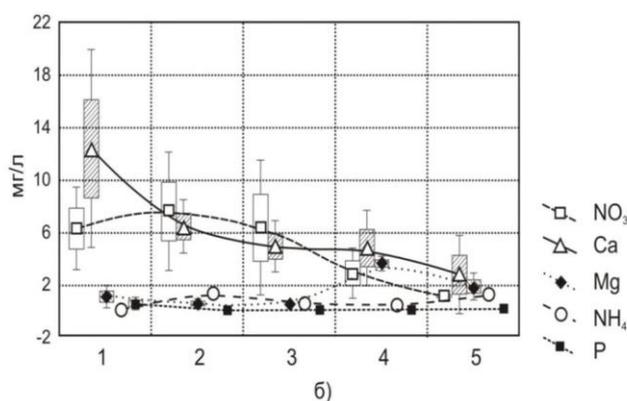
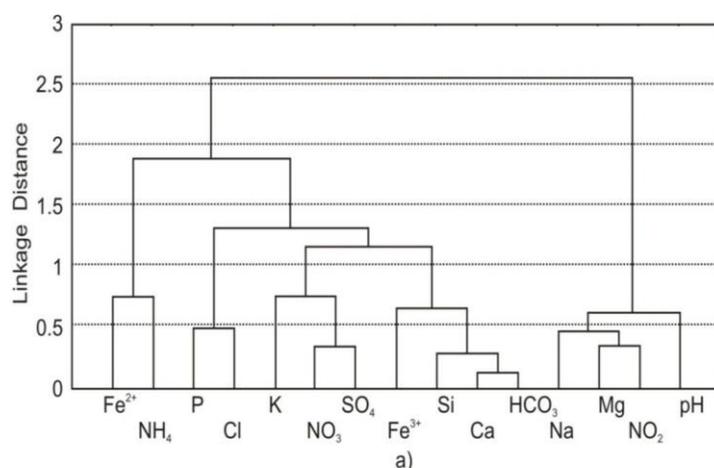
В начале половодья происходит вымывание из почв легкорастворимых химических соединений из гумусовых горизонтов.

Состав вод в период весеннего снеготаяния — гидрокарбонатно- и сульфатно-кальциевый. С оттаиванием почвы и углублением вреза в нее вод минерализация их повышается и достигает 344 мг/л [6]. Наибольший вынос биогенных элементов зафиксирован в весенних водах, стекающих с поверхности агроландшафтов, занятых зябью. Воды весеннего половодья обогащены кальцием и магнием, что и обуславливает основной тип вод, как весеннего половодья, так и таковых, обогащенных соединениями азота, фосфора [5; 6], калия с тенденцией увеличения их концентрации от начала половодья к его окончанию, что способствует развитию процессов эвтрофикации.

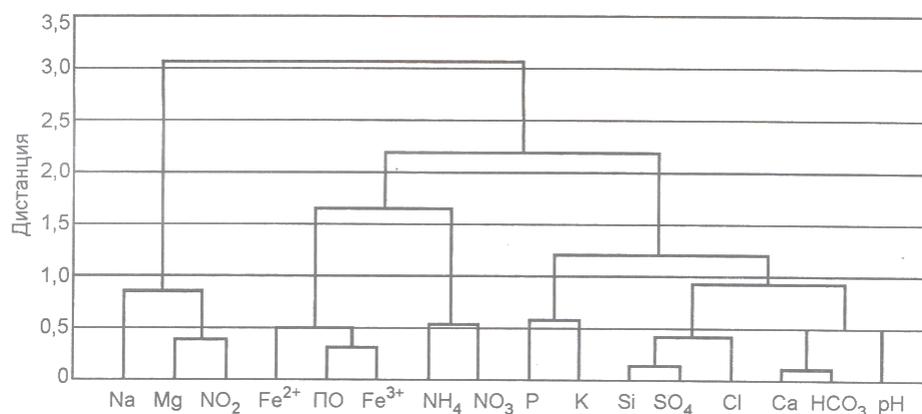
На химический состав вод водохранилищ оказывают влияние физико-географические, физические условия и комплекс гидротехнических сооружений из бетона, который при контакте с водой обогащает их кальцием и со временем разрушает агрессивной углекислотой с выщелачиванием из него извести, с переводом ее в гидрокарбонат кальция. Это приводит к разрушению бетона в условиях сильнощелочной среды при колебаниях значений величин рН от 6 до 9 [3]. При воздействии углекислоты на бетон происходит выщелачивание из бетона извести по реакции:  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  и далее идет растворение  $\text{CaCO}_3$  по реакции:  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2$ , что способствует выщелачиванию из бетона извести и переводу ее в гидрокарбонат кальция.

Многолетние данные химических анализов вод были обработаны с применением метода многомерного кластерного и факторного анализа по R.J. As. Warda [9].

Ингредиенты, содержащиеся в талых водах весеннего половодья ландшафтов методом К-средних были сгруппированы в четыре основных класса (рис. 1а и 1б), что показано на дендрограмме (рис. 2), где ингредиенты по сходству объединены в блоки (кластеры). На основании химических анализов вод выделено 6 однородных блоков элементов. Важное место в этой классификации занимает блок с наиболее достоверными показаниями данных кластерного анализа у гидрокарбонатов и кальция со значениями рН.



**Рис.1а и 1б. Временная вариабельность состава талых вод по основным типам совместного распределения химических элементов**



**Рис.2. Дендродиграмма с объединением элементов по сходству в блоки**

В пробах отобранных вод проведено определение геохимических свойств ингредиентов, объединенных в блоки, с выделением по химическому составу четырех классов вод с группировкой элементов по степени сходства и объединения в блоки. Классификация химических элементов в весенних водах лесных ландшафтов проводилась методом многомерного анализа (рис.1). При составлении геохимической классификации талых вод весеннего половодья изучали геохимические свойства элементов, внутренние и внешние факторы их миграции, генезис поверхностных вод, принадлежность к определенным ландшафтным катенам

с учетом преобладания и соотношения ингредиентов в водах и почвах. Определение химического состава вод весеннего половодья проводили с учетом генезиса и принадлежности их к типу катен.

На основании накопления и систематизации экспериментальных данных химического анализа вод проведено объединение их в блоки современных водотоков весеннего половодья и осуществлена классификация методом К-средних с дистанцией 1 – R.J. As. Warda [9].

Ингредиенты, содержащиеся в талых водах весеннего половодья методом К-средних были сгруппированы в четыре основных класса (рис. 1), что показано на дендрограмме (рис. 2), где ингредиенты по сходству объединены в блоки (кластеры). На основании химических анализов вод, проведенных М.А. Хрустальной, выделено 6 днородных блоков элементов. Важное место в этой классификации занимает блок с наиболее достоверными показаниями данных кластерного анализа у гидрокарбонатов и кальция со значениями величин рН.

Статистическая значимость в разделении классов по F-критерию (рис.3):  $F > 4$ ; уровень значимости  $p < 0,02$ . 1–4 – классы 1-й – гидрокарбонатный; 2-й – кальциевый; 3-й – магниевый; 4-й – сульфатный [8].

На дендрограмме показана группировка химических элементов с выделением блоков: сульфаты, хлор и кремний; аммоний, нитратный азот. [7]. Блок биофильных элементов представлен фосфором и калием. Отдельно выделяется блок окисного и закисного железа, который тесно связан с содержанием органического вещества, и блок магния, натрия и нитритов, сходных в распределении значений по профилю.



Рис.3. Классификация химического состава вод методом К-средних

### Выводы

В результате проведенных экспедиционных и камеральных исследований ландшафтов проведена классификация химических элементов в водах с группировкой их по сходству в блоки, выявлены источники загрязнения, разработаны и предложены новые технологии по улучшению качества питьевых вод для сохранения здоровья людей.

## Библиографический список

1. *Дьяконов К.Н.* Геофизика ландшафта. М. Издательство Московского университета, 1991. 92 с.
2. *Даценко Ю.С.* Формирование и трансформация качества вод в системах источников водоснабжения города Москвы: автореф. дисс...д-ра геогр. наук. М.: Типография «Формат», 2015. 49 с.
3. Гидротехнические сооружения. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. Ч. 1. 576 с.
4. *Хрусталева М.А.* Водопользование и экология. Предупредить и защитить. Вода Magazine. ООО М.: Мосполиграф, 2012. № 9. С. 56–60.
5. *Перельман А.И.* Геохимия природных вод. М.: Недра. 1982. 154 с.
6. *Перельман А.И.* Очерки геохимии ландшафта. М.: Географгиз 1955. 392 с.
7. *Терешина М. А., Ерина О.Н., Соколов Д.И., Ермилова Л.Е., Касимов Н.С.* Биогенные вещества в р. Москве в условиях сильного загрязнения и минимальной самоочищающей способности // Виноградовские чтения: гидрология от познания к мировоззрению. Санкт-Петербург, 2019. С. 799–804.
8. *Хрусталева М.А.* Экобиогеохимия ландшафтов. Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing Saarbrucken, Deutschland / Германия, 2015. 352 с.
9. RJ. As. Ward Hierarchical grouping to optimization an objuective function // Amer / Statistical Association 1963. № 58. P. 236–244.

О.Н. Ерина<sup>1,2</sup>, М.А. Терешина<sup>1</sup>, М.В. Медянкина<sup>2</sup>, А.С. Тригуб<sup>2</sup>, О.Р. Кадыров<sup>3</sup>  
oxana.erina@geogr.msu.ru

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

<sup>2</sup> *Московский государственный университет технологий и управления  
им. К.Г. Разумовского, г. Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Россия*

## **РОССИЙСКИЕ И МИРОВЫЕ ПРАКТИКИ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ: РЕТРОСПЕКТИВА, СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ПУТИ РАЗВИТИЯ**

В работе проанализированы подходы к нормированию качества воды в водных объектах на примере разных стран. Показано, что количественные значения российских нормативов близки к ПДК в странах, применяющих токсикологический подход в установке нормативов. На примере азотных соединений и сульфатов рассмотрены методические аспекты разработки ныне действующих федеральных рыбохозяйственных нормативов ПДК, проанализированы отклонения от методических указаний. Показано, что многие действующие из федеральных рыбохозяйственных нормативы ПДК по сути представляют собой региональные ПДК. Анализируются будущие шаги по развитию регионального рыбохозяйственного нормирования качества воды водных объектов на территории РФ.

*Ключевые слова:* качество воды, рыбохозяйственные ПДК, региональное нормирование, азотные соединения, сульфаты.

O.N. Erina<sup>1,2</sup>, M.A. Tereshina<sup>1</sup>, M.V. Mediankina<sup>2</sup>, A.S. Trigub<sup>2</sup>, O.R. Kadyrov<sup>3</sup>  
oxana.erina@geogr.msu.ru

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

<sup>2</sup> *Moscow State University of Technologies and Management (FCU), Moscow, Russia*

<sup>3</sup> *Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Russia*

## **RUSSIAN AND WORLD PRACTICES OF WATER QUALITY REGULATION: BACKGROUND, COMPARATIVE ANALYSIS, PATHWAYS FOR IMPROVEMENT**

The paper analyzes the approaches to standardization of water quality using experience of different countries. We show that Russian standards are close to MPC in the countries which apply the biotesting approach for establishing. The methodological aspects of designing the existing federal MPC for fishery are reviewed based on the case study of nitrogen and sulfates, the variations of methodology are analyzed. Many of the current federal MPC for fishery are actually regional MPCs. Future steps for the establishing of regional water quality standards in Russia are discussed.

*Keywords:* water quality, fishery MPC, regional rationing, nitrogen compounds, sulfates.

## ***Введение***

Рыбохозяйственные нормативы ПДК, которые начали разрабатывать в конце 60-х – начале 70-х гг. XX в., неоднократно подвергались и продолжают подвергаться критике из-за необоснованной строгости и невозможности их соблюдения в сточных водах. В том числе в качестве альтернативы рыбохозяйственных ПДК часто подразумеваются региональные фоновые концентрации в водных объектах с минимальным уровнем антропогенного воздействия, которые многие ученые неверно называют региональными ПДК [1]. При этом в настоящее время отсутствует утвержденная нормативно методология установления регионального фона, и единственным действующим способом нормирования при согласовании водохозяйственных мероприятий были и остаются нормативы ПДК.

При этом многие существующие исследования и в России, и в других странах мира показывают, что токсичность многих веществ двойного генезиса неодинаково проявляется в зависимости от свойств природной воды – величины рН, жесткости, содержания растворенного кислорода и т.д. В такой ситуации практически единственным реальным в обозримой перспективе шагом в сторону гармоничного развития водохозяйственного комплекса с учетом потребностей водопользователей при приоритетном сохранении водных экосистем является региональное рыбохозяйственное нормирование.

Поэтому задачами данного исследования стал анализ действующих практик нормирования содержания химических веществ двойного генезиса в разных странах мира, подробное изучение оригинальных разработок действующих в России федеральных нормативов ПДК, и сопоставление результатов разработки региональных нормативов ПДК с региональными и национальными нормативами качества воды в других странах

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

В рамках настоящей работы был проведен подробный анализ оригинальных разработок нескольких действующих на территории РФ рыбохозяйственных ПДК (для соединений азотной группы и сульфатов) с целью аудита методологии проведения экспериментов и сопоставления с действующими Методическими указаниями по разработке нормативов качества воды объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения, утвержденными Приказом Росрыболовства № 695 от 04.08.2009 г.

Для этого были изучены федеральные нормативы для трех минеральных форм азота: аммонийного, нитритного и нитратного, разработанные Ленинградским филиалом ГОСНИОРХ в 1972-1973 гг. для нитратов и нитритов и в 1968 г. – для аммонийного азота [2; 3]. Федеральный норматив ПДК для сульфат-аниона был также разработан ГОСНИОРХ в 1973 г. в рамках НИР «Влияние сточных содовых заводов на водоемы и водные организмы» [4]. В работе дана характеристика сточных вод содового производства, охарактеризовано современное состо-

яние рыбного хозяйства Северского Донца, р. Белой и р. Камы в районе расположения содовых предприятий, приведены литературные данные о влиянии сточных вод содовых предприятий на водоемы и водные организмы.

После анализа методологии разработки действующих в РФ нормативов их значения рассматривались в сравнении с международными подходами. Наконец, результаты разработки региональных нормативов рыбохозяйственных ПДК, выполненные авторским коллективом в 2020-2022 гг., были рассмотрены в ключе альтернативы единому федеральному нормированию.

### *Анализ результатов*

Аудит отчетов о разработке действующих в России рыбохозяйственных нормативов ПДК показал ряд существенных отличий от действующих методических указаний. Так, при разработке ПДК соединений азота была использована природная вода р. Невы для проведения токсикологических экспериментов по оценке минимальной действующей концентрации на компоненты трофической цепи водной экосистемы. При этом в рамках разработки ПДК для ионов аммония были рассмотрены все наиболее широко встречающиеся соли аммония, а именно его соединения с сульфатами, хлоридами и нитратами, что является несомненным преимуществом данного исследования. Помимо этого, в отчете о разработке федеральных нормативов для нитратов и нитритов для изучения токсичности на разных звеньях используется разная вода: вода р. Невы для изучения динамики гидрохимических характеристик и сапрофитной микрофлоры; дехлорированная водопроводная вода для оценки острой и хронической токсичности фитопланктона и зоопланктона; гистологические исследования проводились методом биоиндикации а не биотестирования – путем отлова рыб из сильно загрязненных азотными соединениями водных объектов.

Таким образом, действующий федеральный норматив для аммонийного азота в водных объектах рыбохозяйственного значения представляет собой классический региональный норматив для бассейна р. Невы, тогда как нормативы для нитритного и нитратного азота разработаны не на основе единых методических подходов по отношению к разным трофическим звеньям и не могут оцениваться как достоверные.

Разработка федерального норматива по содержанию сульфатов в воде водных объектов рыбохозяйственного значения также проводилась на природной воде. Кроме того, основной упор в исследованиях был сделан на зоопланктон и рыб, тогда как остальные звенья трофической цепи не рассматривались. Не было проведено и оценок статистической достоверности различий между контрольной выборкой и экспериментальной, а сам норматив был установлен на основе экспертного решения.

Кроме анализа оригинальных разработок для рыбохозяйственных ПДК, проведенных в СССР, нами также были рассмотрены подходы других стран к нормированию азотных соединений в водных объектах для целей сохранения водных экосистем и развития рыбного хозяйства.

Одной из наиболее развитых систем нормирования качества воды водных объектов можно назвать канадскую. Среди экологических (природоохранных)

нормативов качества воды в стране действуют нормативы двух типов: для сельскохозяйственного использования воды (Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses), а также нормативы для защиты водной биоты (Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life). Последние представляют собой аналог российских рыбохозяйственных нормативов, так как созданы по аналогичным принципам биотестирования [5].

Ввиду того, что токсичность аммонийного азота в воде возрастает при увеличении рН и температуры воды, норматив для аммонийного азота в Канаде представляет собой совокупность значений для природного диапазона значений рН и температуры воды водных объектов. Российский норматив для аммонийного азота составляет 0,4 мг/л и соответствует канадскому нормативу при рН воды равному 8,0 и температуре, равной 20 °С. Норматив для нитратного азота в Канаде установлен однозначным образом и составляет 3 мг/л либо 13 мг/л в пересчете на ион, что 3 раза ниже действующих российских нормативов. Что касается нитритного азота, при разработке канадских нормативов было обнаружено, что токсичность нитритного азота в пресных водах напрямую связана с содержанием хлоридов в воде и достигает максимума в водных объектах с концентрацией хлоридов менее 2 мг/л. При данной концентрации хлоридов ПДК для нитритного азота составляет 0,02 мг/л и в точности равен российскому рыбохозяйственному нормативу. При содержании хлоридов в воде более 10 мг/л норматив для нитритного азота достигает 0,2 мг/л.

В Соединенных Штатах Америки нормативы для защиты и сохранения пресноводной биоты для биогенных веществ различаются в зависимости от типа водного объекта (реки, озера и водохранилища, водно-болотные угодья). Для рек на территории США выделено 14 экорегионов, в пределах которых установлены различные нормативы для содержания общего азота и фосфора [6]. При этом стоит отметить, что данные нормативы установлены путем статистической обработки данных наблюдений на фоновых станциях мониторинга и представляют собой региональный фон, а не ПДК в российском понимании этого термина.

Таким образом, многими системами нормирования наследуется региональный принцип, который представляется наиболее эффективным с точки зрения регулирования антропогенного воздействия на водные объекты. В российском законодательстве также реализована возможность разработки региональных рыбохозяйственных ПДК, которая все более активно рассматривается водопользователями как единственный путь оптимизации работы предприятий в соответствии с требованиями законодательства, и реализуется в виде финансирования научно-исследовательских разработок.

Так, разработанные региональные ПДК для азотных соединений в бассейне р. Луга, показали незначительные отличия от федеральных ПДК, что может быть обусловлено схожестью химического состава и свойств р. Луга с р.Невой, на воде которой проводилась разработка 50 лет назад.

Для сульфатов была проведена разработка региональных нормативов уже для нескольких бассейнов, в том числе для бассейна р. Ковдоры, р. Луги и др., а также выполнен пересмотр федеральных нормативов в полном соответствии с

действующей методикой. Результаты свидетельствуют о возможности установления в отдельных бассейнах и даже на федеральном уровне норматива 250-300 мг/л.

### **Выводы**

Анализ международных практик нормирования качества воды и методологии установления ПДК природных вод показал, что российский подход, в основе которого лежат токсикологические эксперименты по определению хронической и острой токсичности, аналогичен современным практикам нормирования во многих других странах, например, в Канаде.

В результате проведенного исследования на примере азотных соединений и сульфатов было установлено, что действующие федеральные рыбохозяйственные нормативы ПДК на территории РФ нередко разработаны на природной воде из различных климатических зон. Таким образом, федеральные ПДК в большей степени представляют собой региональные нормативы, разработанные не в полном соответствии с действующими методическими рекомендациями.

При этом разработка региональных ПДК для различных природных зон может значительно улучшить ситуацию управления водными ресурсами с оценкой максимальной допустимой нагрузкой загрязняющими веществами двойного генезиса, при которой не оказывается статистически достоверное негативное воздействие ни на одно из звеньев трофической цепи в водной среде.

### **Библиографический список**

1. *Веницианов Е.В., Возняк А.А., Лепихин А.П.* Проблемы при установлении региональных ПДК // Водные ресурсы России: современное состояние и управление. Сочи, 2018. Т.2. С.181-187.
2. *Изучение* влияния аммиака и некоторых его производных на водные организмы и водоемы / ГосНИОРХ. Л., 1968. 255 с.
3. *Изучение* степени и характера влияния сточных вод азотно-туковой промышленности на водоемы и водные организмы / ГосНИОРХ. Л., 1973. 97 с.
4. *Влияние* сточных содовых заводов на водоемы и водные организмы/ ГосНИОРХ. Л., 1973 г. 85 с.
5. Nordin R. N., Pommen L. W., Meays C. L. Water quality guidelines for nitrogen (nitrate, nitrite, and ammonia). Overview Report Update. //Water Stewardship Division, Ministry of Environment, Province of British Columbia, Canada. 2009. P. 1-29.
6. *Summary* Table for the Rivers & Streams Ecoregional Nutrient Criteria Documents. 2019. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/ecoregion-table-rivers-streams.pdf>

В.А. Ефимов<sup>1,2</sup>, Н.Е. Антипов<sup>1</sup>, Л.Е. Ефимова<sup>1</sup> Roxifixat@yandex.ru  
<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия  
<sup>2</sup>Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва, Россия

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОД РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ ЗИМНЕЙ СЪЁМКИ 2022 ГОДА

Рассматриваются особенности зимнего гидрохимического режима Рыбинского водохранилища. Для этого зимой 2022 г. были выполнены пробоотборы на сети из 26 репрезентативных станций как на самом водохранилище, так и на его притоках. Были определены основные гидрохимические характеристики – рН, минерализация, температура воды, содержание растворённого в воде кислорода, главных ионов, биогенных элементов. Это позволило выделить характерные водные массы для зимнего периода, а также определить наиболее загрязнённые притоки и участки водохранилища.

*Ключевые слова:* Рыбинское водохранилище, гидрохимия, химический состав, главные ионы, биогенные элементы.

V.A. Efimov<sup>1,2</sup>, N.E. Antipov<sup>1</sup>, L.E. Efomova<sup>1</sup>, Roxifixat@yandex.ru  
<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
<sup>2</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmosphere Physics of the RAS, Moscow, Russia

## STUDY OF THE WATER QUALITY OF THE RYBINSK WATER RESERVOIR ACCORDING TO THE WINTER SURVEY OF 2022

The article deals with winter hydrochemical regime of Rybinsk water reservoir. For this purpose, a network of 26 representative sampling stations was created at the reservoir and its tributaries. The main hydrochemical characteristics: pH, conductivity, dissolved oxygen content and concentrations of the main ions and nutrients were obtained. The characteristics of winter water masses in the reservoir were determined and the most polluted areas and tributaries of Rybinsk water reservoir were identified.

*Keywords:* Rybinsk reservoir, hydrochemistry, chemical composition, major ions, nutrients.

### **Введение**

Исследования химического состава воды крупнейших водохранилищ бассейна Волги необходимо для оценки их экологического состояния и устойчивого функционирования. В связи с возрастающей рекреационной, сельскохозяйственной и транспортной нагрузкой, участки Рыбинского водохранилища подвергаются эвтрофированию и загрязнению, что накладывается на морфометрические особенности водохранилища и специфические условия в течение года. Эта нагрузка увеличивается рядом с крупнейшими промышленными центрами региона – гг. Рыбинск и Череповец [1; 2]. В зимний период эти изменения особенно заметны на фоне увеличения притока подземных вод, уменьшения объёма водохранилища в результате его сработки в зимний период, возникновения дефицита

кислорода в связи с отсутствием обмена с атмосферой и уменьшением активности водных организмов, а также расходом кислорода на окислительные процессы [3; 4]. Также, Рыбинское водохранилище отличается длительным периодом ледостава (более 140 дней). В результате, мониторинг качества воды в зимний период затруднён из-за сложной транспортной логистики и суровых погодных условий. Всё это подчёркивает важность выполненных зимних исследований качества воды, которые и являлись целью данной работы.

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

Исследования проводились в период с 27 января по 5 февраля 2022 г. Рыбинское водохранилище является частью Волжско-Камского каскада водохранилищ, образованного плотиной Рыбинской ГЭС в 1941-1947 гг. Общий объём воды при нормальном подпорном уровне составляет 25420 млн м<sup>3</sup>, полезный объём – 16670 млн м<sup>3</sup>. Площадь зеркала водохранилища при нормальном подпорном уровне составляет 4550 км<sup>2</sup>. Средняя глубина составляет 5,6 м, максимальная – 30,4 м вблизи плотины. Коэффициент водообмена колеблется от 1,2 до 2,6. В период выполнения работ уровень воды снижался незначительно, но последовательно (со 100,03 до 99,99 м). Среднесуточный приток воды составил 792,2 м<sup>3</sup>/с (общий приток за 9 дней экспедиции – 0,020 км<sup>3</sup>), а среднесуточный расход составил 1124,8 м<sup>3</sup>/с (общий сток – 0,028 км<sup>3</sup>). В 2021 г. замерзание водохранилища проходило 5-9 декабря. Ледяной покров в период экспедиции характеризовался большой мощностью (до 60 см) и небольшим количеством открытых участков.

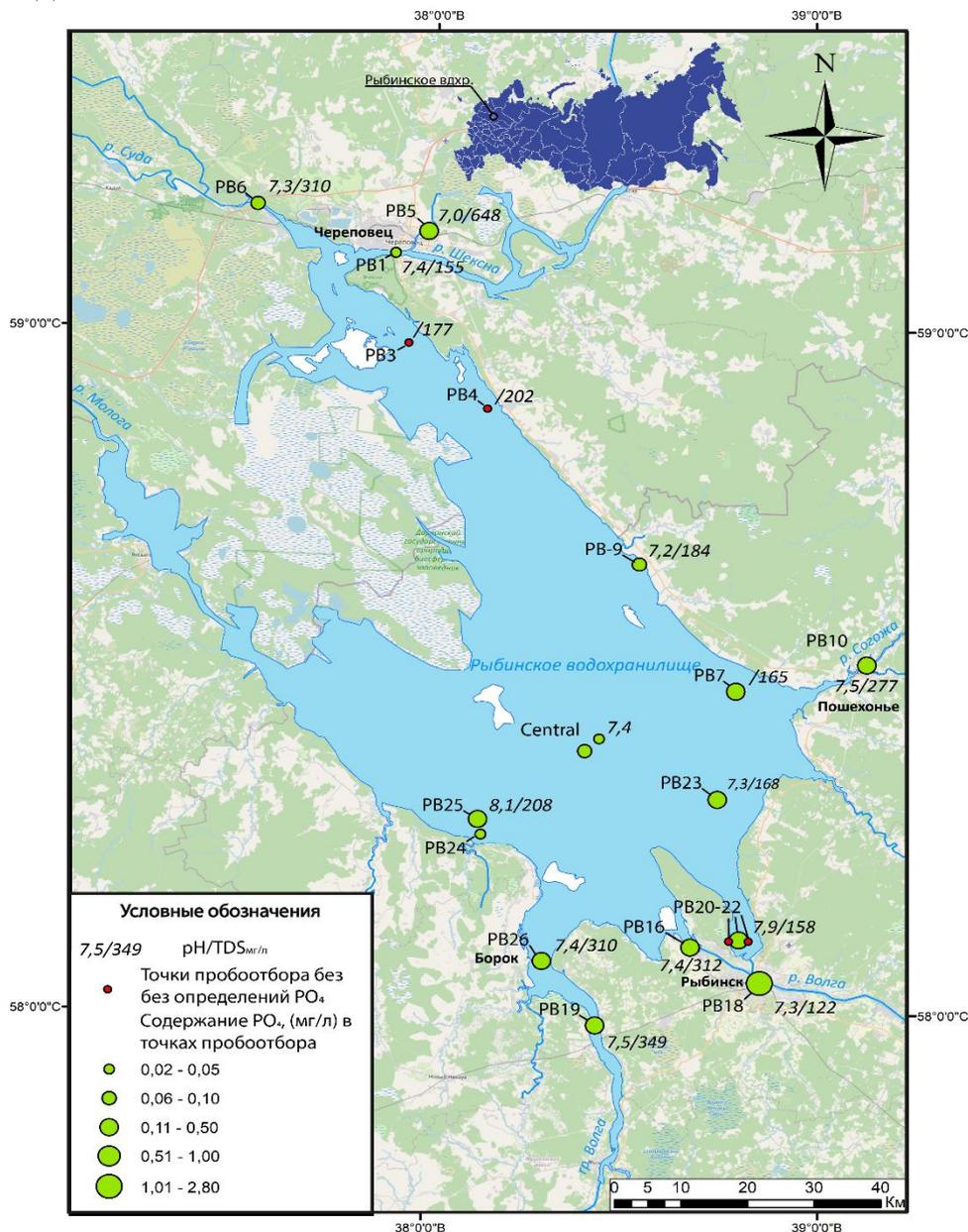
При исследовании химического состава водохранилища было выполнено зондирование и отбор проб воды на 26 станциях водоема (рис. 1). С помощью зонда YSI ProPlus были определены: температура, содержание растворенного кислорода, величина pH, минерализация (TDS) воды. Концентрацию неорганического (P-PO<sub>4</sub>) фосфора в образцах измеряли с использованием колориметрического метода, содержание главных ионов – методом ионной хроматографии.

### ***Анализ результатов***

Гидрохимические показатели вод Рыбинского водохранилища в зимний период 2022 г. формировались в результате взаимодействия водной массы водоема, образовавшейся в период осенней гомотермии, трансформирующейся под влиянием крупных притоков: рр. Волга, Шексна, Молога, Согожа и Суда.

В соответствии с полученными величинами минерализации воды выделялись водные массы водохранилища (100-200 мг/л), р. Волги (300-350 мг/л), а также других крупных притоков, характеризующихся широким диапазоном значений (250-650 мг/л) (рисунок). Повышенная минерализация притоков связана с преобладающей долей подземного питания в зимний период. Например, вода р. Ягробы (PB5) характеризуется повышенной минерализацией (648 мг/л). Река дренирует водосбор, на котором расположен г. Череповец, а в реку поступают коммунально-бытовые и промышленные сточные воды. Минерализация воды в водохранилище зимой превышала средние значения теплого периода на

30-50 мг/л [2]. Водная масса водохранилища характеризовалась средней минерализацией 167 мг/л. В придонных слоях на глубоких станциях (PB23-25) она увеличивалась до 250 мг/л и более.



**Расположение станций отбора проб, значения pH, TDS и содержания PO<sub>4</sub> (глубина 1 м) в период проведения экспедиции 26.01 22– 05.02.22.**

Значения pH воды находились в диапазоне от 7 до 8,1. Воды с наименьшими величинами pH обнаружены в р. Ягорба, что также обусловлено поступлением в нее сточных вод. Нейтральные значения pH (от 7,01 до 7,3) наблюдались в водах восточной части водохранилища и бассейна р. Шексны (PB20-22); воды с pH 7,3-7,4 отмечены в реке Волге и в водохранилище в черте г. Рыбинска (PB18). Существует также группа слабощелочных вод (pH =7,8–8,1), которые были характерны для проб, отобранных в районе деревни Брейтово (PB24), а также в Шекснинском плёсе около плотины г. Рыбинска.

Согласно классификации Алёкина, воды Рыбинского водохранилища относятся к гидрокарбонатно-кальциевой группе и характеризуются умеренной

жёсткостью. Химический состав воды, отобранной в р. Ягробе (РВ5), отличается от характерного соотношения главных ионов солевого состава в водохранилище и имеет смешанный состав из-за сброса промышленных сточных вод с большой долей сульфатов (23 %-экв). Доля хлоридов увеличена (до 7 %-экв) в поверхностном слое р. Согожа (РВ10), в которую поступают сточные воды расположенной на водосборе птицефабрики. Замедленный водообмен и малое разбавлением сточных вод речными водами приводит к ухудшению экологического состояния р. Согожи. Восточная часть водохранилища имеет более высокое содержание Na и K (11-17 %-экв) по сравнению с остальной частью (РВ20-23).

Изучение распределения растворенного кислорода в толще воды Рыбинского водохранилища позволило выделить водные массы затопленных пойм малых рек (глубина станций 5-9 м). Содержание кислорода в них по всей толще воды стабильно (9-11 мгО<sub>2</sub>/л) или незначительно (на 20-25 %) снижается в придонных горизонтах водохранилища. Водные массы, приуроченные к затопленным руслам рек (глубина станций 9-12 м отличаются резким снижением содержания кислорода в придонных слоях до 40-60% насыщения (2-2,9 мгО<sub>2</sub>/л). Водные массы притоков и Шекснинского приплотинного плеса, полностью перемешаны (11,8-12,9 мгО<sub>2</sub>/л) с незначительным изменением содержания кислорода (5-7%) по всей толщине воды. Во всем водохранилище, за исключением притоков, содержание кислорода в поверхностных слоях составляет 85-100%. Вероятно, это связано с большим количеством трещин в ледяном покрове. Также на всех измеренных станциях отсутствует аноксия (содержание кислорода более 36%-нас.), однако существуют предпосылки к её развитию в конце периода ледостава [1;2] в особенности в плесе р. Согожа.

Средняя концентрация фосфатов (РО<sub>4</sub>) в водохранилище составляла 0,18 мг/л (рисунок) Самые низкие концентрации РО<sub>4</sub> были обнаружены около деревни Брейтово (0,02 мг/л) (РВ25) и в р. Суда (0,09 мг/л) (РВ6). Незначительное содержание РО<sub>4</sub> наблюдается в воде р. Шексны в городе Череповец (0,05 мг/л) (РВ1), однако в р. Ягробе, впадающей в Шексну выше по течению, концентрация фосфатов в 4 раза выше (0,22 мг/л) из-за загрязнения городскими сточными водами.

Максимальное содержание фосфатов было обнаружено в устье р. Согожи у г. Пошехонье (0,48 мг/л) и ниже плотины водохранилища в черте г. Рыбинска (РВ18), где их концентрация (2,8 мг/л) превышена в 15,5 раз относительно среднего значения по водохранилищу. Отмеченное превышение фосфатов в воде водохранилища в черте г. Рыбинска, вероятно, связано с выходом коллекторов сточных вод выше по течению. В р. Согоже высокие концентрации фосфатов обусловлены комплексом факторов, связанных с наличием птицефабрики, баз отдыха, а также рыбоконсервного завода в непосредственной близости и отделением части акватории р. Согожи от остальной части водохранилища дамбой, которая затрудняет водообмен.

В рамках работы были проведены анализы содержания органического вещества в донных отложениях. В реке (РВ1) и мелководных прибрежных районах (РВ7) содержание органического вещества довольно низкое (0,4 – 7,4%), осадки по гранулометрическому составу соответствуют мелкому песку и крупному илу.

В илистых отложениях, обнаруженных на затопленных руслах рек (РВ25), доля органической части значительно больше – до 38,9%, ее содержание определяет цвет илов, он варьирует от светло-коричневого до оливкового. Взятые пробы хорошо согласуются с результатами обследования дна в 1992-1994 гг. сотрудниками ИБВВ РАН.

### **Выводы**

Зимние мониторинговые работы на Рыбинском водохранилище показали, что основной ионный состав вод в зимний период в прибрежной части водоема определяется влиянием крупных притоков. В то же время в центральной части водохранилища с лета сохраняется маломинерализованная водная масса, вероятно, существующая в течение всего зимнего периода. Воды относятся к классу гидрокарбонатно-кальциевых со средней минерализацией 100-200 мг/л. Содержание фосфатов составляет около 0,18 мг/л. В результате анализа распределения кислорода удалось идентифицировать 4 различные водные массы. Содержание кислорода везде превышает уровень аноксии, а в центральной части водохранилища не опускается ниже 50 %-экв. Наиболее сложная экологическая ситуация наблюдается в рр. Ягорба и Согожа, где повышена минерализация и содержание фосфатов, а в придонных слоях наблюдается низкая концентрация растворенного кислорода. Основным источником загрязнения является сброс сточных вод предприятиями и частными домовладениями. Полученные данные уточняют характеристики гидрохимического режима Рыбинского водохранилища в зимний период. Программа мониторинга будет продолжена зимой 2023 г.

*Исследование было выполнено в рамках проекта по изучению выбросов метана из крупных водохранилищ в России, Соглашение 1010-416-021 от 27 апреля 2021 года «РУСГИДРО».*

### **Библиографический список**

1. Степанова И. Э. Качество воды Рыбинского водохранилища: режим растворенного кислорода // ВХР. 2016. №5. С. 23-34.
2. Фоменко А. И. Зональные особенности химического состава вод малых рек бассейна Рыбинского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. №1. С. 19-30.
3. Bikbulatova E.M., Stepanova I.E. Long-term variability of organic matter content in the water of the Rybinsk reservoir // Environmental chemistry. 2014. Vol. 23. No. 1. pp. 1-7.
4. Stepanova I.E. Biogenic elements and organic matter in the Sheksninsky ples of the Rybinsk reservoir // Environmental chemistry. 2016. Vol. 25. No. 1. pp. 16-25.

Л.Е. Ефимова<sup>1</sup>, О.Н. Ерина<sup>1</sup>, М.М. Платонов<sup>2</sup>, А.А. Сазонов<sup>1</sup>, ef\_river@mail.ru

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

<sup>2</sup>Некоммерческий Фонд «Без рек как без рук», г. Москва, Россия

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ КЛЯЗЬМЫ

Представлены результаты комплексного экологического обследования р. Клязьмы и ее притоков в наиболее плотно заселенной части водосбора. Выполнена оценка современного уровня загрязненности реки, выявлены основные загрязняющие вещества и определены участки их поступления. Показано, что в пределах Московской области река испытывает значительный антропогенный прессинг, который приводит к формированию экстремально высоких значений отдельных компонентов химического состава воды, в первую очередь, биогенных веществ.

*Ключевые слова:* река, загрязнение, качество воды, сточные воды.

L.E. Efimova<sup>1</sup>, O. N. Erina<sup>1</sup>, M.M. Platonov<sup>2</sup>, A.A. Sazonov<sup>1</sup> ef\_river@mail.ru

*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Non-profit Foundation «Clean Hands, Clean Rivers», Moscow, Russia*

## ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE KLYAZMA RIVER

This article presents the results of a comprehensive environmental study of the Klyazma River and its tributaries in the most populated part of its catchment area. An assessment of the level of pollution of the river water was made, the main pollutants were identified and the areas of their entry were determined. It is shown that within the Moscow region, the river experiences significant anthropogenic pressure, which leads to the formation of extremely high values of some components of the chemical composition, especially nutrients.

*Keywords:* river, water quality, pollution, waste water.

### *Введение*

Проблема качества воды остро стоит в крупных промышленных городах и их агломерациях вследствие большого количества различных источников загрязнения [1; 5]. Река Клязьма является крупнейшим левым притоком р. Оки. Бассейн реки охватывает Московскую, Владимирскую, Ивановскую и Нижегородскую области. Верховья реки в Московской области зарегулированы плотинами Пироговского и Клязьминского водохранилищ. Река протекает через несколько динамично развивающихся городских округов северо-востока Московской области и испытывает высокий уровень антропогенного воздействия, выражающегося в преобладании коммунального водоотведения в структуре водопользования [4].

### *Материалы и методы исследования*

Для проведения комплексного экологического исследования был выбран участок р. Клязьмы от нижнего бьефа плотины Пироговского водохранилища до границы Ногинского и Павлово-Посадского районов. Сеть станций мониторинга

включала 19 точек, 11 из которых расположены на самой р. Клязьме, а остальные 8 – на крупном притоке Клязьмы в верхнем течении р. Воре и ее наиболее загрязненных притоках (рис. 1).

Изменчивость гидрометеорологических условий и характера поступления загрязняющих веществ с водосбора обусловила необходимость проведения исследований в разные фазы водного режима. Обследование реки было выполнено в 2022 г. в периоды весеннего половодья и летне-осенней межени. С помощью приборов HACH и WTW в воде определены физико-химические показатели (температура, рН, удельная электропроводность, содержание растворенного кислорода и взвешенных веществ). Были отобраны пробы воды для анализа содержания главных ионов, биогенных элементов и органических загрязняющих веществ, определение которых проводилось в лаборатории Испытательного центра МГУ им. М.В. Ломоносова. Пробы для определения тяжелых металлов были консервированы для анализа с применением метода атомной абсорбции (ICP-MS).

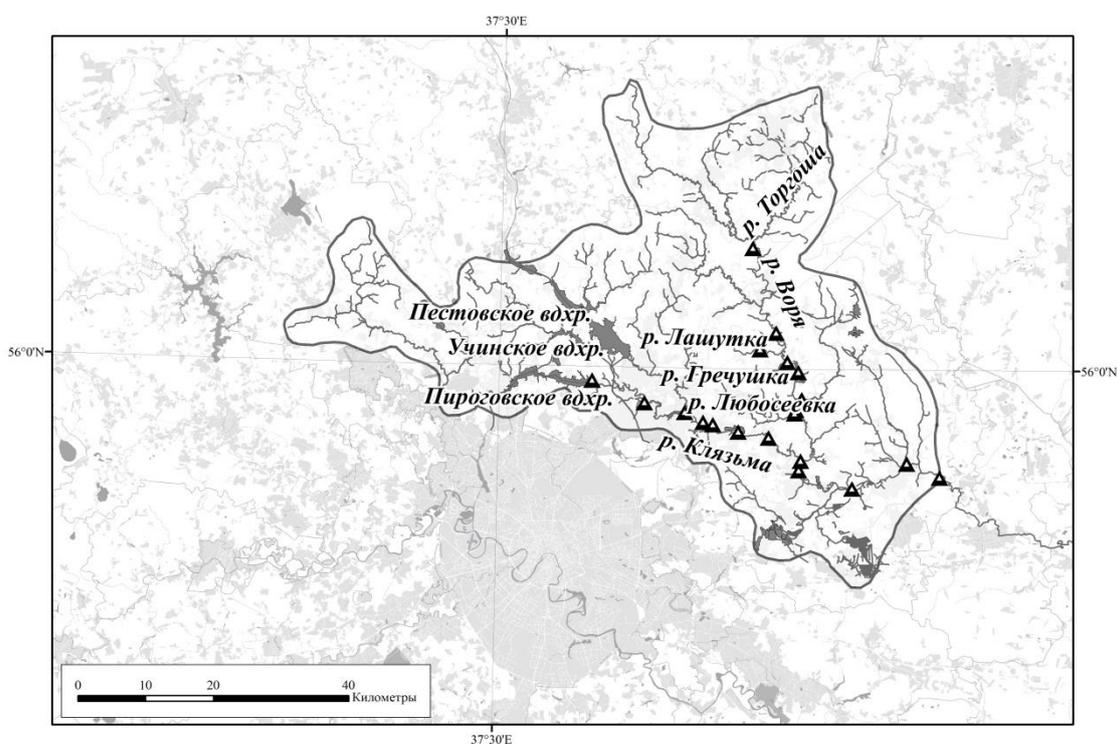


Рис. 1. Точки мониторинга в бассейне р. Клязьмы

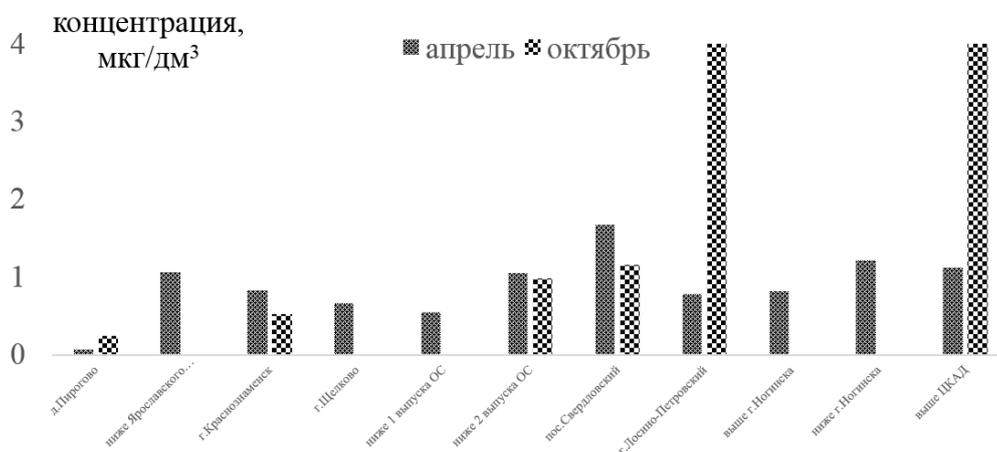
### *Анализ результатов*

Распределение основных физико-химических показателей р. Клязьмы и ее притоков на рассматриваемом участке характеризуется значительной продольной изменчивостью. Температура воды увеличивалась вниз по течению от нижнего бьефа Пироговского водохранилища, достигая наибольших значений в точках обследования ниже очистных сооружений г. Щелково и пос. Свердловский. Температура сточных вод, как в весенний, так и в летне-осенний период была выше, чем температура воды самой реки на 3,5-4°C.

На изменение значений электропроводности в р. Клязьме оказывает влияние зарегулированность стока Пироговским водохранилищем. Вне зависимости

от фазы водного режима, электропроводность воды достигала максимальных значений в результате поступления сточных вод, характеристики которых превышают природный диапазон колебаний электропроводности в рассматриваемой части бассейна. В период половодья значения электропроводности составляли 570 мкСм/см, в летне-осеннюю межень – 680 мкСм/см. Величина минерализации воды и содержание в ней главных ионов подтверждают закономерности, обнаруженные по результатам измерений электропроводности. Вода р. Клязьмы и ее притока р. Вори характеризуется гидрокарбонатно-кальциевым составом с относительно повышенной долей хлоридов и натрия, поступление которых связано с коммунально-бытовыми сточными водами и свидетельствует о значительной антропогенной трансформации водной массы реки.

Воды рр. Клязьмы и Вори характеризуются чрезвычайно высоким уровнем загрязнения биогенными веществами – аммонием, нитритами и фосфатами, концентрация которых неравномерно увеличивается вниз по течению рек, чему способствует поступление диффузного стока и точечных сбросов недостаточно очищенных коммунально-бытовых сточных вод. Превышение нормативов ПДК<sub>рх</sub> по содержанию аммонийного азота, как в половодье, так и в межень отмечалось вдоль всего течения реки, составляя в среднем 1,95 ПДК<sub>рх</sub> и достигая максимальных величин (в 4 раза выше ПДК<sub>рх</sub>) ниже пос. Свердловский. Аммонийный азот постепенно окисляется до азота нитритов, в результате чего его концентрация немного снижалась, оставаясь при этом выше значений ПДК<sub>рх</sub> (рис.2).



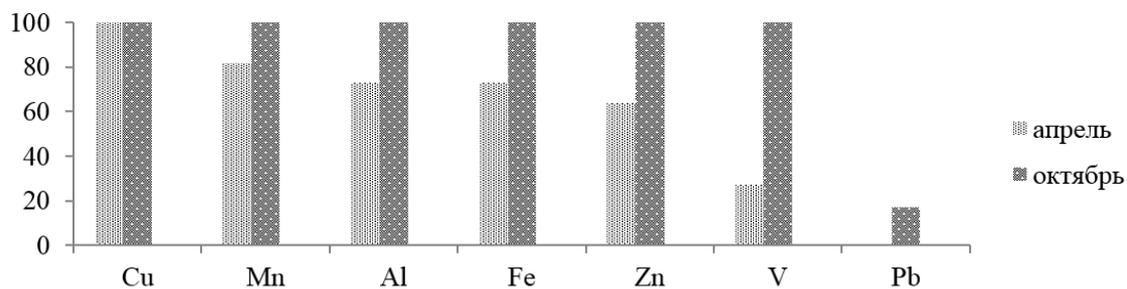
**Рис. 2. Концентрация NH<sub>4</sub> (мг/дм<sup>3</sup>) в воде р. Клязьмы на участке исследования (Пироговское водохранилище – ЦКАД)**

Содержание нитритов в воде р. Клязьмы нарастало вниз по течению, увеличиваясь в 15 раз (от 0,04 мг/дм<sup>3</sup> до 0,6 мг/дм<sup>3</sup>) до г. Щелково, где в реку поступали стоки с очистных сооружений. Ниже города содержание нитритов в реке постепенно снижалось в результате процессов разбавления и самоочищения, оставаясь при этом довольно высоким (в среднем около 4 ПДК). В меженный период концентрация нитритов в среднем была выше, чем в период прохождения половодья, что свидетельствует о меньшей разбавляющей способности реки и ухудшении ее экологического состояния.

Пространственное распределение фосфатов в водах бассейна р. Клязьмы хорошо согласуется с распределением нитритов, и свидетельствует о едином источнике их поступления. Максимальные наблюдавшиеся концентрации фосфатов (превышающие ПДК в 2,5 раза), как и для нитритов, характерны для точки мониторинга, расположенной ниже второго выпуска сточных вод с очистных сооружений г. Щелково, и являющейся проблемной точкой района исследований на протяжении многих десятилетий.

Показатель БПК<sub>5</sub> повышен в воде р. Клязьмы на всем участке исследования. Между Пироговским водохранилищем и Ярославским шоссе значения БПК<sub>5</sub> увеличились более чем в 1,5 раза. Ниже очистных сооружений г.Щелково величина БПК<sub>5</sub> достигала 10 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (4,8 ПДК), что свидетельствует о недостаточной очистке поступающих сточных вод от органических соединений и может быть следствием значительного износа или перегрузки очистных сооружений. В точке мониторинга в пос. Свердловский органическое загрязнение было еще выше – 14 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (6,7 ПДК). В среднем на исследованном участке р. Клязьмы значение БПК<sub>5</sub> составило 7,17 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, в воде р. Вори и ее притоков – 7,07 мгО<sub>2</sub>/л.

Наличие большого количество источников загрязнения (как точечных, так и диффузных) обуславливает присутствие в воде р. Клязьмы широкого спектра тяжелых металлов (рис.3).



**Рис. 3. Повторяемость превышения ПДК<sub>рх</sub> по содержанию тяжелых металлов в воде р. Клязьмы и ее притоков на участке исследования**

Максимальные превышения нормативов (ПДК) отмечены для железа, марганца и алюминия, повышенное содержание которых – характерная природная особенность бассейнов многих водотоков Московского региона. Заболоченные участки водосборов характеризуются пониженным содержанием в воде и почве кислорода, при котором происходит переход соединений железа и марганца в более подвижные растворенные формы [2]. Алюминий образует комплексы с железом и мигрирует совместно с ним [3]. В межень концентрации железа, марганца и алюминия превышали их содержание в половодье в 10 – 30 раз. Превышение этими элементами ПДК обусловлено увеличением роли подземных вод в питании реки.

Повышенное содержание других тяжелых металлов (в частности, цинка и ванадия) представляется связанным с антропогенным воздействием. Высокие концентрации приурочены к точкам мониторинга ниже населенных пунктов

Щелково, Свердловский, Ногинск. Загрязняющие вещества, поступившие в реку ниже по течению, по всей видимости, частично оседают в донных отложениях, из-за чего их содержание в воде снижается.

### **Выводы**

Река Клязьма в пределах Московской области испытывает значительное антропогенное воздействие, выражающееся, в первую очередь, в чрезвычайно высоком содержании в воде биогенных веществ. Недостаточное качество работы очистных сооружений населенных пунктов Щелково, Ногинск, Свердловский, приводит к загрязнению реки органическими соединениями, что, в свою очередь, может стать причиной развития процессов гниения и расходования запасов растворенного в реке кислорода.

В период повышенного стока увеличение поступления в реку загрязняющих веществ было обусловлено интенсивностью их смыва с водосборной территории. При пониженном стоке уменьшается разбавляющая способность реки и ее способность к самоочищению. В связи с этим в меженный период в воде р. Клязьмы наблюдались значительные превышения ПДК по содержанию биогенных элементов, достигающие 5–10 раз и более.

Разбавляющее воздействие, приводящее к снижению концентраций загрязняющих веществ, оказывает на воды р. Клязьмы впадающая в нее р. Воря, сток которой в устье сопоставим со стоком р. Клязьмы в месте слияния.

*Исследование проведено в сотрудничестве с некоммерческим фондом «Без рек как без рук».*

### **Библиографический список**

1. Клубов С.М., Третьяков В.Ю. Сток биогенных элементов и загрязняющих веществ с городских водосборов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 217–226.

2. Моисеенко Т.И., Дину М.И., Гашкина Н.А., Кремлева Т.А. Формы нахождения металлов в природных водах в зависимости от их химического состава // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 4. С. 375 – 385.

3. Савенко А.В., Савенко В.С. Кислотная мобилизация алюминия из минералов и горных пород // ВЕСТН. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 5. С.79–83.

4. Толкачев Г. Ю., Корженевский Б. И., Самарин Е. Н. Влияние городских производств на загрязнение тяжелыми металлами рек в бассейне р. Клязьма // Природообустройство. 2020. №. 2. С. 104-111.

5. Tereshina M., Erina O., Sokolov D., Shinkareva G., Vasilchuk J. Longitudinal patterns of different pollutant concentrations in the Setun river // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 834. DOI: 10.1088/1755-1315/834/1/012051

## **ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И КАЧЕСТВО ВОД ОЗЕРА ЧЕБАРКУЛЬ**

Рассматривается многолетняя динамика изменения параметров водной массы и качества вод озера Чебаркуль на Южном Урале. Озеро с 1975 г. вследствие засушливых лет и водозабора со стороны города Чебаркуль является бессточным. В период 2013–2022 гг. уровень озера упал более чем на 2 м; отмечена тенденция снижения качества воды по гидрофизическим и гидрохимическим параметрам. Озеро Чебаркуль знаменито падением наиболее крупного осколка метеорита «Челябинск»: падение метеорита, а, особенно, мероприятия по его поиску и поднятию также оказали негативное воздействие на качество воды. В скором времени г. Чебаркуль может столкнуться с дефицитом воды для водоснабжения промышленности и населения.

*Ключевые слова:* озеро Чебаркуль, водный режим, качество воды.

S.G. Zakharov, s\_zakcharov5@mail.ru

*South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia*

## **HYDROCHEMICAL REGIME AND WATER QUALITY OF LAKE CHEBARKUL**

The article discusses the long-term dynamics of changes in the parameters of the water mass and the quality of the waters of Lake Chebarkul in the South Urals. Since 1975, the lake, due to dry years and water intake from the city of Chebarkul, has been drainless. In the period 2013–2022 the water level of the lake dropped by more than 2 m; a tendency to decrease in water quality in terms of hydrophysical and hydrochemical parameters was noted. Lake Chebarkul is famous for the fall of the largest fragment of the Chelyabinsk meteorite: the fall of the meteorite and the activities to search for and raise it also had a negative impact on water quality. In the near future, the city of Chebarkul may face a shortage of water for water supply to industry and the population.

*Keywords:* lake Chebarkul, water regime, water quality.

### ***Введение***

Озеро Чебаркуль расположено на Южном Урале, котловина водоема находится в предгорьях восточных хребтов (Чашковского и Ильменского). На восточном берегу озера расположен г. Чебаркуль (около 40–45 тыс. жителей). С середины XX в. на озеро значительно увеличилась антропогенная нагрузка (водозабор, рекреация), что в сочетании с сериями маловодных лет (особенно 1974–1977 гг. и 1995–1998 гг.) приводило к значительному падению уровня вод. С июля 1972 г. по апрель 1999 г. уровень озера упал с 321,37 м Б.С. до 317,69 м Б.С.; диапазон колебания уровня составил 3,68 м [4]. Наблюдается тенденция ухудшения качества вод, особенно в маловодный период.

В 2013 г. параметры озерной котловины и водной массы составляли: площадь водного зеркала – около 16 км<sup>2</sup>, объем водной массы – около 100 млн м<sup>3</sup>;

максимальная глубина – 12 м, средняя – около 6 м. [4]. Диапазон общей минерализации за период с 1996 – 2022 гг.: 456 – 504 мг/л (зима); 384 – 536 мг/л (лето). Воды преимущественно гидрокарбонатно-магниевого (I, II и IIIa типов).

В начале XX в. озеро впервые было описано В.Н. Семеновским [6]. В 1960 – 1980-е гг. исследования озера Чебаркуль проводились М.А. Андреевой, экспедицией УралНИИВХ, Ю.П. Антошенковым. С середины 1990-х гг. по настоящее время озеро эпизодически исследовалось автором этих строк.

Основные проблемы озера – колебания уровня зеркала и изменение объема водной массы и тенденция к ухудшению качества воды. В 2013 г. в озеро Чебаркуль упал самый крупный осколок метеорита «Челябинск», вызвав локальные кратковременные изменения качества воды; в гораздо большей степени повлияло на качество вод проведение работ по его изъятию из донных отложений. С 2016 г. озеро вновь вступило в фазу понижения уровня.

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

Рассмотрена динамика основных показателей состояния экосистемы озера Чебаркуль в период с начала 1970-х гг. по 2022 г. Для оценки динамики водного и гидрохимического режима привлечены материалы Ю.П. Антошенкова [1] и собственные данные (1996–2022 гг.). В работе в основном использованы данные, полученные на центральной глубоководной станции водоема.

Отбор проб по глубинной вертикали производился батометрами Молчанова и Паталаса. В работе рассматриваются: динамика прозрачности вод, реакция среды (рН), содержание растворенного кислорода, биогенные вещества (соединения азота минерального и фосфор общий). Интенсивность «цветения» воды указывается по [5]. Качество вод определялось по ИЗВ (рассчитан по рыбохозяйственным ПДК, без учета отсутствия кислорода в придонных слоях), трофический тип озера определялся с использованием расчета TSI [7].

### ***Результаты и обсуждение***

До 1972-1974 гг. на озере не отмечались негативные явления, связанные с понижением уровня вод; не наблюдалось и качественное изменение водных масс. До 1975 г. озеро было сточным; из него вытекала р. Коелга. До начала засухи 1974–1977 гг. озеро относилось к мезотрофно-слабоэвтрофному типу; содержание растворенного кислорода в поверхностных слоях в августе было около 9,0 – 9,8 мг/л, на глубинах 8–10 м не ниже 4 мг/л; после 1977 г. в 2–3 раза выросла биомасса фитопланктона [1]. До засухи величина рН составляла 6,6–7,5; в засушливые годы – 7,0–8,75 [1].

Значительное воздействие на экосистему озера оказала засуха 1974–1977 гг. Озеро в пределах отмелей берегов значительно обнажилось; погибли прибрежные заросли макрофитов. Помимо природной засухи существенное влияние на водный баланс озера оказывал водозабор (в разные годы достигавший 5,5–7,5 млн м<sup>3</sup>/год) на нужды города. Для решения проблемы водоснабжения г. Чебаркуль в конце 1980-х гг. был разработан проект подачи воды из пруда Камбулат (в период 1989–1995 гг. было переброшено суммарно около 20–23 млн м<sup>3</sup>).

С 1995 г. водовод прекратил свое существование. К сожалению, воды пруда Камбулат имели более высокий трофический статус, чем воды озера Чебаркуль; имел место перенос нежелательных видов цианобактерий и общее повышение биомассы планктонных водорослей в озере Чебаркуль.

Второе значительное падение уровня наблюдалось в период 1995 – 1998 гг. Была дана рекомендация о сокращении общего объема водозабора до 3,6 млн м<sup>3</sup>/год (в настоящее время суммарный водозабор из озера составляет около 4 млн м<sup>3</sup>).

В период 1999–2007 гг. уровень озера поднялся на 2 м; озеро в результате водообильных лет практически восстановило свою водность на «дозасушливом» уровне начала 1970-х гг. (лесная растительность, появившаяся в пределах зоны осушки 1974–1977 гг., была затоплена и погибла). Но уже с 2009 г. наблюдалось очередное падение уровня, которое к 2022 г. опять приводит к падению уровня примерно на 2,5–2,7 м. В маловодную фазу обычно наблюдается ухудшение качества воды (снижается прозрачность, ухудшается кислородный режим, повышается концентрация биогенных веществ и интенсивность «цветения» вод).

#### Динамика прозрачности воды

В августе 1905 г. В.Н. Сементовский отмечает прозрачность в озере Чебаркуль 3,0 м. Наблюдения конца XX в. и первых десятилетий XXI в. показывают снижение величины летней прозрачности (табл. 1).

Таблица 1

**Прозрачность вод озера Чебаркуль по диску Секки**

	<i>Зима (февраль-март)</i>			<i>Лето (август)</i>				
	<i>1996</i>	<i>2013</i>	<i>2022</i>	<i>1996</i>	<i>2007</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2022</i>
Прозрачность, м	3,9	3,2-4,2	3,9	1,3-1,7	2,2	1,7	1,8	1,6

Снижение прозрачности водоема в 1996 г. происходило на фоне засухи и поступивших высокотрофных вод («цветение» до 4 степени) со стороны пруда Камбулат. 29 сентября 2013 г. в центральной зоне оз. Чебаркуль в 30 м от места работы водолазной экспедиции по подъему метеорита (продолжавшемуся уже более месяца) была зафиксирована минимальная прозрачность воды по диску Секки за все время наблюдения – 0,95 м (в сочетании с «цветением» воды, переходным между 3 и 4 степенью).

#### Реакция среды (pH)

До засухи 1974–1977 гг. воды озера имели типичную нейтральную реакцию среды [1]. В связи с повышением трофического статуса водоема и усиливающихся процессов «цветения» в летнее время pH в поверхностных водах становится слабощелочной. В 1996 г. в поверхностных горизонтах отмечалась pH 8,9; в августе – сентябре 2013 г. – до 8,92. В настоящее время слабощелочная реакция наблюдается и в зимнее время: в 2022 году значения pH составляли зима – 8,11/7,61; лето – 8,72/8,31 (поверхностные/придонные горизонты).

#### Кислородный режим

В летний период 1971–1976 гг. в придонных слоях, на глубинах 8-10 м содержание кислорода не опускалось ниже 4 мг/л [1]. В 2012 г. в придонных слоях наблюдался дефицит кислорода, вплоть до полного исчезновения (глубина 9,5 м) при перенасыщении поверхностных слоев свыше 150% [2]. Зимой 2013 и

2014 гг. глубже 8 м наблюдалась анаэробная зона. В последнюю четверть века отмечается практически постоянно существующая придонная анаэробная зона не только в зимний период (февраль-март), но и в летний (август) (табл. 2). От глубины 6 метров (глубже зоны активного ветрового перемешивания) в разгар биологического лета наблюдается дефицит кислорода (табл.2).

Таблица 2

**Распределение растворенного кислорода по глубине в озере Чебаркуль, (мгО/дм<sup>3</sup>; %)**

Горизонт измерения	Август 1996 г.	Август 2022 г.
Поверхность	9,3 (108%)	9,2 (107%)
2 -4 м	8,9 (103%)	8,0 (92%)
6 м	4,5 (50%)	2,7 (30%)
Придонные воды (8 м – 1996 г.; 7 м – 2022 г.)	1,1 (12%)	0 (0%)

#### Динамика биогенных веществ

В водах оз. Чебаркуль сохраняется относительно стабильный режим соединений азота и фосфора, без выраженной тенденции к накоплению. Максимальные значения наблюдались в 1996 г. (засуха и последствия поступления высокотрофных вод Камбулатовского пруда). Также значительный вынос фосфора общего наблюдался в придонных слоях в 2013 г. (связано с падением и извлечением фрагментов метеорита «Челябинск») (табл. 3).

Таблица 3

**Динамика соединений азота и фосфора в водах озера Чебаркуль, мг/дм<sup>3</sup>**

Соединения азота и фосфора	Периоды наблюдений							
	1971-1973*	1977-1979*	1995 -1996 август	2007 август	2013 март**	2013 август**	2022 март**	2022 август**
N-NH <sub>4</sub>	0,05–0,6	0,05–0,7	0,1 – 1,15	0,01	0,17/0,32	0,19/0,24	0,07/0,16	0,28/0,54
N-NO <sub>2</sub>	0–0,008	0,001–0,02	Менее 0,001	0,005	0,011/0,024	0,001/0,003	0,003/0,004	0,001/0,002
N-NO <sub>3</sub>	0–0,03	0,03–0,3	0,06 – 1,0	0,03	0,37/0,45	0,016/0,43	0,074/0,153	0,03/0,05
P общ.	0,01–0,05	0,03–0,12	0,05 – 0,27	0,03	0,012/0,158	0,015/0,641	0,007/0,049	0,016/0,024

\* -- данные Антошенкова, 1995 [1]

\*\* -- поверхность/придонные горизонты

#### Трофия и качество вод

В начале 1970-х гг. озеро относилось к мезотрофно-эвтрофному типу, в целом сохраняло естественные характеристики своей экосистемы. В 1996 г. озеро можно описать как типично эвтрофное. Озеро в настоящее время по трофическому индексу TSI=53 относится к слабоэвтрофным водоемам. В летнее время характерно «цветение» вод 2 степени (эпизодически – до 3 степени). В марте 2022 г. в поверхностных водах ИЗВ составлял 1,48 (3 класс качества, умеренно-загрязненные воды), в придонных водах ИЗВ составлял 7,68 соответственно (6 класс качества, очень грязные воды). В августе 2022 г. в поверхностных водах ИЗВ составлял 2,54 (переходный между 3 и 4 классом качества, умеренно-загрязненные воды – загрязненные воды), в придонных водах ИЗВ составлял 3,37 (4 класс качества, загрязненные воды).

## **Выводы**

Озеро Чебаркуль после 1975 г. представляет собой бессточный водоем; экосистема озера относится к слабоэвтрофному, в отдельных случаях – эвтрофному типу. Озеро сохраняет достаточно высокую степень самоочищения своих вод от биогенных соединений; оно успешно «справилось» с антропогенным вмешательством, связанным с поисками и подъемом метеорита «Челябинск». Ухудшение качества воды, повышение интенсивности «цветения» более ярко наблюдаются в маловодные годы. Отмечено формирование продолжительно существующей в придонных слоях анаэробной зоны как в зимнее, так и в летнее время. Отмечен переход вод озера от свойственному ему ранее 3 класса качества к водам 4 класса качества. В засушливые годы обостряется проблема водоснабжения г. Чебаркуль по объему и по качеству вод.

## **Библиографический список**

1. Антошенок Ю.П. Геосистемные начала водных экотехнологий. Челябинск: Изд-во «Фрегат», 1995. 169 с.
2. Баянов Н.Г. Трофический статус и экологическое состояние некоторых озер Челябинской области // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Челябинск: Край РА, 2012. С. 60-67.
3. Игнатьев А.А., Захаров С.Г. Режим биогенных элементов озер Елово-Чебаркульской озерной системы // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: материалы III межрегиональной научно-практической конференции. Челябинск: Абрис, 2008. С. 57-59.
4. Захаров С.Г. Экосистема озера Чебаркуль до и после падения метеорита. Челябинск: Край Ра, 2014. 56 с.
5. Оксюк О.П., Стольберг Ф.В. Управление качеством воды в каналах. АН УССР, Ин-т гидробиологии. Киев: Наукова думка, 1986. 171 с.
6. Сементовский В.Н. Горные озера Урала. Опыт классификации // Известия ИРГО. Петроград, 1914. Т.50. Вып. 5-6. С. 277-340.
7. Carlson R. A trophic state index for lakes / Limnol. Oceanogr. V. 22. 1977. P. 361-369.

А.Т. Зиновьев, А.В. Дьяченко, К.Б. Кошелев  
zinoviev@iwep.ru, dychenko@iwep.ru, koshelev@iwep.ru  
*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия*

## **КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Представлены результаты математического моделирования и натурных измерений концентрации растворенного кислорода в воде Телецкого озера. Для теоретического описания содержания кислорода в рассматриваемом водоеме использованы две модели: классическая модель Стритера-Фелпса и ее модификация, предложенная Готовцевым А.В. Сопоставительный анализ результатов расчетов по обеим моделям показал их близость между собой и хорошее соответствие натурным данным в реально наблюдаемых природных условиях. Так, проведенными расчетами установлено, что содержание растворенного кислорода в Телецком озере в основном близко к равновесной концентрации. Численными расчетами показано, что возможны некоторые модельные ситуации, при которых результаты по этим моделям различаются.

*Ключевые слова:* Телецкое озеро, кислородный режим, натурные измерения, компьютерное моделирование.

A.T. Zinoviev, A.V. Dyachenko, K.B. Koshelev  
zinoviev@iwep.ru, dychenko@iwep.ru, koshelev@iwep.ru  
*Institute for Water and Environmental problems SB RAS, Barnaul, Russia*

## **OXYGEN REGIME OF LAKE TELETSKOYE: OBSERVATIONS AND MODELING**

The paper presents the results of mathematical modeling and field measurements of the concentration of dissolved oxygen in the water of Lake Teletskoye. For the theoretical description of the oxygen content in the reservoir under consideration, two models were used: the classical Streeter-Phelps model and its modification proposed by A.V. Gotovtsev. A comparative analysis of the results of calculations for both models showed their closeness to each other and good agreement with field data in actually observed natural conditions. Thus, the calculations have shown that the content of dissolved oxygen in Lake Teletskoye is basically close to the equilibrium concentration. Numerical calculations show that some model situations are possible in which the results for these models differ.

*Keywords:* Lake Teletskoye, oxygen regime, field measurements, computer modeling.

### ***Введение***

Одним из важнейших компонентов водной среды является растворенный кислород (РК), активно влияющий на интенсивность всех физико-химических и биохимических процессов в природных водах. Для описания и прогнозирования содержания РК в водоемах и водотоках часто используются методы математического моделирования [4]. Разрабатываемые кислородные модели лежат в основе многих сложных современных моделей качества воды. Опыт применения таких моделей для водоемов и водотоков показал важность учета гидродинамических

и гидрофизических факторов, таких как скорости течений, интенсивность перемешивания водных масс и т.д. Так, гидрофизические факторы полностью определяют поток кислорода на границе раздела «вода-атмосфера». Для глубоких водоемов заметно влияние температурной стратификации на распределение концентрации РК по глубине. Для количественного описания переноса РК в озерах и водохранилищах часто используется модель Стритера-Фелпса [5] совместно с термогидродинамическими (ТГД) моделями. Пример такого подхода – 1DV-модель кислородного режима Телецкого озера [2].

В данной работе построена 1DV-модель переноса растворенного кислорода в Телецком озере на основе модифицированной модели Стритера-Фелпса, предложенной Готовцевым А.В. [1].

### ***Объект исследования***

Уникальность Телецкого озера как объекта исследования заключается в том, что это самый глубокий пресноводный водоем Западной Сибири. Озеро расположено в истоке одной из крупнейших рек мира – Оби. В настоящее время Телецкое озеро и его водосборный бассейн включены ЮНЕСКО в список объектов мирового наследия. По ряду критериев Телецкое озеро является водоемом-аналогом действующих и проектируемых глубоких сибирских водохранилищ. Результаты комплексного изучения гидроледотермического и газового режимов Телецкого озера с использованием математических методов и натуральных наблюдений являются хорошей основой для оценки точности разрабатываемых прогностических моделей гидрологических процессов в крупных водохранилищах.

Содержание растворенного кислорода в воде Телецкого озера меняется в пределах от 8 до 13 мг/л; среднегодовое насыщение составляет 87%, в летне-осенний период в верхних слоях иногда наблюдается перенасыщение кислородом до 101-112% [3]. Ситуацию по кислороду в целом определяет бедность водоема органическими веществами, что влечет за собой слабую выраженность процессов фотосинтеза и окисления. Это подтверждает относительно малое среднегодовое значение содержания углекислоты  $\text{CO}_2$  в воде озера – 3,9 мг/л.

### ***Математическая модель кислородного режима Телецкого озера***

При описании процессов переноса растворенного кислорода в Телецком озере в качестве гидрофизической основы использована 1DV гидротермическая модель. Построенная ранее математическая (1DV) модель поведения растворенного кислорода в стратифицированном Телецком озере описана в [2], где уравнения модели Стритера-Фелпса [5] изменены так, чтобы их можно было применить для расчетов глубоких водоемов. Аналогичным образом построена модель кислородного режима Телецкого озера на основе модификации уравнений Стритера-Фелпса, предложенной Готовцевым А.В. [1].

### ***Материалы и методы***

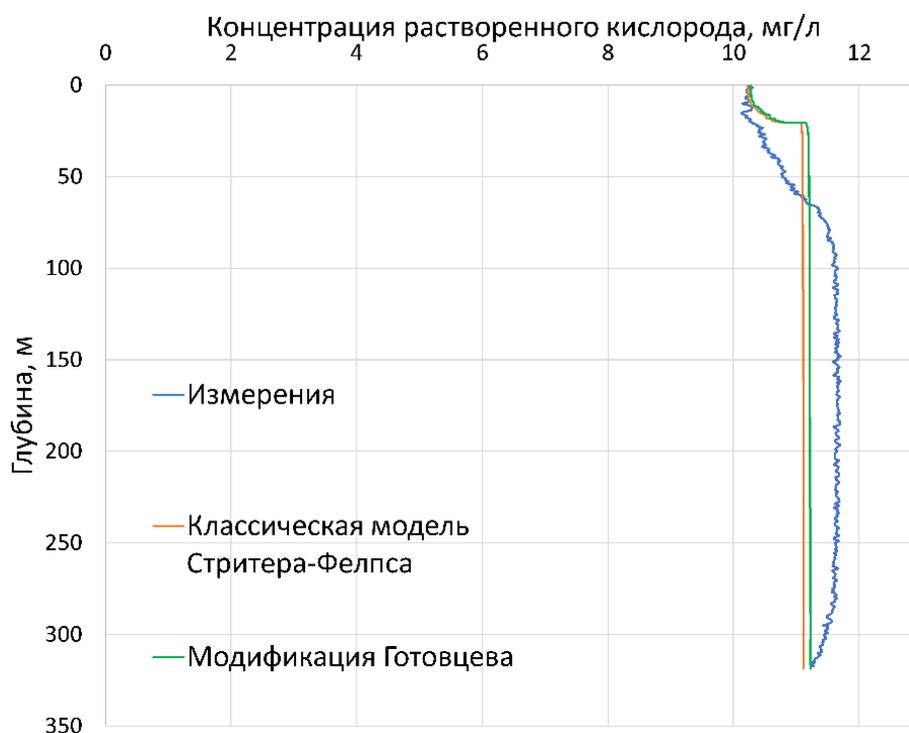
Численная одномерная вертикальная ТГД модель Телецкого озера реализована в оригинальном программном комплексе. В расчетах использованы по-

строенная ЦМР котловины Телецкого озера, данные по уровням озера, температуре и расходам воды его притоков, расходам р. Бия, а также гидрометеорологическая информация по м/ст Яйлю.

Натурные гидрофизические наблюдения на Телецком озере выполнены сотрудниками лаборатории гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН.

### ***Результаты и их обсуждение***

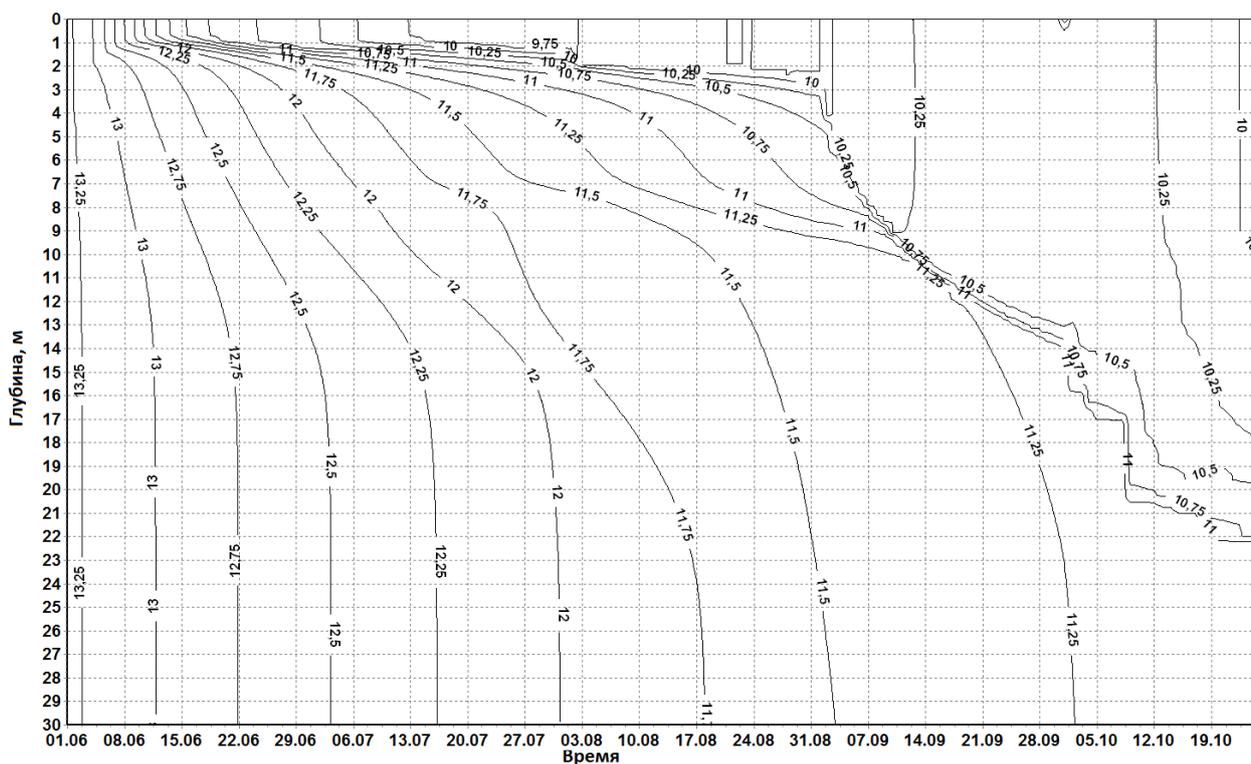
Результаты расчетов кислородного режима Телецкого озера в отсутствии ледостава показали близость профилей концентраций растворенного кислорода по обеим моделям [1; 5] и их согласие с натурными данными. На рисунке 1 представлены результаты расчетов по двум моделям и данные измерений концентрации растворенного кислорода на 10 октября. Результаты моделирования для сценарного года (см. рис.2), полученные с использованием модифицированной модели [1], свидетельствуют о содержании кислорода в Телецком озере, близком к насыщению.



**Рис. 1. Осредненная концентрация растворенного кислорода на 10 октября**

Были выполнены варианты расчетов для модельных сценариев: 1 – вода в озере на начало расчетного периода насыщена кислородом с концентрацией, близкой к равновесной, а вода притоков крайне обеднена растворенным кислородом, в то время как значение БПК<sub>5</sub> значительное; 2 – вода озера на начало расчетного периода обеднена кислородом, а вода притоков насыщена им.

Результаты расчетов для данных сценариев показали заметную разницу при использовании классической и модифицированной моделей для описания кислородного режима Телецкого озера.



**Рис. 2. Осредненная концентрация растворенного кислорода, рассчитанная по модифицированной модели РК [1] для сценарного года**

Для первого сценария полученные минимальные расчетные концентрации кислорода различались более чем на 1 мг/л. Для второй рассмотренной ситуации разница между результатами расчетов еще более заметна. В частности, результаты расчетов показали, что классическая модель вышла за диапазон своего применения и предсказала в конце расчетного периода практически полное исчезновение растворенного кислорода в приповерхностных слоях озера, в то время как по модифицированной модели получены более адекватные результаты по восстановлению содержания растворенного кислорода в воде Телецкого озера.

Из результатов расчетов по обеим моделям следует, что в течение летнего периода концентрации РК в воде Телецкого озера на глубинах более 30 м практически не меняются, несмотря на их сильные колебания в приповерхностных слоях.

### **Выводы**

Построена и апробирована путем сопоставительных численных расчетов и сравнением с натурными данными математическая 1DV-модель поведения растворенного кислорода в Телецком озере на основе модифицированной модели Стритера-Фелпса [1]. Численные эксперименты показали, что данная модель кислородного режима озера позволяет получать реалистичные результаты по содержанию РК в более широком диапазоне начальных условий, чем кислородная модель Телецкого озера, построенная ранее на основе [2].

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (проект «Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий»).*

### **Библиографический список**

1. *Готовцев А.В.* Модификация системы Стритера-Фелпса с целью учета обратной связи между концентрацией растворенного кислорода и скоростью окисления органического вещества // *Водные ресурсы.* 2010. Т. 37. № 2. С. 1-7.
2. *Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Марусин К.В., Андреева А.Ю.* Прогноз качества воды глубоких водохранилищ для решения задач управления // *Ползуновский вестник.* 2005. № 4. Ч. 2. С.101-106.
3. *Селегей В.В., Селегей Т.С.* Телецкое озеро. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 142 с.
4. *Хендерсон-Селлерс Б.* Инженерная лимнология. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 336 с.
5. *Streeter H.W., Phelps E.B.* A Study of the pollution and natural purification of the Ohio river. Public Health Bulletin. 1925. No. 146. P. 1-75.

Е.А. Кашутина<sup>1</sup>, С.В. Ясинский<sup>1</sup>, Е.С. Гришанцева<sup>1,2</sup>, М.В. Сидорова<sup>1</sup>  
kashutina@igras.ru

<sup>1</sup>Институт географии РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

## ОЦЕНКА ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СО ВЗВЕСЯМИ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

На государственной сети мониторинга водных объектов сейчас регулярно отслеживаются только растворенные формы металлов. Потоки вещества, перемещающиеся со взвешенными наносами, в том числе с частицами наибольшей сорбционной емкостью микро- и нанодиапазона, не изучаются. Нет информации о формах, в которых находятся загрязняющие вещества. Однако эти формы определяют токсичность загрязнителя для биоты и необходимость применения разных способов водоподготовки. Анализ форм требует разработки новых методик пробоотбора и пробоподготовки, применения современных высокочувствительных аналитических методов, дорогостоящего оборудования, особо чистых химических реактивов, высокой квалификации химиков-аналитиков, отбора проб большого объема для выделения необходимого количества вещества для анализа.

*Ключевые слова:* водная среда, мониторинг, загрязнение, взвеси, микрочастицы, фракционирование, последовательные экстракции.

E.A. Kashutina<sup>1</sup>, S.V. Yasinsky<sup>1</sup>, E.S. Grishantseva<sup>1,2</sup>, M.V. Sidorova<sup>1</sup>  
kashutina@igras.ru

<sup>1</sup>Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow, Russia

## EVALUATION OF POLLUTION TRANSFER WITH SUSPENSIONS IN WATER BODIES

Only dissolved forms of metals are now regularly monitored on the state network for monitoring water bodies. Fluxes of matter moving with suspended sediments, including particles with the highest sorption capacity of the micro- and nanorange, are not studied. There is no information on the forms in which the contaminants are found. However, these forms determine the toxicity of the pollutant to biota and the need to use different methods of water treatment. The analysis of forms requires the development of new methods of sampling and sample preparation, the use of modern highly sensitive analytical methods, expensive equipment, highly pure chemical reagents, highly qualified analytical chemists, and large-volume sampling to isolate the required amount of a substance for analysis.

*Keywords:* aquatic environment, monitoring, pollution, suspensions, microparticles, fractionation, sequential extraction.

### *Состояние вопроса*

В водной среде химические соединения могут присутствовать и переноситься в жидкой (в виде растворов), газообразной, коллоидной и твердой (в виде

суспензий – взвешенных наносов) фазах и с биологическими объектами. В природных водах наиболее токсичными и самыми изученными считаются растворенные формы загрязняющих веществ [10].

Перенос загрязнителей с коллоидами и твердыми взвесями изучен далеко недостаточно. Что же переносится со взвесями в окружающей нас среде? С частицами атмосферного аэрозоля (атмосферной взвеси) мигрируют сульфаты, нитраты, хлориды, аммонийный азот, ионы натрия, калия, кальция, магния, органический и минеральный углерод (сажа), металлы (в том числе ванадий, кадмий, медь, никель, цинк, ртуть), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), аллергены и микроорганизмы. В почвенном фильтрате и дренажных водах частицы взвесей и коллоиды переносят соединения фосфора, патогенные микроорганизмы, стойкие органические загрязнители и соединения азота [21]. В водных объектах со взвешенными наносами переносятся органические соединения, биологические объекты. Преобладающая форма миграции тяжелых металлов и металлоидов в речных водах – взвешенная, на ее долю может приходиться до 90–99% от общей речной транспортировки [3]. Есть и другие оценки. Так, в работе [26] отмечается, что на долю растворенных форм Zn и Cd в бассейне Волги приходится 60–80% их общего содержания.

В современных гидроэкологических исследованиях при аналитическом определении металлов к растворенным относят те формы, которые проходят через фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, к взвешенным формам – остающиеся на фильтре 0,45 мкм [12]. Отметим, что это достаточно формальное разделение. К выделенным таким способом растворенным формам относят и вещества, находящиеся фактически в твердой фазе в виде взвесей и коллоидов. Несмотря на наличие методик, позволяющих оценить содержание как растворенных [12], так и взвешенных форм загрязняющих веществ [13], а также вида химических соединений, на Гидрометсети практически не оценивается содержание ЗВ во взвесях. В Ежегодниках качества поверхностных вод Российской Федерации по-прежнему приводятся либо валовые содержания веществ, либо для металлов – только содержание их в воде после фильтрации через фильтры с диаметром пор 0,45 микрон [5].

Однако даже информация о том, сколько загрязнителя ассоциировано со взвесью, не дает полного представления о его токсичности. В зависимости от состава и размера агента-переносчика, вида загрязнителя и условий окружающей среды химическая форма загрязнителя, степень его связи с переносчиком и, соответственно, подвижность и токсичность для биоты могут быть различными. При изменении условий среды (рН, Eh, гидродинамических условий, при взаимодействии с другими веществами или механическом воздействии) загрязнитель может переходить из связанного с твердой фазой (наносами) состояния в растворенное и наоборот. При этом соответственно изменяется его токсичность.

Загрязнители во взвеси относятся к разным группам: (1) растворимые в воде, (2) обменные и/или кислоторастворимые, (3) восстанавливаемые, (4) окисляемые, (5) остаточные, связанные со скелетом твердой фракции [27]. С первой до пятой группы степень связности загрязнителя с твердым носителем усиливается, а возможность перехода в раствор уменьшается.

Металлы в водорастворимых, обменных и/или кислоторастворимых фракциях могут легко перейти в растворенные формы при увеличении солености или кислотности окружающей среды. Обменная фракция включает слабо адсорбируемые элементы, удерживаемые на твердой поверхности за счет относительно слабых электростатических взаимодействий, элементы, которые могут высвободиться в результате ионообменных процессов [20]. Кислоторастворимая фракция – это в основном металлы, связанные с карбонатами. Металлы восстанавливаемой фракции часто связаны с оксидами Fe и Mn и переходят в раствор при установлении восстановительных условий. Металлы, находящиеся в окисляемой фракции, связаны в основном с органическим веществом и с сульфидами и легко высвобождаются в окислительных условиях. Например, при окислении пойменных отложений формы связывания Cd, Cu, Pb и Zn изменяются от прочно связанных окисляемых фракций к слабо связанным карбонатным и обменным фракциям. Остаточная фракция содержит химические элементы, часто связанные с силикатами. Это очень прочные связи, которые разрушаются концентрированными кислотами, наличие которых нехарактерно для обычных условий окружающей среды. Однако и эта фаза, согласно исследованиям, могла быть нестабильной. Так по мере высыхания и окисления осадка отложений в течение 12 недель большинство металлов, кроме Cd и As, переходили из остаточной фазы в более подвижную [28].

Скорость сорбции/десорбции зависит и от структуры взвеси (размера частиц, их состава и пористости), коэффициентов диффузии в фазе взвеси. Уменьшение размеров частиц взвесей должно приводить к интегральному росту площади их удельной поверхности, соответственно свободной энергии и усилению их сорбционной способности [1; 10; 11; 16; 23; 25]. В водной среде значительная часть всех молекул, составляющих частицы взвеси размером менее 1 мкм, находится на поверхности раздела между твердой и жидкой фазами. Такие молекулы обладают избыточной свободной энергией, что приводит к резкому увеличению сорбционной емкости микрочастиц взвеси и их потенциальной способности к переносу загрязнений [8]. Теоретически показано, что при уменьшении размерности глинистых частиц взвесей примерно до 1 мкм происходит значительный рост скорости сорбции [2]. Очень высокая способность к сорбции токсичных веществ и элементов характерна для субмикрочастиц и особенно наночастиц [4].

Микрочастицы и наночастицы обладают неприятной особенностью для водопользователей – они практически не осаждаются в речных потоках. 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 [9]. Для удаления микрочастиц и наночастиц из воды требуются специальные методы очистки, фильтры [14]. Чем меньше частицы, тем длиннее путь их миграции как в воздухе и в воде, так и в живых организмах. Из-за малого размера частицы с адсорбированными токсикантами могут не распознаваться защитными системами организма, поэтому не подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма. Химические показатели внутри организма значительно отличаются от характеристик окружающей среды, в первую очередь, уровнем кислотности.

В этих условиях попавшие в организм с частицами загрязнители способны десорбироваться с микрочастиц, переходя в растворенные токсичные формы. Токсиканты накапливаются в растениях, животных и в микроорганизмах (биоаккумуляция). При этом при переходе от одного к другому звеньям пищевой цепи происходит стремительное увеличение содержания загрязняющего вещества (биомагнификация), что представляет угрозу для одного из верхних звеньев пищевой цепи в экосистеме – человека [6; 10].

### *Материалы и методы исследования*

Основные используемые методы разделения частиц по размерам и выделения микро- и наночастиц – это седиментация и каскадная фильтрация, которые могут быть совмещены с центрифугированием, а также проточное фракционирование в поперечном силовом поле. Закон Стокса, на котором основаны методики седиментации, применим для сферических частиц. Но частицы взвеси разнообразны по форме. Кроме того, в процессе седиментации и центрифугирования частички взвеси за счет физико-химических взаимодействий могут слипаться и соосаждаться, что дополнительно вносит ошибки в результаты. Для увеличения продуктивности центрифугирования: и относительно быстрого получения значимого количества материала для последующих анализов могут использоваться либо большие центрифуги, либо проточное центрифугирование [4; 29]. Основным недостатком методов седиментации и центрифугирования являются низкие разрешающая способность и эффективность разделения частиц по фракциям [4]. Каскадная фильтрация – это фильтрация проб воды через фильтры с порами последовательно уменьшающихся размеров, причем есть примеры применения фильтров с наноразмерами пор [7]. В процессе вакуумной фильтрации возможен разрыв и деформация частиц взвеси. Ошибки при оценках содержания фракций взвесей в водной среде методом каскадной фильтрации вызваны постепенным забиванием фильтров частицами взвеси при фильтрации, загрязнением фильтрата материалом фильтра, а также физико-химическим взаимодействием между частицами взвеси, в том числе слипанием, и между материалом фильтра и взвесью [15; 18; 19; 22; 24].

Для оценки элементного и минерального состава выделенных частиц используют методы электронной и рентгеновской спектроскопии, масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой, атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой, атомно-абсорбционную спектрометрию [4].

Формы нахождения элементов (виды химических соединений) в наносах определяются с помощью методов последовательных экстракций. Для этого к исследуемой пробе последовательно добавляются различные реагенты для извлечения (экстракции) элементов из твердых частиц и перехода их в раствор. Схемы последовательной экстракции имитируют возможные преобразования загрязнителей, связанных с твердыми частицами, в окружающей среде. Во всех схемах экстрагенты применяются в порядке возрастания реакционной способности. В результате на каждом этапе выделяются элементы, связанные со всё менее подвижными соединениями во взвесьях. Схемы последовательной экстракции

дают подробную информацию о происхождении, способе возникновения, подвижности, биологической и физико-химической доступности элементов в образцах почвы, донных отложений, взвешенных наносов [17]. Основное ограничение методов анализа взвесей – необходимость накопления достаточного для анализа количества взвеси необходимого размерного диапазона, что требует значительного объема исходной пробы, длительного процесса пробоподготовки, применения современных высокочувствительных аналитических методов, дорогостоящего оборудования, особо чистых химических реактивов, высокой квалификации химиков-аналитиков.

### **Выводы**

Принятые в государственной сети мониторинга страны практики анализа состояния окружающей среды могут недоучитывать транспорт взвешенных наносов в реках и не обеспечивать контроль переноса загрязнений взвесями. Значительна роль взвесей в транспорте металлов, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ. При уменьшении размеров частиц-переносчиков до микронного уровня происходит резкое увеличение их сорбционной емкости и потенциальной способности к переносу загрязнений, проникновению в пищевые цепи, а также возможности «ускользнуть» от применяющихся систем очистки воды. Микровзвеси переносят большое количество загрязняющих веществ, которые обычно не учитываются в стандартных анализах.

Отсутствие общепризнанных, унифицированных, регламентированных подходов к определению доли загрязняющих веществ в составе частиц различной размерности затрудняет сопоставление результатов, полученных различными учеными. Однако исследования речных взвесей разного диапазона размерности необходимы для формирования научных представлений о процессах загрязнения окружающей среды и выработки адекватных мер по их смягчению.

*Работа выполнена в рамках реализации и при поддержке гранта РФФ 22-17-00224 “Формирование гидролого-геохимических процессов на водосборах каскадов Верхне-Волжских и Камских водохранилищ при различных сценариях землепользования и изменениях климата на их территориях” (вопросы гетерогенности переноса загрязнения на водосборах и в водных объектах от диффузных и точечных источников); а также в рамках Государственного задания FMGE-2019-0007 (АААА-А19-119021990093-8) – разработка методических подходов к оценке переноса загрязняющих веществ взвесями разной крупности.*

### **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. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. 236 с.
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. *Гордеев В.В.* Геохимия системы река-море. М.: Изд-во ИП Матушкина И.И., 2012. 452 с.

4. *Иванеев А.И.* Развитие комплексного подхода к выделению и определению элементного состава наночастиц вулканического пепла и городской пыли: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. М., Национальный исследовательский технологический университет МИСиС, Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, 2020. 156 с.

5. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2020 Ростов-на-Дону. Гидрохимический институт, 2021. 612 с.

6. Концепция токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов (Постановление главного государственного санитарного врача РФ от 31.10.2007 № 79). М., 2007. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_72780/e593de47685fa87564c03035d9c87bf6359dd56e/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72780/e593de47685fa87564c03035d9c87bf6359dd56e/) (дата обращения: 25.02.2022).

7. *Лапицкий С.А., Алехин Ю.В., Ситникова М.В., Ильина С.М.* Каскадная ультрафильтрация как метод изучения комплексообразования микроэлементов с наномолекулами ров природных вод // Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009) Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН», 2009, №1(27), ISSN 1819 – 6586. URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2009/informbul-1\\_2009/geocol-7.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/geocol-7.pdf) (дата обращения: 25.02.2022).

8. *Нежиховский Р.А.* Река Нева и Невская губа. Л., Гидрометеиздат, 1981, 110с.

9. *Орлов Б. В., Бойкова И. Г., Печников В. Г.* Экологическая реабилитация московской городской водоотводящей системы // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 7. С. 51–57.

10. *Папина Т.С.* Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем: Аналит. Обзор. (Сер. Экология. Вып. 62). Новосибирск, ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН, 2001. 58 с.

11. *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.

12. РД 52.24.377-2008. Массовая концентрация алюминия, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, молибдена, никеля, свинца, серебра, хрома и цинка в водах. Методика выполнения измерений методом атомной абсорбции с прямой электротермической атомизацией проб. Ростов-на-Дону, Росгидромет, Государственное учреждение Гидрохимический институт, 2008. 29 с.+5 с.

13. РД 52.24.536-2019. Массовая концентрация железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома и цинка во взвешенных веществах вод. Методика измерений атомно-абсорбционным методом с использованием микроволновой обработки проб. Ростов-на-Дону, Росгидромет, ФГБУ Гидрохимический институт, 2019. 38 с.

14. Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Крюков Л.Н. Трансформация наноразмерных частиц и проблема их удаления при водоподготовке // Доклады Академии наук. 2014. Т. 458. № 3. С. 349–353.
15. Buffle J. and Leppard, G.G. Characterization of aquatic colloids and macromolecules. 2. Key role of physical structures on analytical results. – Environ. Sci. Technol., 1995, vol. 29, pp. 2176-2184.
16. Buzea C., Pacheco I.I., and Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. – Biointerphases, 2007, vol. 2, no. 4., pp. MR17–MR71.
17. Du Laing G. Analysis and Fractionation of Trace Elements in Soils. – Trace Elements in Soils. UK, Chichester, John Wiley and Sons, 2010, pp. 53–80.
18. Ermolin M.S. and Fedotov P.S. Separation and characterization of environmental nano- and submicron particles – Reviews in Analytical Chemistry, 2016, vol. 35, no. 4, pp. 185–199.
19. Fedotov P.S., Vanifatova N.G., Shkinev V.M., and Spivakov B.Y. Fractionation and characterization of nano- and microparticles in liquid media – Anal. Bioanal. Chem., 2011, vol. 400, no. 6, pp. 1787–1804.
20. Filgueiras A.V., Lavilla I., and Bendicho C. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. – Journal of Environmental Monitoring, 2002, no. 4, pp. 823-857.
21. Gimbert L.J., Haygarth P.M., Beckett R., and Worsfold P.J. Comparison of centrifugation and filtration techniques for the size fractionation of colloidal material in soil suspensions using sedimentation field-flow fractionation. – Environ Sci Technol., 2005 Mar 15, vol. 39(6), pp. 1731–1735.
22. Haygarth P.M.; Warwick M.S.; and House W.A. Size distribution of colloidal molybdate reactive phosphorus in river waters and soil solution. – Water Res., 1997, vol. 31, pp. 439-448.
23. Horowitz A.J. A primer on trace metal-sediment chemistry. – Alexandria, 1985, 67 p.
24. Imoto Y., Yasutaka T., Someya M., and Higashino K. Influence of solid-liquid separation method parameters employed in soil leaching tests on apparent metal concentration – Sci. Total Environ., 2018, vol. 624, pp. 96–105.
25. Jackson M. Soil chemical analysis – advanced course. – Washington, Madison, 1979, 898 p.
26. Lychagin M. Y., Tkachenko A. N., Kasimov N. S., and Kroonenberg S. B. Heavy metals in the water, plants, and bottom sediments of the Volga River mouth area – Journal Coastal Res., 2015, Vol. 31, pp. 859–868.
27. Rauret G. Extraction Procedures for the Determination of Heavy Metals in Contaminated Soil and Sediment – Talanta, 1998, vol. 46, pp. 449-455.
28. Treatise on Estuarine and Coastal Science / Donald Mclusky and Eric Wolanski (eds.). – Academic Press, 2012, 4590 p.
29. Zhang H., Luo Y., Makino T., Wu L., and Nanzyo M. The heavy metal partition in size-fractions of the fine particles in agricultural soils contaminated by waste water and smelter dust – J. Hazard. Mater., 2013, vol. 248–249, pp. 303–312.

Н.В. Кирпичникова<sup>1</sup>, К.П. Воронина<sup>2</sup>, nkirp@list.ru

<sup>1</sup> *Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *ГУП «Мосводосток», г. Москва, Россия*

## **ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ Р. ЯУЗЫ В МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКЕ**

Рассмотрена многолетняя динамика и тренды гидрометеорологических параметров на водосборе р. Яузы за период 1986-2021 гг., концентраций загрязняющих веществ в реке, определены приоритетные. Рассчитаны превышения фактических значений концентраций над значениями ПДК, обосновано высокое загрязнение реки и возможные источники загрязнения.

*Ключевые слова:* мониторинг, многолетняя динамика, загрязняющие вещества, гидрометеорологические факторы, источники загрязнения, поверхностный сток.

N.V. Kirpichnikova<sup>1</sup>, K.P. Voronina<sup>2</sup>, nkirp@list.ru

<sup>1</sup> *Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *Mosvodostok State Unitary Enterprise, Moscow, Russia*

## **THE MAIN FACTORS OF THE FORMATION OF THE WATER QUALITY OF THE YAUZA RIVER IN THE LONG-TERM DYNAMICS**

The long-term dynamics and trends of hydrometeorological parameters in the catchment area of the Yauza River for the period 1986-2021, concentrations of pollutants in the river are considered, priority ones are determined. The excess of the actual concentration values over the MPC values is calculated, the high pollution of the river and possible sources of pollution are justified.

*Keywords:* monitoring, long-term dynamics, pollutants, hydrometeorological factors, surface runoff.

### ***Введение***

Анализ качественного состояния многих водных объектов в последние десятилетия позволяет сделать вывод о высоком загрязнении вод и неэффективности водоохраных программ. Для научного обоснования последних необходимо усовершенствовать государственную систему мониторинга качества воды и использовать методические разработки по идентификации источников загрязнения, особенно неконтролируемых диффузного характера [1]. На первом этапе решения задач водоохранного аспекта необходимо изучить многолетние и сезонные тенденции основных показателей качества воды с анализом гидрометеорологических условий объекта и дальнейшим обоснованием антропогенной нагрузки. В работе представлен пример такого подхода.

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

Река Яуза – самый крупный левобережный приток р. Москвы, ее длина составляет 48 км (из них в черте города 29 км), общая водосборная площадь 452 км<sup>2</sup> (в пределах города 272 км<sup>2</sup> или 60% от общей площади). Река Москва входит в москворецкую систему водоснабжения столицы.

Водные ресурсы р. Яузы формируются за счёт естественного стока реки и попусков из водораздельного бьефа канала им. Москвы для улучшения экологической обстановки и обеспечения шлюзования в реке. Естественные средние годовые расходы воды р. Яузы в разные годы колеблются от 0,5 до 2,8 м<sup>3</sup>/с, снижаясь в меженные месяцы до 0,05...0,1 м<sup>3</sup>/с. На всём протяжении Яуза принимает 15 притоков длиной более 10 км каждый.

Река Яуза является водным объектом рыбохозяйственного значения второй категории (Постановление от 28.02.2019 № 206 «Об утверждении положения об отнесении водного объекта или части водного объекта к водным объектам рыбохозяйственного значения и определении категории водных объектов рыбохозяйственного значения») [2].

Основными факторами формирования качества воды реки являются гидрометеорологические условия, особенности рельефа и источники загрязнения. Кроме контролируемых сточных вод по длине реки высокие концентрации загрязняющих веществ обусловлены поверхностным смывом с территории Москвы талых и дождевых вод. По данным ГУП «Мосводосток» на р. Яузе насчитывается 612 водовыпусков, что является большой проблемой в общем загрязнении реки. После впадения в р. Москву исследователи также отмечают всплеск концентраций ряда загрязняющих веществ: фенолы, железо, аммонийный азот, нефтепродукты [3].

В настоящее время общее экологическое состояние р. Яузы оценивается как неудовлетворительное, некоторые попытки по реабилитации небольшого участка реки и нескольких притоков в результате оказались неэффективными. Наблюдения за температурой воздуха атмосферными осадками (метеостанция ВДНХ, г. Москва), расходами воды (сброс через Яузский гидроузел – в 1 км от устья р. Яузы) и качеством воды (измерения в 0,1 км выше устья) проводит Центральное УГМС Росгидромета. Следует отметить, что гидрометеорологические параметры наблюдаются ежедневно, отбор проб воды проводится один раз в месяц.

### *Анализ результатов*

На первом этапе сформирована электронная база многолетних данных за период 1986-2021 гг.:

- температура воздуха;
- атмосферные осадки;
- расходы воды;
- концентрации гидрохимических параметров: цинк, медь, взвешенные вещества, нефтепродукты, аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды.

По всем приведенным параметрам на основе многолетних данных проведен анализ с обоснованием приоритетных загрязняющих веществ и выявлением их трендов, для каждого гидрохимического показателя представлены также уравнения регрессии.

Приоритетными загрязняющими веществами практически на протяжении всего исследуемого периода являются взвешенные вещества, нефтепродукты, аммоний, цинк и медь, концентрации которых многократно превышают значения ПДК<sub>рб</sub>.

Из рассматриваемых загрязняющих веществ нефтепродукты и взвешенные вещества наиболее характерны для поверхностного стока городов в период половодья и паводков, который включает и вынос с промышленных зон [4; 5]. По приведенным многолетним трендам наблюдается стабильная динамика атмосферных осадков и сброса через Яузский гидроузел, но периодически в последнее десятилетие наблюдаются экстремальные всплески концентраций нефтепродуктов, что может быть связано как с нагрузкой автотранспорта в столице, так и с аварийными сбросами сточных вод. По взвешенным веществам несколько уменьшились среднегодовые значения, но в паводочные сезоны концентрации могут превышать значения ПДК<sub>рб</sub> в десятки раз. По меди высокие концентрации уменьшились к 2007 г., но в настоящее время наблюдается их увеличение в реке. Концентрации цинка были минимальными с 2007 по 2016 г. и в последние годы наблюдается резкий всплеск. Тяжелые металлы традиционно относятся к загрязняющим веществам от точечных источников – промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Аммоний характерен как для поверхностного городского смыва, так и для сточных вод, многолетние концентрации во много раз превышали допустимые значения, но в последние годы близки к ПДК<sub>рб</sub>.

Следует отметить, что в настоящее время качество государственной отчетности 2 ТП-водхоз (точечные источники) достаточно низкое, т.к. многие предприятия прекратили свою деятельность, но цеха и промышленные объекты сдаются в аренду, контроль за которыми практически не ведется в плане водоотведения. Этот факт отражается на отсутствии соблюдения регламента по деятельности очистных сооружений. Например, такие крупные предприятия на р. Яузе, как ОАО «Мосстройпластмасс» и ОАО «Красный богатырь» давно прекратили свою деятельность, но их территории и цеха сданы в аренду различным организациям, в том числе и производственным. Соответственно, очистные сооружения не подстраиваются под новые технологии в связи с многообразием арендаторов и высокими затратами по содержанию эффективных систем очистки. Этот тревожный факт перехода точечных контролируемых источников загрязнения в класс неконтролируемых был отмечен еще в 1995 г. [6].

Идентификация конкретных источников загрязнения с научным обоснованием возможно только при организации специального комплексного мониторинга с акцентом на неконтролируемый поверхностный сток г. Москвы [7-11].

За рассматриваемый период наблюдений рассчитана повторяемость превышений концентраций загрязняющих веществ по отношению к ПДК<sub>рб</sub>, как:

$$H_i = (N_{\text{пдк}i} / N_i) * 100 \quad (1)$$

где:  $N_{\text{пдк}i}$  – число измерений, превышающих ПДК<sub>рб</sub> конкретного загрязняющего вещества;  $N_i$  – общее число измерений конкретного загрязняющего вещества.

Приведенные значения повторяемости превышений в таблице показывают, что для ряда загрязняющих веществ практически за весь период наблюдений измеренные концентрации были значительно выше значений предельно допустимых концентраций, повторяемость высоких концентраций близка к 100%.

**Расчетные значения повторяемости превышений концентраций  
загрязняющих веществ**

<i>Загрязняющие вещества</i>	<i>ПДК<sub>рб</sub>, мг/л</i>	<i>N<sub>i</sub></i>	<i>Макс. концентрация, мг/л</i>	<i>C<sub>макс</sub>/C<sub>ПДК</sub></i>
Взвешенные вещества	10,75	99,3	225	21
Нефтепродукты	0,05	99,1	2,34	47
Аммоний	0,5	91,7	10,8	22
Цинк	0,01	86,1	0,14	14
Медь	0,001	99,8	0,035	35

***Выводы***

Разработана многолетняя электронная база данных с 1986 по 2021 гг., на основании которой проведен комплексный анализ динамики концентраций ряда загрязняющих веществ и гидрометеорологических условий, что позволяет сделать следующие выводы:

- река Яуза является явным источником загрязнения р. Москвы;
- приоритетными загрязняющими веществами на протяжении всего периода наблюдений являются взвешенные вещества, нефтепродукты, медь, цинк, аммоний;
- многолетние тренды загрязняющих веществ и гидрометеорологических параметров не совпадают, что позволяет сделать вывод о доминирующем влиянии многообразных источников загрязнения на формирование внутригодовых сезонных концентраций и их экстремальных значений;
- для идентификации конкретных источников загрязнения необходимо разработать специальный мониторинг с целью оценки вклада загрязнителей в формирование качества воды р. Яузы и научно-обоснованной водоохранной программы;
- за весь период наблюдений рассчитана повторяемость превышений концентраций над ПДК<sub>рб</sub>, которая по всем представленным загрязняющим веществам близка к 100%, максимальные концентрации загрязняющих веществ в отдельные годы превышают допустимые значения в десятки раз;
- учитывая высокую степень загрязнения р. Яузы на протяжении последних десятилетий можно сделать вывод, что водоохранные усилия на водосборе были не эффективны.

*Работа выполнена в соответствии с темой № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий» государственного задания ИВП РАН.*

## Библиографический список

1. *Диффузное* загрязнение водных объектов: проблемы и решения / под ред. В.И. Днилова-Данильяна. М.: РАН. 2020. 510 с.
2. *Постановление* Правительства Российской Федерации от 28 февраля 2019 г. № 206 «Об утверждении положения об отнесении водного объекта или части водного объекта к водным объектам рыбохозяйственного значения и определении категории водных объектов рыбохозяйственного значения».
3. *Яшин И.М., Васенев И.И., Гареева И.В., Черников В.А.* Экологический мониторинг вод Москвы-реки в столичном мегаполисе // Известия Тимирязевский сельскохозяйственной Академии. 2015. № 5. С. 8-25.
4. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В., Лахтюк Р.А.* Динамика загрязнения Верхней Волги талым стоком городских территорий // Водные ресурсы. 1990. № 2. С. 37-42.
5. *Словягина А.Н., Полянин В.О, Фащевская Т.Б.* Пространственно-временная динамика качества воды городского водотока (на примере р. Лихоборка) // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: материалы конференции. Ростов-на-Дону. 2020. Ч. 1. С. 146-152.
6. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В.* Промышленные сточные воды Тверской области в условиях экономического кризиса // Региональные геоэкологические исследования: сб. тр. ТГУ. 2005. С. 70-78.
7. *Гордин И.В., Кирпичникова Н.В., Виницкая А.А.* Идентификация неконтролируемых залповых поступлений сточных вод в нестационарные водотоки // Химия и технология воды. 1990. Т. 12. С. 967- 973.
8. *Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В.* Мониторинг источников загрязнения водных объектов. Монография: Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод. М.: Научный мир, 2016. С. 183-212.
9. *Кирпичникова Н.В., Полянин В.О.* Особенности организации мониторинга источников диффузного загрязнения природных вод // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: сб. тр. всерос. науч. конференции. Нижний Новгород. 2019. С. 389-395.
10. *Кирпичникова Н.В.* Проблемы организации мониторинга неконтролируемых источников загрязнения на водосборах водных объектов // Проблемы экологического мониторинга: материалы всерос. науч. конференции. Москва. 2017. С. 422-424.
11. *Кирпичникова Н.В., Воронина К.П., Хорошевская О.В.* Анализ систем мониторинга на разных уровнях организации в оценке динамики гидрохимических показателей водных объектов и источников загрязнения // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: сб. тр. V Всерос. науч. конференции. Иркутск. 2022.

М.А. Козлова, mblshok@mail.ru  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД**

Рассмотрены проблемы, вызванные лекарственным загрязнением сточных и природных вод. Показано, что даже незначительные концентрации лекарств могут негативно влиять на гидробионтов, и на экосистему в целом. Лекарственные препараты могут накапливаться в донных отложениях или мигрировать в толще воды на дальние расстояния. Для оценки опасности лекарственных веществ предложено использовать прогнозные модели предсказания биологической активности соединений, а также токсичности. Рассмотрено несколько компьютерных программ, в том числе включающих элементы искусственного интеллекта.

*Ключевые слова:* влияние веществ на экосистему, водная среда, лекарственное загрязнение, опасность веществ, оценка токсичности.

М.А. Kozlova, mblshok@mail.ru  
*Water Problems Institute of the RAS, Moscow, Russia*

## **HAZARD ASSESSMENT OF PHARMACEUTICAL POLLUTION OF NATURAL WATERS**

The article deals with the problems caused by pharmaceutical pollution of wastewater and natural waters. It has been shown that even insignificant concentrations of pharmaceuticals are able to negatively affect aquatic organisms and the ecosystem. Pharmaceuticals can accumulate in bottom sediments or migrate over long distances in the water column. To assess the danger of pharmaceutical substances, it is proposed to use models for predicting the biological activity of compounds, as well as toxicity. The paper considers several computer programs, including those that involve elements of artificial intelligence.

*Keywords:* impact of substances on the ecosystem, aquatic environment, pharmaceutical pollution, danger of substances, toxicity assessment.

### ***Введение***

Традиционно качеству поверхностных вод уделяется значительное внимание, поскольку именно этот тип вод является зачастую основным источником питьевой воды для населения. Несмотря на то, что вода представляет собой смесь огромного количества органических и неорганических соединений, согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» предельно допустимые концентрации (ПДК) «химических веществ в воде питьевой систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков» установлены только для 1350 соединений, причем 11 веществ являются зарегистрированными лекарственными препаратами.

Понятно, что массив возможных загрязняющих веществ не ограничивается этим числом (например, число зарегистрированных химических веществ в международной базе номенклатур CAS (Chemical Abstracts Service) составляет более 247 млн [3]).

В последние десятилетия лекарственным загрязнением природных и сточных вод занимается большое число исследователей по всему миру [4; 11]. Основное внимание уделяется определению антибиотиков, гормонов, антидепрессантов, НПВС и др. группам лекарств.

Хотя для каждого зарегистрированного фармацевтического препарата создана фармакопейная статья, содержащая сведения о соединении, об условиях его использования и о побочном действии, эксперименты по хронической токсичности на водные организмы, а также по путям миграции и трансформации вещества в водной среде не проводятся.

Лекарственное вещество, попадая в водный объект, переносится водной толщей, осаждается в донных отложениях или распределяется в гидробиоценозе, включая перераспределение по трофической цепи (рисунок).



Возможные пути миграции лекарственных веществ в водной среде [1]

В зарубежных исследованиях [7; 10; 11] доказано, что фармацевтические препараты могут проявлять хроническую токсичность на водные организмы, а также накапливаться в их органах и тканях. Например, эксперимент, проведенный в Великобритании, показал [8], что концентрация  $17\alpha$ -этинилэстрадиола 5 нг/л приводит к синтезу вителлогенина у мужской особи толстоголового пескаря. Этот протеид, синтезирующийся естественных условиях в печени только самок рыб под воздействием данного гормона, приводит к патологическим изменениям в семенниках, печени и почках мужских особей. Антибиотики и антибактериальные препараты подавляют рост и замедляют развитие многих гидробионтов, а стероидные гормоны могут привести даже к полной феминизации популяции [5].

Все выше представленные сведения поднимают вопрос – как оценить опасность того или иного вещества, если для него не установлено ПДК и нет информации о его токсических свойствах?

Целью работы является анализ доступных информационных технологий, позволяющих спрогнозировать биологическую активность, включая токсичность, химического соединения.

### *Материалы и методы исследования*

В 1998 г. Ф.К. Браун ввел понятие хемоинформатики, под которым подразумевалось применение методов информатики для решения химических проблем [2]. Сферой приложения хемоинформатики стали прогноз физико-химических свойств химических соединений (в частности, липофильности, водорастворимости), свойств материалов, токсикологическая и биологическая активность, экотоксикологические свойства, разработка новых лекарственных препаратов и материалов и пр. Для прогноза биологической активности среди расчетных методов доминирует метод, основанный на взаимосвязи «структура-активность» (QSAR). При этом в последнее время для подобных задач используется искусственный интеллект.

Ниже рассмотрим доступные компьютерные программы и платформы, позволяющие спрогнозировать биологическую активность соединений, включая лекарственные препараты.

### *Анализ результатов*

QSAR метод основан на похожести структур веществ с неизвестной и известной биологической активностью или с совокупностью известных соединений и статистической оценкой сходства путем описания анализируемой молекулы и веществ из обучаемой выборки дескрипторами. Дескрипторы представляют собой описание отдельных частей молекулы на формализованном языке, т.е. структура вещества «записана» в виде определенного набора дескрипторов. Обучающая выборка в дескрипторном анализе по схожести содержит экспериментальные данные об активности входящих в нее соединений, включая фармакологические и токсические виды активности, с указанием мишени, концентрации и ряда других особенностей проявления этой активности. Поэтому применительно к оценке ксенобиотического и лекарственного загрязнения целесообразно использовать именно дескрипторные методы, основанные на работе с обучающей выборкой.

Данный метод реализован в компьютерной программе PASS [6], которая была разработана в Институте биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича Российской академии медицинских наук более 20 лет назад. В настоящее время наработки создателей программы трансформированы в единый портал Way2Drug [13], в котором собраны он-лайн проекты, в том числе PASS и GUSAR (позволяет спрогнозировать некоторые количественные показатели токсичности). Свободно доступный ресурс PASS Online используют более 9000 зарегистрированных пользователей из более чем 90 стран. PASS Online прогнозирует более 4000 видов биологической активности, включая фармакологические эффекты,

механизмы действия, токсические и побочные эффекты, взаимодействие с метаболическими ферментами и транспортерами, влияние на экспрессию генов и т.д.

По программе GUSAR можно провести расчет следующих экотоксикологических показателей – фактора биоаккумуляции, LD50 (средняя смертельная концентрация для дафнии и гольяна), IGC50 (концентрация полумаксимального ингибирования роста) для инфузории тетрахимена пириформис, а также показателя острой токсичности LD50 для крыс (при разном способе введения в организм). Химическая структура вещества в GUSAR, как и в программе PASS, представлена дескрипторами, используемыми в программе PASS, и дескрипторами биологической активности, которые основаны на результатах прогнозирования в программе PASS [9].

Интересным для задач оценки опасности соединений кажется использование портала Syntelly [12] – это российская платформа искусственного интеллекта для изучения химического пространства и прогнозирования свойств органических соединений. Это база данных, содержащая более 96 млн молекул со встроенными модулями для прогнозирования физико-химических свойств, токсичности веществ, одностадийного прогноза синтеза и др.

Портал состоит из нескольких модулей:

- прогноз физико-химических, биологических, токсикологических свойств органических соединений;
- расчет синтетической доступности молекулярных структур; визуализация больших баз данных в виде точечных проекций на двумерную плоскость;
- генерация структур органических соединений с заранее заданными свойствами;
- прогнозирование спектральных данных и пр.

Удобство обоих порталов состоит в том, что в одном месте в виде веб-приложений собраны эффективные методы, позволяющие по химической структуре соединения, определить их свойства и токсичность.

### ***Выводы***

Проблема лекарственного загрязнения окружающей среды всё еще остается актуальной и не до конца изученной. Вместе с тем необходимо знать не только содержание лекарств в воде, но и их судьбу (пути миграции, процессы трансформации, возможность естественной деградаци и пр.), а также опасность для водной экосистемы.

Возможности компьютерного моделирования и искусственного интеллекта позволяют практически без ограничений предсказать физико-химические свойства веществ, их биологическую активность, токсичность, некоторые количественные показатели опасности. Эффективность использования таких технологий была проверена на ряде примеров, включая анализ свойств органических ксенобиотиков, выявленных в ряде рек и водохранилищ московского региона.

*Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН.*

## Библиографический список

1. Баренбойм Г.М., Чиганова М.А. Загрязнение природных вод лекарствами. М.: Наука, 2015. 283 с.
2. Brown F.K. Chapter 35. Chemoinformatics: What is it and How does it Impact Drug Discovery // Annual Reports in Med. Chem.: journal. 1998. V. 33. P. 375-384. — doi:10.1016/S0065-7743(08)61100-8.
3. Chemical Abstracts Service. Электронный ресурс: <https://www.cas.org/>.
4. de Barros A.L.C., Schmidt F.F., de Aquino S.F. et al. Determination of nine pharmaceutical active compounds in surface waters from Paraopeba River Basin in Brazil by LTPE-HPLC-ESI-MS/MS // Environmental Science and Pollution Research. 2018. V. 25. P. 19962–19974.
5. Christen V., Hickmann S., Rechenberg B., Fent K. Highly active human pharmaceuticals in aquatic systems: A concept for their identification based on their mode of action // Aquatic Toxicology. 2010. V. 96. P. 167–181.
6. Filimonov D.A., Lagunin A.A., Gloriozova T.A. et al. Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the pass online web resource // Chemistry of Heterocyclic Compounds, 2014. V. 50 (3). P. 444-457.
7. Gheorghe S., Petre J., Lucaciu I. et al. Risk screening of pharmaceutical compounds in Romanian aquatic environment // Environmental Monitoring and Assessment. 2016. V. 188. Article number: 379.
8. Kidd K. The birth control pill in municipal wastewaters: is it effective contraception for fishes? // Two-Day Workshop «Pharmaceuticals in the Environment – Global occurrence, effects, and options for action», Geneva, 8 – 9 April 2014.
9. Lagunin A., Zakharov A., Filimonov D., Poroikov V. QSAR modelling of rat acute toxicity on the basis of PASS prediction // Molecular informatics, 2011. V.30. P. 241-250.
10. Liu J., Dan X., Lu G. et al. Investigation of pharmaceutically active compounds in an urban receiving water: Occurrence, fate and environmental risk assessment // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018. V. 154. P. 214–220.
11. Santos L., Araujo A., Fachini A. et al. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment // Journal of Hazardous Materials. 2010. V. 175. P. 45–95.
12. Syntelly. Электронный ресурс: <https://syntelly.ru/>
13. Way2Drug. Электронный ресурс: <https://www.way2drug.com/index.php>

Т.И. Кутявина<sup>1</sup>, Л.В. Кондакова<sup>1,2</sup>, Т.Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, 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

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ФОРМИРОВАНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ ВЯТСКО-КАМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Приведены сведения об экологическом состоянии Белохолуницкого и Омутнинского водохранилищ Кировской области. Согласно результатам химического анализа, воды в объектах исследования соответствуют 2 классу качества – слабо-загрязнённые. Для водохранилищ характерно высокое содержание в воде органических веществ, о чём свидетельствуют величина химического потребления кислорода (ХПК от 49 до 81 мгО/дм<sup>3</sup>) и перманганатной окисляемости (ПО от 7,8 до 11,8 мгО/дм<sup>3</sup>). В периоды «цветения» воды отмечено увеличение значений таких показателей как цветность, мутность, ХПК, ПО, содержание аммонийного азота. Особенности химического состава воды оказывают влияние на формирование видового состава фитопланктона: в летнее время для водохранилищ характерно доминирование зелёных и диатомовых водорослей, индикаторов слабого загрязнения вод, отмечено преобладание видов бета-мезосапробионтов. Среди видов, вызывающих «цветение» воды, отмечены два вида потенциально токсичных цианобактерий: *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs и *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing.

*Ключевые слова:* водохранилище, фитопланктон, качество воды, сапробность, биоиндикация.

T.I. Kutyavina<sup>1</sup>, L.V. Kondakova<sup>1,2</sup>, T.Ya. Ashikhmina<sup>1,2</sup>, kutyavinati@gmail.com

<sup>1</sup>Vyatka State University, Kirov, Russia

<sup>2</sup>Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the RAS, Syktyvkar, Russia

## HYDROCHEMICAL FEATURES AND FORMATION OF PHYTOPLANKTON IN ARTIFICIAL RESERVOIRS OF THE VYATKA-KAMA PRE-URALS

The article provides information about the ecological state of the Belokholunitsky and Omutninsky reservoirs in the Kirov region. Water in the objects of study corresponds to the second class of quality – slightly polluted water. The Belokholunitsky and Omutninsky reservoirs are characterized by a high content of organic substances in water, as evidenced by the value of chemical oxygen demand (COD from 49 to 81 mgO/dm<sup>3</sup>) and permanganate oxidizability (PO from 7.8 to 11.8 mgO/dm<sup>3</sup>). During the periods of algae bloom, an increase in water color, water turbidity, COD, PO, and ammonium nitrogen content was noted. Features of the chemical composition of water influenced the formation of the species composition of phytoplankton. The Belokholunitsky and Omutninsky reservoirs in summer are characterized by the dominance of green and diatom algae. Many types of phytoplankton in reservoirs are indicators of weak water pollution. In the phytoplankton of reservoirs, the predominance of beta-mesosaprobiont species was noted. Two species of potentially toxic cyanobacteria were noted among the species that cause algae bloom: *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs and *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing.

*Keywords:* reservoir, phytoplankton, water quality, saprobity, bioindication.

## ***Введение***

Для разработки мер по сохранению качества водных объектов необходимо использовать данные экологического мониторинга, в том числе данные гидрохимического и альгологического анализов.

Цель работы – оценить качество воды и выявить доминирующие виды летнего фитопланктона в водохранилищах Вятско-Камского Предуралья.

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

Объекты исследования – Белохолуницкое и Омутнинское водохранилища, расположенные в северо-восточной части Кировской области. Это крупнейшие искусственно созданные водоёмы региона. Подробная характеристика региона исследования и изучаемых водохранилищ представлена в работе [4].

Пробы воды для проведения физико-химического анализа и изучения фитопланктона отбирали вблизи мест рекреации в период интенсивного развития фитопланктона (конец июля, начало августа 2021, 2022 гг.). В Белохолуницком водохранилище пробы отбирали на центральном (д. Шитово – участок 1) и приплотинном участке (набережная г. Белая Холуница – участок 2), в Омутнинском водохранилище – в центральной части водоёма: в районе детского оздоровительного лагеря (участок 3) и бывшего детского пляжа на ул. Островского (участок 4); на приплотинном участке – в месте впадения в водохранилище р. Шахровка (участок 5).

Гидрохимический анализ проводили в аккредитованной лаборатории Вятского государственного университета по аттестованным методикам измерения. В ходе работы определяли: органолептические показатели (запах, цветность, мутность), водородный показатель (рН), растворённый кислород, содержание органических веществ (по химическому потреблению кислорода (ХПК) и перманганатной окисляемости (ПО)), общую минерализацию, минеральные соединения азота и фосфора, кремний, основные катионы (кальций, магний, натрий) и анионы (хлориды, сульфаты). Полученные результаты сравнивали с нормативами для водоёмов культурно-бытового использования и водоёмов, используемых в рекреационных целях (СанПиН 1.2.3685-21, раздел III). Пробы воды для изучения фитопланктона сразу после отбора фиксировали 4%-ным раствором формалина. Для определения водорослей и цианобактерий (ЦБ) использовали микроскоп лабораторный Микмед-6 вариант 7 и определители.

## ***Анализ результатов***

Согласно результатам гидрохимического анализа за 2021–2022 гг. вода в Белохолуницком и Омутнинском водохранилищах соответствует нормативам СанПиН 1.2.3685-21, за исключением показателей цветности и ХПК. Оценка качества поверхностных вод с экологических позиций (ГОСТ Р 58556-2019) показала, что вода в Белохолуницком и Омутнинском водохранилищах соответствует 2 классу качества – слабо-загрязнённые воды. Содержание растворённого в воде кислорода в период исследования в двух водохранилищах составляло 6,9–8,9 мг/дм<sup>3</sup>. Величина рН на разных участках исследования отличалась, но в

целом была ниже в Белохолуницком водохранилище (6,3–7,0), чем в Омутнинском (7,4–8,1).

Высокое содержание в воде органических веществ (ОВ) отмечено на участках массового развития фитопланктона. Интенсивное развитие фитопланктона, в частности ЦБ *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs, мы наблюдали 14.07.2021 на участке вблизи центральной части Омутнинского водохранилища. Массовое развитие фитопланктона отразилось на органолептических и химических показателях качества воды. В частности, цветность воды на этом участке была на 16% выше, чем на других акваториях, мутность – на 55% выше, ХПК – на 28%, ПО – на 24%, содержание аммонийного азота – на 50% выше, а нитритного азота – в 10 раз выше. Вероятно, именно аммонийный и нитритный азот оказали стимулирующее влияние на развитие фитопланктона в центральной части Омутнинского водохранилища.

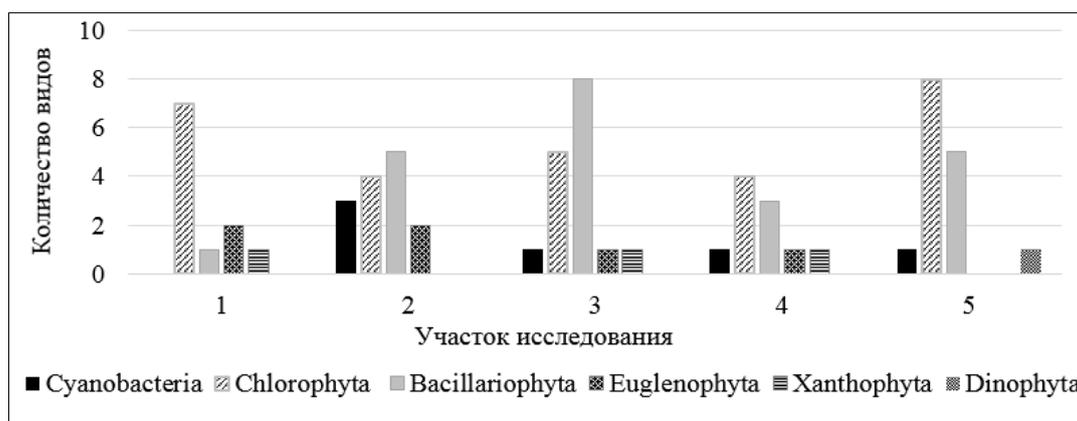
Изменение органолептических и химических показателей качества воды отмечено также 03.08.2022 на приплотинном участке Белохолуницкого водохранилища (участок 2), где зафиксировано «цветение» воды, вызванное хлорококковыми водорослями и ЦБ *Aphanizomenon flos-aquae*. Цветность воды на приплотинном участке Белохолуницкого водохранилища во время «цветения» воды была на 160% выше, чем на других акваториях, мутность – в 4 раза выше, ХПК – на 23% выше, содержание аммонийного азота – на 95% выше, содержание фосфат-ионов – на 125% выше.

Известно, что фитопланктон, в том числе ЦБ, является основным продуцентом ОВ в водоёме [2]. При массовом развитии фитопланктона, как правило, наблюдается рост концентраций ОВ в воде. Результаты химического анализа проб воды из Белохолуницкого и Омутнинского водохранилищ, отобранных во время интенсивного развития фитопланктона, подтверждают эту закономерность. Так, величина ХПК на акватории Белохолуницкого водохранилища в летний сезон 2022 г. возросла с 54 до 70 мгО/дм<sup>3</sup>, на акватории Омутнинского водохранилища – с 49 до 81 мгО/дм<sup>3</sup>. Величина ПО на акватории Белохолуницкого водохранилища увеличивалась с 10,2 до 11,0 мгО/дм<sup>3</sup>, Омутнинского водохранилища – с 7,8 до 11,8 мгО/дм<sup>3</sup>.

Согласно данным изучения фитопланктона, в общем составе фитопланктона изучаемых водохранилищ преобладают Chlorophyta и Bacillariophyta. Доминирование данных отделов водорослей часто отмечается в водоёмах умеренных широт [3; 5]. Гораздо реже в изучаемых водоёмах встречаются представители Euglenophyta, Xanthophyta и Dinophyta (рисунок).

Зелёные водоросли в Белохолуницком и Омутнинском водохранилищах представлены: *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Staurastrum* sp., *Scenedesmus quadricauda* Chodat, *Ankistrodesmus* sp., *Scenedesmus bijgatus* Kutz, *Dictyosphaerium ehrenbergianum* Nägeli, *Cosmarium* sp., *Oocystis* sp., *Spirogyra* sp., *Chlorococcum* sp., *Pediastrum simplex* Meyen, *Chlamydomonas gloeogama* Korshikov, *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat, *S. denticulatus* Lagerheim, *Coelastrum microporum* Nägeli. Зелёные водоросли являются характерными представителями пресных стоячих вод от кислых до щелочных, встречаются в водоёмах с различными

трофностью и содержанием ОВ (от ксено- до полисапробных) [6; 7]. Многие из обнаруженных видов являются бета-мезосапробионтами.



**Видовое разнообразие фитопланктона в Белохолуницком и Омутнинском водохранилищах в 2022 г. (обозначения участков см. в тексте)**

Из диатомовых водорослей в водохранилищах отмечены: *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith, *Navicula* sp., *Cyclotella* sp., *Cymbella* sp., *Amphora* sp., *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs, *Nitzschia* sp., *Caloneis* sp., *Pinnularia* sp., *Surirella* sp. Диатомовые водоросли являются основным звеном трофических цепей водных экосистем, играют ведущую роль в продуктивности водоёмов [6].

Из ЦБ в Белохолуницком и Омутнинском водохранилищах встречены *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Aphanizomenon flos-aquae* и *Pseudanabaena galeata* Böcher. Как отмечено в литературе, *M. aeruginosa* и *A. flos-aquae* часто вызывают «цветение» воды [8], являются бета-мезосапробионтами, индикаторами умеренного естественного загрязнения [1].

Эвгленовые водоросли в изучаемых водоёмах представлены *Trachelomonas planctonica* Svirenko и *Euglena* sp. Согласно литературным данным, эвгленовые водоросли развиваются в водоёмах с замедленным стоком, умеренной минерализацией, повышенным содержанием ОВ и биогенных элементов [9].

Жёлтозелёные и динофитовые водоросли представлены в водохранилищах единичными видами, широко распространёнными в различных водных объектах: *Tribonema minus* (Wille) Hazen. и *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin. При этом *Tribonema minus* отмечена на центральных участках водохранилищ (участки 1, 3, 4), а *Ceratium hirundinella* – только на приплотинном участке Омутнинского водохранилища (рисунок).

### **Выводы**

Таким образом, изучены химический состав воды и фитопланктон Белохолуницкого и Омутнинского водохранилищ Кировской области. Согласно результатам гидрохимического анализа, воды в объектах исследования являются слабозагрязнёнными, соответствуют 2 классу качества. Для водохранилищ характерно высокое содержание в воде ОВ, о чём свидетельствуют величины ХПК и ПО. Особенности химического состава воды оказывают влияние на формирование видового состава фитопланктона в водохранилищах. Как и в большинстве

водоёмов умеренных широт, в летнее время в изучаемых водохранилищах преобладают представители Chlorophyta и Bacillariophyta. При этом многие из обнаруженных видов являются бета-мезосапробионтами, индикаторами умеренного естественного загрязнения водоёма. «Цветение» воды в Белохолуницком и Омутнинском водохранилищах вызывают ЦБ *Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae*, относящиеся к группе потенциально токсичных видов. Данные виды ЦБ также являются бета-мезосапробионтами и указывают на слабое загрязнение изучаемых водохранилищ.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.*

### Библиографический список

1. Баженова О.П., Барсукова Н.Н., Коновалова О.А. Качество воды и сапробность притоков среднего Иртыша и озер г. Омска // Омский научный вестник. 2010. № 1 (94). С. 219–222.
2. Бульон В.В. Первичная продукция и рыбопродуктивность водоемов: моделирование и прогноз // Биология внутренних вод. 2006. № 1. С. 48–56.
3. Дрозденко Т.В., Кек И.В. Фитопланктон и экологическое состояние озера Долгое (Псковская область) // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11. № 1. С. 56–60. doi: 10.55355/snvt2022111106.
4. Морфометрические, гидрохимические и биологические особенности водохранилищ Северо-Востока Кировской области / Т.И. Кутявина [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 2. С. 50–55. doi: 10.25750/1995-4301-2013-2-050-055.
5. Состав и развитие цианобактерий Чебоксарского водохранилища и его притоков / Е.Л. Воденеева [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 71–76. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-071-076.
6. Субботина Ю.М., Смирнова И.Р., Кутковский К.А. Теоретические и методологические подходы к очистке сточных вод компонентами водной экосистемы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 5 (127). С. 99–106.
7. Ташлыкова Н.А. Таксономический состав и эколого-географическая характеристика летнего фитопланктона Торейских озёр // Ученые записки ЗабГУ. Серия: биологические науки. 2017. Т. 12. № 1. С. 52–59. EDN: VWJMXA
8. Токсичные цианобактерии и их метаболиты в водоёмах Северо-Запада России / Е.Ю. Воякина [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 124–129. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-124-129.
9. *Euglenophyta* планктона разнотипных водоёмов бассейна Средней Волги / А.Г. Охупкин [и др.] // Ботанический журнал. 2010. Т. 95, № 8. С. 1071–1081. EDN: OIXWYN.

Е.Е. Лапина, Л.Э. Лапина, В.В. Кудряшова khelena1974@mail.ru  
*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*

## **ДИНАМИКА МАГНИЯ И ФОСФОРА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ВОКРУГ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Проанализирована многолетняя динамика химического состава подземных вод вокруг Иваньковского водохранилища – основного питьевого источника г. Москвы. Предыдущими исследованиями установлено, что за 20 лет (1999 – 2019) в грунтовых водах селитебных территорий его береговой зоны произошел рост магния и фосфора. Статистическая обработка данных режимных наблюдений за аллювиальными (родник) и напорными (скважина) водами за тот же период выявила прирост общего фосфора на 1,2 %, магния – на 1,0 % в год для родника. В скважине показатели практически постоянны. Прирост приурочен к теплomu периоду года, что, скорее всего, обусловлено и климатическими, и антропогенными факторами.

*Ключевые слова:* Иваньковское водохранилище, подземные воды, фосфор, магний.

E.E. Lapina, L.E. Lapina, V.V. Kudrajshova  
khelena1974@mail.ru  
*Institute of Water Problems of the RAS, Moscow, Russia*

## **DYNAMICS OF MAGNESIUM AND PHOSPHORUS IN GROUNDWATER AROUND IVANKOVO RESERVOIR**

The long-term dynamics of the chemical composition of groundwater around the Ivankovo reservoir, the main drinking source of Moscow, is analyzed. Previous studies have established that over 20 years (1999 – 2019), an increase in magnesium and phosphorus occurred in the groundwater of the populated areas of its coastal zone. Statistical processing of monitoring data on alluvial (a spring) and artesian (a well) waters over the same period revealed an increase in total phosphorus by 1,2%, magnesium – by 1,0% per year for the spring. In the well, the parameters are almost constant. The increase is confined to warm period of the year, most likely due to both climatic and anthropogenic factors.

*Keywords:* Ivankovo reservoir, groundwater, phosphorus, magnesium.

### ***Введение***

Иваньковское водохранилище расположено в бассейне верхней Волги (участок Тверь – Дубна), на юго-востоке Тверской области. В географическом отношении оно приурочено к Верхневолжской низине, исследованная территория занимает северо-западную часть Московского артезианского бассейна. Водоём является одним из основных источников питьевого водоснабжения Москвы и Московской области. Климат региона умеренно-континентальный, среднемесячная температура самого теплого месяца +17,8 °С, холодного – (-9,8°С); за последние 30 лет преимущественно в зимние месяцы отмечается рост температур воздуха [1; 8].

Разгрузка подземных вод зоны активного водообмена происходит в самую крупную дренажную – Волгу. Доля подземного притока в реки от среднемноголетнего стока в устье Иваньковского водохранилища составляет в среднем 32% [2]. Нашими предыдущими исследованиями (гидрохимические съемки) установлено, что с 1999 по 2019 гг. в грунтовых водах селитебных территорий в пределах надпойменных террас Иваньковского водохранилища произошел рост магния и фосфора, приуроченный к теплому периоду года [5; 8]. На момент съемок обследовались колодцы, вскрывающие объединенный аллювиально-флювиогляциальный водоносный горизонт, подпитываемый напорными водами водоносных горизонтов верхнего карбона, то есть получена интегральная оценка изменения качества вод четвертичных отложений за 20 лет.

Толща четвертичных отложений выполнена московскими водно-ледниковыми песками и моренными суглинками, мощностью от 40 м. Водоносные пески разделяются мореной на несколько горизонтов [3; 4]. Первым от поверхности залегает безнапорный современный аллювиальный водоносный горизонт аIV, у которого нет выдержанного водоупора. На левобережье водохранилища в его подошве залегают аллювиальные пески верхнечетвертичного аIII водоносного горизонта, образуя единый комплекс. Первый от поверхности горизонт является наиболее уязвимым к воздействию основных факторов, формирующих химический состав грунтовых вод, в частности, климатического и антропогенного.

Если в колодце мы определяем химический состав, полученный в результате смешения вод вскрытых водоносных горизонтов, и только в конкретной, локальной точке, то родниковый сток отражает интегральную характеристику химического состава грунтовых вод всей его водосборной площади. Химический состав родника, выходящего на дневную поверхность по контакту аллювиальных песков и суглинков, будет характеризовать только аллювиальные воды, а воды самоизливающейся скважины – только первый напорный водоносный горизонт верхнего карбона.

Целью работы является рассмотрение динамики фосфора и магния отдельно в самой верхней и нижней частях зоны активного водообмена подземных вод, питающих водохранилище.

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

В основу исследования положены гидрохимические режимные наблюдения (с 2006 по 2020 г.) за родником Бор – местом разгрузки аллювиальных вод, и за самоизливающейся скважиной на берегу водохранилища (1998 – 2022 гг.). Наблюдения велись круглогодично, с частотой не менее 1–2 раза в месяц. Число наблюдений по роднику составило 250, по скважине – 198. Имеющиеся данные объединены в один массив, написана программа, позволившая применить для обработки метод наименьших квадратов.

Химические анализы выполнены в аккредитованной химической лаборатории Иваньковской научно-исследовательской станции ИВП РАН на следующий день после отбора. Концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  определены титримет-

рическим методом, общего фосфора  $P_{\text{общ}}$  – фотометрическим методом с использованием молибдата аммония и аскорбиновой кислоты, в фильтрованных пробах. В работе применены методы полевых исследований и статистического анализа.

### *Анализ результатов*

Подземные воды зоны активного водообмена территории имеют в основном  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  и  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  состав, с общей минерализацией 0,1 – 0,6 мг/дм<sup>3</sup>. В таблице 1 представлен среднегодовалый химический состав природных вод разного генезиса в прибрежной зоне водохранилища в сравнении с его водами, с указанием геологических индексов.

Таблица 1

**Среднегодовалый химический состав природных вод (мг/дм<sup>3</sup>), 2010-2020 гг.**

Параметр	Водоохранилище	Подземные воды (индексы водоносных горизонтов)			
		hIV	aIV-aIII	fIms	C <sub>3k</sub>
$\text{HCO}_3^-$	186	9	159	262	342
$\text{Ca}^{2+}$	40	4	39	52	68
$\text{Mg}^{2+}$	10,5	2	9	17	23
$\text{SO}_4^{2-}$	8	4	12	5	4.0
$\text{Cl}^-$	7	2	3	4	1.3
$P_{\text{общ}}$	0,27	0,07	0,1	0,1	0,2

Напорные воды C<sub>3k</sub> отличаются по своему составу от поверхностных и грунтовых: у них более высокие минерализация, содержание ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , более низкие содержания биогенных веществ. Болотные воды hIV наименее минерализованы.

Родниковый сток в долине Волги от Твери до Дубны приурочен к основанию II и III цокольных террас, к границе аллювиальных песчаных отложений с подстилающими плотными суглинками. Реже наблюдаются выходы субнапорных межморенных вод. На дневной поверхности наблюдается и точечная разгрузка, и пластовое высачивание. В таблице 2 показана сезонная динамика магния за 20-тилетний период в отдельных родниках с разной антропогенной нагрузкой на своей водосборной площади.

Таблица 2

**Сезонные изменения концентраций (мг/дм<sup>3</sup>) иона  $\text{Mg}^{2+}$  в родниках за 20 лет**

Адрес	Нагрузка	Зимняя межень		Летняя межень	
		1999	2019	1999	2019
б/о Раздолье	Рекреация	22,0	20,4	18,2	32,3
д. Савватьево	Дорога	14,0	8,0	9,8	23,1
д. Окулово	Дачи	16,0	12,0	12,2	12,2

Наибольшее увеличение магния произошло в Савватьевских родниках, что можно объяснить протяженной пластовой разгрузкой и тем, что значительную часть водосборной площади занимают дороги. Зимой во всех родниках наблюдается снижение магния, вызванное разбавлением талыми водами из-за оттепелей. Возможно, источником магния являются противогололедные пескосмеси,

компоненты которой задерживаются в зоне аэрации, либо увеличение интенсивности восходящей фильтрации субнапорных вод межморенного водоносного горизонта в теплое время года.

Опорный родник Бор наблюдается как фоновый, выходит в нижней части аллювиальной террасы Волги. Его водосборная площадь приурочена к верхней части террасы, занятой реликтовым сосновым бором, и коренному склону – окраине г. Конаково, сложенному моренными суглинками [4].

Самоизливающаяся скважина расположена в 3-х м от уреза водохранилища. Она вскрывает клязьминско-ассельский водоносный горизонт верхнего карбона  $C_3k$ , глубина 70 м, пробурена в 1973, напор установился на отметке 126,5 м при НПУ водохранилища 124 м. Скважина приурочена к месту размыва юрских глин, в кровле водовмещающих пород залегают плотные днепровские суглинки.

При анализе химического состава вод колодцев выявили статистически достоверное возрастание концентраций магния и фосфора только в теплое время года, зимой наблюдалось снижение. Поэтому полученную базу данных по роднику Бор и скважине сначала проанализировали целиком, а затем разделили ряды на две группы: теплый и холодный периоды, и для каждой провели расчеты. Методом наименьших квадратов находили уравнение прямой, наилучшим образом описывающее данные измерений, где в качестве независимой переменной выступает время. Угловым коэффициент – скорость роста (спада) того или иного гидрохимического показателя, свободное слагаемое – значение показателя в начале времени наблюдений. В таблице 3 представлены полученные результаты.

Статистический анализ данных по скважине не выявил трендов ни на повышение, ни на понижение, независимо от времени года. Расчеты по роднику показали, что интенсивность увеличения концентраций магния и фосфора выше в теплый период года в сравнении с холодным.

Таблица 3

Прирост  $Mg^{2+}$  и  $P_{общ.}$  (%), родник (2006 – 2020) и колодцы (1999-2019)

Объект	% в целом, за год, $Mg^{2+}/P_{общ.}$	Зимняя межень		Летняя межень	
		$Mg^{2+}$	$P_{общ.}$	$Mg^{2+}$	$P_{общ.}$
Родник Бор	0,35/1,2	0,15	0,9	0,55	1,6
колодцы	0,63/0,6	0	0	1,25	1,2

Почвенным водам аллювиальных надпойменных террас Иваньковского водохранилища свойственно низкое содержание магния –  $3,7 \text{ мг/дм}^3$  [6], поэтому рост магния в воде родника можно связать с использованием противогололедных пескосмесей на заселенной части водосбора. Большой прирост фосфора в аллювиальных водах в сравнении с колодезными свидетельствует в пользу гипотезы об активизации биогеохимических процессов в почве из-за роста температур воздуха, когда фосфор начинает мигрировать вниз из прежде накопленного резерва [7].

## **Выводы**

В родниковых водах аллювиального водоносного горизонта за период 15 лет наблюдается прирост общего фосфора 1,2 % и магния – 0,35 % в год. Увеличение концентраций имеет наибольший градиент в теплый период года и составляет 1,6 % и 0,55 % соответственно. Прирост может быть вызван как антропогенными, так и климатическими факторами. В напорных водах С<sub>3к</sub> содержание показателей за период 24 года даже в местах «литологических окон» имеет стабильный характер, что говорит о высокой степени защищенности первых от поверхности водоносных горизонтов верхнего карбона.

*Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий» Госзадания ИВП РАН.*

## **Библиографический список**

1. *Гринецкий С.О., Поздняков С.П.* Ретроспективный анализ влияния климатических изменений на формирование ресурсов подземных вод // Вестн. Моск. Ун-та. 2017. Сер. 4. Геология. № 2. С. 42 – 51.
2. *Иваньковское водохранилище: современное состояние и проблемы охраны.* М.: Наука, 2000. 344 с.
3. *Ковалевский В.С.* Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
4. *Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В.* Родники долины верхней Волги: условия формирования, режим, охрана. Тверь: ООО «Купол», 2014. 256 с.
5. *Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.* Тенденции изменения химического состава грунтовых вод водосбора вокруг Иваньковского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VII Всеросс. научно-практ. конф. с междунар. участием. Пермь. 2021. С. 307-311.
6. *Мотузова Г.В., Барсова Н.Ю., Карпова Е.А., Кочарян А.Г.* Формирование химического состава почвенных вод в береговой зоне Иваньковского водохранилища // Известия РАН. Серия географическая, 2009. № 3. С. 109–117.
7. *Шилькрот Г.С.* О миграции фосфора и других химических элементов с грунтовым стоком в сельских ландшафтах // Сб. научных трудов конф. «Научное обеспечение реализации водной стратегии РФ на период до 2020 г. КНЦ РАН, 2015. С. 386 – 394.
8. *Lapina Elena, Lapina Larisa, Kudrajshova Vera.* Transformation of the groundwater composition in coastal zone of the Ivankovo reservoir during 20 years// Engineering geology and hydrogeology, 35. Sofia, 2021. P. 3-14. [http://igh-bg.com/Vol/vol\\_35.html](http://igh-bg.com/Vol/vol_35.html).

Е.В. Мурсынина, lizhu83@mail.ru  
*Курганский государственный университет, г. Курган, Россия*

## **ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ РЕКИ ТОБОЛ**

Река Тобол – главная водная артерия Курганской области, является основным источником питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. Этим и определяется необходимость проведения эколого-аналитических исследований речной воды. В статье представлены результаты пространственного анализа качества воды р. Тобол на пяти створах от границы с Республикой Казахстан до границы с Тюменской областью. В пределах Курганской области воды реки характеризуются повышенным содержанием соединений марганца (максимум 89 ПДК в 2011 г.), меди, железа, ХПК, сульфатов, нефтепродуктов.

*Ключевые слова:* р. Тобол, качество воды, загрязняющие вещества, ПДК.

E.V. Mursynina, lizhu83@mail.ru  
*Kurgan State University, Kurgan, Russia*

## **SPATIAL CHANGES IN THE CONTENT OF THE MAIN POLLUTANTS IN THE SURFACE WATERS OF THE TOBOL RIVER**

The Tobol River is the main water artery of the Kurgan region, it is the main source of drinking and household water supply. This determines the need for environmental-analytical studies of river water. The article presents the results of a spatial analysis of the water quality of the Tobol River at five sites from the border with the Republic of Kazakhstan to the border with the Tyumen region. Within the Kurgan region, the waters of the Tobol River are characterized by an increased content of manganese compounds (maximum 89 MPC in 2011), copper, iron, COD, sulfates and oil products.

*Keywords:* Tobol River, water quality, pollutants, MPC.

### ***Введение***

Река Тобол является трансграничной, протекает по территории двух государств – Республики Казахстан и Российской Федерации. В административном отношении бассейн реки Тобол расположен в пределах пяти областей: Костанайская (Республика Казахстан), Челябинская, Свердловская, Курганская и Тюменская. Река берет начало на границе Оренбургской области РФ и Костанайской области РК и впадает в р. Иртыш в черте г. Тобольск. В соответствии с современным гидрографическим и водохозяйственным районированием бассейн реки относится к Иртышскому бассейновому округу [4]. Река Тобол относится к большим водотокам [1], длина реки 1591 км, площадь бассейна – 426 тыс.км<sup>2</sup>.

Река Тобол является единственным источником питьевого водоснабжения для нужд населения и технического водоснабжения для промышленных предприятий г. Кургана. Кроме того, на всем протяжении реки от границы с Республикой Казахстан до границы с Тюменской областью вода р. Тобол используется

для сельскохозяйственных нужд и в рекреационных целях. Ежегодный забор воды из реки составляет около 45 млнм<sup>3</sup>[2].

По данным Отдела водных ресурсов Нижне-Обского бассейнового управления по Курганской области сброс сточных вод осуществляют только предприятия г. Кургана. Ежегодный объем сточных вод, поступающих в реку, составляет около 30 млн м<sup>3</sup>. Негативное воздействие на состояние воды р. Тобол оказывает и хозяйственная деятельность человека на водосборной площади, связанная с распашкой земель, применением минеральных удобрений и гербицидов, строительством дорог, мостов и газо-нефте-продуктопроводов. Наличие этих сооружений может привести к увеличению концентрации загрязняющих веществ, их накоплению вдоль трасс с последующим смывом стоками талых и дождевых вод в р. Тобол и его притоки. Но в Курганской области не определяется объем загрязнений, поступающий рассредоточенным способом с водосборных территорий, промышленных площадок и через атмосферу. Цель работы – исследование пространственной динамики качества воды в р. Тобол в пределах Курганской области.

### *Материалы и методы исследования*

В качестве исходных данных использованы среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в р. Тобол с 2010 по 2021 г., полученные в Курганском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. А также данные полученные в ходе отбора проб на пяти створах р. Тобол, которые проводились в мае и сентябре 2021 г., феврале 2022 г. Отбор проб поверхностной воды осуществлялся в соответствии с Международным стандартом ГОСТ 31861-2012 и рекомендациями по отбору проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод [3; 6] в течение года: в весеннее половодье (май), летне-осеннюю межень (сентябрь), зимнюю межень (февраль). Анализ проб проводился в лаборатории ФГБУ «Уральское УГМС». Местоположения пунктов наблюдения за качеством поверхностных вод на реке Тобол в пределах Курганской области представлены на рисунке, а их характеристика – в таблице 1.

Таблица 1

#### **Перечень пунктов наблюдения за качеством поверхностных вод р. Тобол (в пределах Курганской области)**

<i>№ створа</i>	<i>Пункт наблюдения</i>	<i>Расстояние от устья, км</i>	<i>Расположение створа</i>
1	с. Звериноголовское	898	В черте с. Звериноголовское
2	д. Арбинка	730	1,5 км выше г. Кургана, в черте д. Арбинка
3	п. Смолино	704	В черте г. Кургана
4	д. Костоусово	682	16 км ниже г. Кургана
5	с. Белозерское	626	В черте с. Белозерское



**Рис.1. Карта схема расположения исследуемых пунктов наблюдения на реке Тобол (в пределах Курганской области)**

Оценка качества поверхностных вод р. Тобол осуществлялась на основе сравнения данных о величинах гидрохимических показателей с соответствующими значениями их предельно допустимых концентраций (ПДК) [5].

### *Анализ результатов*

Пространственная динамика содержания загрязняющих веществ в р.Тобол проанализирована по усредненным показателям за период с 2010 по 2021 г., данные представлены в таблице 2 по пяти створам. Так как р.Тобол относится к водотокам рыбохозяйственной категории, оценка состояния речных вод осуществлена на основе сравнения фактических значений показателей их качества с нормативами ПДК для рыбохозяйственного водопользования.

По результатам анализа гидрохимических параметров качества воды реки Тобол загрязняющие вещества можно сгруппировать следующим образом:

- I группа – показатели, среднее значение которых в воде по всем створам наблюдений было ниже установленных нормативов, но среднегодовые значения в отдельные годы превышали установленные нормативы. К ним относятся взвешенные вещества;

- II группа – показатели, среднее значение содержания которых за рассматриваемый период выше установленных нормативов, но в отдельные годы среднегодовые значения не превышают этот норматив: БПК<sub>5</sub>, фенолы, азот аммонийный и азот нитритный, нефтепродукты, железо общее, цинк;

- III группа – вещества, содержание которых в воде по всем створам наблюдения за весь рассматриваемый период превышает соответствующие значения нормативов: ХПК, сульфаты, марганец и медь.

Таблица 2

## Гидрохимические параметры качества вод реки Тобол за 2010-2021 гг.

Показатель, мг/л	с. Звериноголовское, створ 1		д. Арбинка, створ 2		п. Смолино, створ 3		д. Костюрово, створ 4		с. Белозерское, створ 5		ПДК
	Min - Max Среднее	V, %	Min - Max Среднее	V, %	Min - Max Среднее	V, %	Min - Max Среднее	V, %	Min - Max Среднее	V, %	
Взвешенные вещества	<u>2,9-11,6</u> 7,3	59	<u>2,8-10,9</u> 6	36	<u>7,8-10,1</u> 8,9	9	<u>3,4-9,8</u> 6,6	33	<u>6,8-10,2</u> 8,5	28	10
XПК	<u>19,5-40,5</u> 25,9	26	<u>19,5-39</u> 28,8	22	<u>21,06-31,7</u> 27,57	13	<u>21,45</u> 30,4	24	<u>21-46,5</u> 29	29	15
БПК <sub>5</sub>	<u>0,1-1,1</u> 0,6	61	<u>1,9-3,6</u> 2,89	19	<u>1,63-4,92</u> 2,79	38	<u>2,4-3,6</u> 2,9	13	<u>2,8-4</u> 3	14	2
Сульфаты	<u>210-320</u> 245,8	14	<u>140-250</u> 191	18	<u>125-252</u> 176,83	22	<u>120-260</u> 182	24	<u>130-260</u> 194	27	100
Фенолы	<u>0,0004-0,0028</u> 0,0015	53	<u>0,0022-0,0028</u> 0,002	17	<u>0,0003-0,0057</u> 0,00145	10	<u>0,0006-0,0038</u> 0,0017	73	<u>0,0019-0,0032</u> 0,0015	83	0,001
Азот аммоний	<u>0,2-0,48</u> 0,36	40	<u>0,48-1,1</u> 0,79	39	<u>0,412-0,608</u> 0,504	12	<u>0,48-2,15</u> 0,94	61	<u>0,51-1,65</u> 0,84	53	0,4
Азот нитрит.	<u>0,006-0,04</u> 0,019	58	<u>0,017-0,064</u> 0,04	57	<u>0,005-0,056</u> 0,02	66	<u>0,028-0,06</u> 0,04	28	<u>0,022-0,062</u> 0,35	28	0,02
Нефтепродукты	<u>0,085-0,145</u> 0,1	85	<u>0,075-0,18</u> 0,12	38	<u>0,04-0,195</u> 0,1	52	<u>0,04-0,16</u> 0,1	36	<u>0,085-0,52</u> 0,19	86	0,05
Железо общее	<u>0,142-0,33</u> 0,22	26	<u>0,08-0,23</u> 0,16	37	<u>0,06-0,18</u> 0,96	41	<u>0,02-0,34</u> 0,12	82	<u>0,07-0,29</u> 0,13	68	0,1
Марганец	<u>0,142-0,898</u> 0,29	72	<u>0,183-0,462</u> 0,28	32	<u>0,173-0,512</u> 0,3	32	<u>0,158-0,41</u> 0,26	30	<u>0,137-0,314</u> 0,22	34	0,01
Цинк	<u>0,006-0,037</u> 0,02	60	<u>0,09-0,024</u> 0,2	3	<u>0,009-0,18</u> 0,05	11	<u>0,008-0,024</u> 0,01	36	<u>0,008-0,023</u> 0,01	35	0,01
Медь	<u>0,0022-0,0075</u> 0,004	41	<u>0,0028-0,0085</u> 0,005	42	<u>0,0028-0,0088</u> 0,0055	39	<u>0,0025-0,0089</u> 0,006	41	<u>0,0031-0,0097</u> 0,006	38	0,001

Примечание: Min – минимальное значение, Max – максимальное значение, V – коэффициент вариации. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

При этом по результатам измерений на всем протяжении р.Тобол в пределах Курганской области, качество вод в контролируемых створах соответствует 4 классу качества воды разряду «Б» и характеризуется как «грязная» [2].

Для анализа пространственной динамики среднегодового содержания загрязняющих веществ были построены графики для отдельных показателей со значимыми линейными трендами. Анализ графиков позволил объединить в группы изучаемые загрязняющие вещества:

а) марганец, медь – характерно постепенное снижение от первого к пятому створу. Поступление марганца в воду р. Тобол объясняется природными особенностями и связано с процессом выщелачивания минералов и марганцевых руд в верхнем течении реки;

б) медь, БПК<sub>5</sub>, фенолы – увеличение содержания веществ в воде особенно после г. Кургана;

в) сульфаты и железо общее – отмечаются высокие показатели после границы с Республикой Казахстан, далее незначительное снижение до створов в черте города Кургана, после которых снова происходит рост содержания этих веществ в воде;

г) ХПК, нефтепродукты – характерно увеличение содержания к 4 и 5 створам наблюдения. Это обусловлено сочетанием природного и антропогенного факторов, а именно смывом талыми и дождевыми водами органики с сельскохозяйственных угодий и нефтепродуктов с обочин дорог в р.Тобол.

### **Выводы**

Проведенная оценка качества воды по пяти створам в пределах Курганской области позволяет сделать следующие выводы. Воды р. Тобол характеризуются повышенным содержанием соединений марганца (максимум 89 ПДК в 2011 г.), меди, железа, ХПК, сульфатов, нефтепродуктов. В отдельные годы существенный вклад в общую загрязненность вносят БПК<sub>5</sub>, фенолы, азот аммония, азот нитритов, цинк. На всем протяжении реки в пределах Курганской области, качество вод в изучаемых створах соответствует 4 классу качества воды разряду «Б» и характеризуется как «грязная». Повышенное содержание перечисленных показателей обычно обусловлено сочетанием природных условий формирования качества воды и антропогенной нагрузкой промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009457> (дата обращения 08.03.2023).
2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Курганской области в 2021 году. Курган, 2022. 194 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.priroda.kurganobl.ru/assets/files/DPR/OOOS/Gosdoklad%202022.pdf> (дата обращения 15.12.2022).

3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70571468/> (дата обращения 15.09.2022).

4. Приказ Министерство природных ресурсов Российской Федерации от 11 октября 2007 г. № 265 «Об утверждении границ бассейновых округов» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2063527/> (дата обращения 08.03.2023).

5. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 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]. URL: <http://ivo.garant.ru/> (дата обращения 02.02.2023).

6. Р 52.24.353-2012 «Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70757010/> (дата обращения 01.03.2022).

А.В. Рахуба, rahavum@mail.ru

*Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия*

**ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА  
И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДЫ  
В ПЕРИОД ЦВЕТЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА  
КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Показана сезонная динамика вертикального распределения хлорофилла *a* и ряда физико-химических показателей воды в приплотинной акватории Куйбышевского водохранилища в период жаркого лета 2012 г. Выполнен анализ формирования многопикового характера развития синезеленых водорослей, обусловленного колебаниями термического режима и изменчивостью вертикального распределения минерального фосфора.

*Ключевые слова:* водохранилище, «цветение» воды, фитопланктон, хлорофилл *a*, биогенные элементы, вертикальное распределение.

A.V. Rakhuba, rahavum@mail.ru

*Samara Federal Research Scientific Center of the RAS,  
Institute of Ecology of the Volga River Basin of the RAS, Togliatti, Russia*

**VERTICAL DISTRIBUTION OF CHLOROPHYLL  
AND HYDROCHEMICAL INDICATORS OF WATER DURING  
THE PHYTOPLANKTON BLOOM OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR**

The seasonal dynamics of the vertical distribution of chlorophyll *a* and a number of physical and chemical indicators of water in the dam water area of the Kuibyshev reservoir during the hot summer of 2012 is shown. An analysis is made of the formation of a multi-peak nature of the development of blue-green algae, due to fluctuations in the thermal regime and variability of the vertical distribution of mineral phosphorus.

*Keywords:* reservoir, water bloom, phytoplankton, chlorophyll *a*, biogenic elements, vertical distribution.

***Введение***

В условиях зарегулирования стока рек, проблема ежегодного летнего «цветения» воды представляет значительный интерес, поскольку связана с ухудшением качества воды и негативными изменениями в экосистемах водоемов, которые проявляются в результате потепления климата и влияния антропогенного эвтрофирования [2; 6].

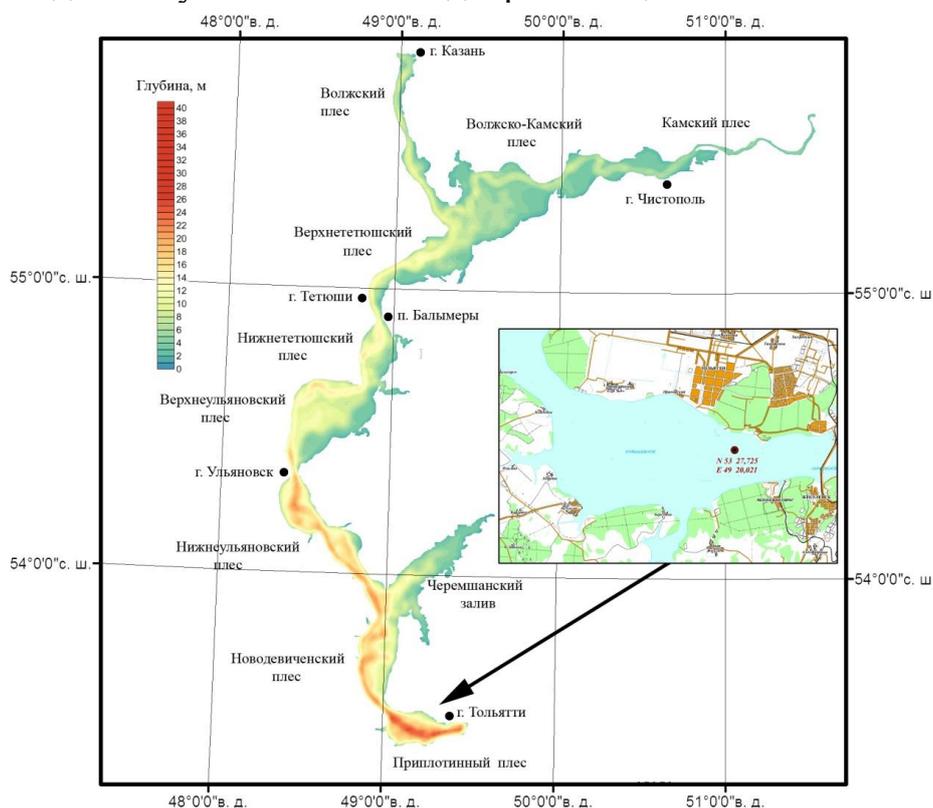
Динамика развития фитопланктона главным образом определяется сезонным ходом прогрева водной толщи, изменением содержания в воде биогенных элементов (преимущественно минерального фосфора), режимом стокового и ветрового течений [2; 4; 6]. При повышении температуры воды, высоком содержании фосфатов и слабом течении складываются благоприятные условия для

многочисленных вспышек массового развития синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды.

В большей степени явления массового развития синезеленых водорослей проявляются на приплотинных участках гидроузлов и обширных заливах водохранилищ, которые сопровождаются накоплением в воде органических и токсичных веществ, ухудшением кислородного режима, замором рыб при отмирании водорослей и снижением рекреационного потенциала водоемов.

Изучению сезонной динамики фитопланктона Куйбышевского водохранилища (рис. 1) посвящено немало публикаций [1-5], в которых отмечается, что в период летнего прогрева воды в озеровидных плесах и крупных заливах водохранилища доля синезеленых водорослей в общем таксономическом составе фитопланктона может достигать 90% и выше.

Одним из количественных и оперативных показателей развития фитопланктона в пресноводных водоемах служит содержание основного фотосинтетического пигмента хлорофилла *a*. Цель данной работы – оценка сезонной динамики вертикального распределения фитопланктона (по хлорофиллу *a*) и анализ изменчивости основных физико-химических показателей в водной толще в периоды «цветения» воды на Куйбышевском водохранилище.



**Рис. 1. Расположение рейдовой вертикали наблюдений в Куйбышевском водохранилище**

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

Куйбышевское водохранилище одно из самых крупных водохранилищ мира. Оно принимает воды двух крупных рек – Волги и Камы и относится к мезотрофно-эвтрофным водоемам долинного типа. На всем его протяжении образован ряд озеровидных плесовых расширений и резких сужений. Для исследова-

ния был выбран участок приплотинного плеса, который является самым глубоководным районом водохранилища со значительным объемом воды (рис. 1). Наблюдения проводились на рейдовой вертикали с 22 мая по 16 августа на шести водных горизонтах (поверхность, 0,5 м, 4 м, 12 м, 16 м и 21 м) с недельной периодичностью отбора проб воды.

Пробы воды с каждого горизонта отбирали батометром Молчанова ГР-18 для определения следующих показателей: хлорофилла *a* (Chl*a*), температуры воды ( $T_{\text{вод}}$ ), перманганатной окисляемости (ПО), фосфатов ( $P_{\text{мин}}$ ) и содержания растворенного в воде кислорода ( $O_2$ ).

### *Анализ результатов*

В весенне-летний период 2012 г. в акватории Куйбышевского водохранилища наблюдалась жаркая погода с многочисленными пиками температуры воздуха (31,8-35,9 °С), которые вызвали четыре всплеска развития фитопланктона (рис. 2а и рис. 2в). Средняя дневная температура воздуха ( $T_{\text{возд}}$ ) за период наблюдений составила 23,3 °С, минимальная – 18,4 °С. Температура воды в фотическом слое изменялась от 14,5 °С до 25,6 °С, максимальная наблюдалась в июле и августе (25,6 °С) (рис. 2 г.). Прозрачность воды по диску Секки изменялась в пределах 0,7-3,0 м.

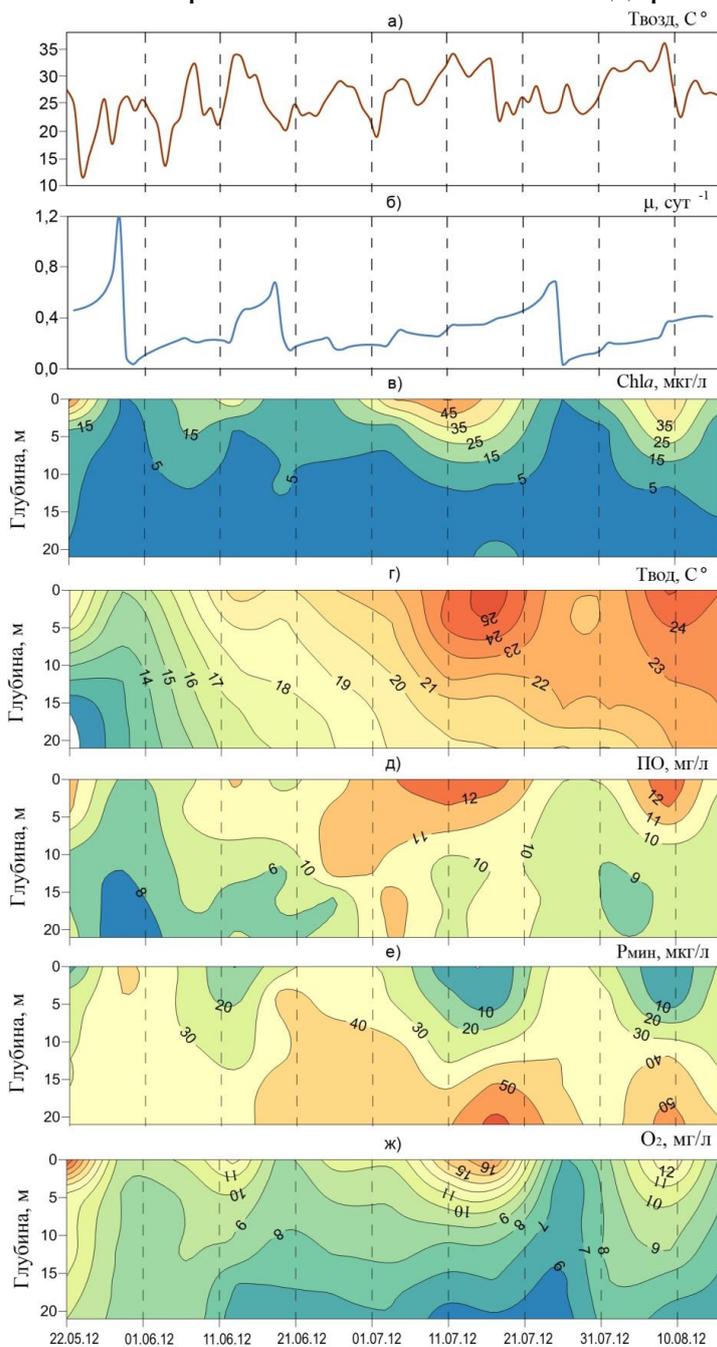
Первый всплеск развития фитопланктона был образован в последнюю декаду мая в основном диатомовыми водорослями и продолжался две недели. Верхний слой воды прогрелся до 19,5 °С, придонный слой – до 10,7 °С (рис. 2г). В поверхностном слое воды (0-2 м) максимальное значение Chl*a* составило 58,7 мкг/л, на середине глубины (12-16 м) – 6,38 мкг/л и в придонном слое (20-21 м) – 4,36 мкг/л (рис. 2в). Содержание  $P_{\text{мин}}$  в результате весеннего всплеска развития фитопланктона в поверхностном слое воды снизилось с 30 мкг/л до 5 мкг/л, в среднем слое воды – до 15-20 мкг/л и на дне составило 30 мкг/л (рис. 2е). Весенний пик развития фитопланктона характеризовался максимумом в поверхностном горизонте и неоднородным распределением фитопланктона по вертикали, чему способствовали теплая погода и повышенная проточность в водохранилище.

Второй всплеск развития фитопланктона длился около недели и пришелся на первую половину июня. Он был сформирован преимущественно ростом диатомовых и появляющихся синезеленых водорослей. Максимальная дневная температура воздуха поднималась до 33,6 °С, температура воды на поверхности и на дне прогрелась до 20,5 °С и 16,7 °С (рис. 2 а, г). Пиковая величина Chl*a* составила 32,2 мкг/л в поверхностном горизонте, 2,86 мкг/л – в среднем, 2,39 мкг/л – в придонном (рис. 2в). Содержание  $P_{\text{мин}}$  возрастала с глубиной от 9 мкг/л на поверхности и до 36 мкг/л на дне (рис. 2е). Вспышка цветения пришлась на конец половодья, когда водослив гидроузла был закрыт, а пропуск воды осуществлялся через ГЭС.

К середине июля температура воздуха поднималась до 34,1 °С, а вода на поверхности прогрелась до 25,6 °С и на дне – до 20,0 °С, что спровоцировало продолжительный 20-дневный рост синезеленых водорослей. Значение Chl*a* на третьем пике «цветения» составило 56,8 мкг/л в поверхностном горизонте, 4,57 мкг/л – в среднем, 2,82 мкг/л – в придонном (рис. 2в). Содержание  $P_{\text{мин}}$  изменялось с глубиной от 0-1 мкг/л на поверхности и до 50 мкг/л на дне (рис. 2е). В условиях хорошего прогрева водной толщи и замедленного течения эта

вспышка роста фитопланктона характеризовалась наиболее продолжительным и массовым цветением синезеленых водорослей.

Последний пик летнего цветения фитопланктона пришелся на начало августа. Стояла жаркая погода, а дневная температура воздуха поднималась до 35,9 °С. Водная толща максимально прогрелась на поверхности до 25,2 °С и на дне – до 21,9 °С. Концентрация Chla в поверхностном горизонте составила 43,7 мкг/л, в среднем – 3,84 мкг/л и в придонном – 3,5 мкг/л (рис. 2в). Содержание Р<sub>мин</sub> изменялось в толще воды от 0-1 мкг/л на поверхности и до 54 мкг/л на дне (рис. 2е). Всплеск развития фитопланктона в конце лета длился одну неделю и характеризовался массовым развитием синезеленых водорослей.



**Рис. 2. Сезонный ход дневной температуры воздуха (а), удельной скорости роста фитопланктона (б) и вертикальное распределение Chla (в), Т<sub>вод</sub> (г), Р<sub>мин</sub> (е), Р<sub>макс</sub> (ж), О<sub>2</sub> (з) на рейдовой вертикали в Куйбышевском водохранилище за период наблюдений 2012 г.**

В периоды между вспышками уменьшение концентрации Chla сопровождалось понижением температуры воздуха и, как следствие, понижением температуры верхнего слоя воды, при усилении активности ветра. Такие моменты отмечены на рисунке 2б резким снижением суточной удельной скорости роста фитопланктона ( $\mu$ ). Расчет  $\mu$  проводили по суточным значениям Chla с использованием следующей формулы:

$$\mu = \ln(\text{Chla}_{t+1} / \text{Chla}_t) + \phi,$$

где  $t$  – номер суток,  $\phi$  – суточная удельная скорость убыли биомассы фитопланктона в результате отмирания, выедания зоопланктоном, метаболизма, действия динамики течения и других факторов ( $\phi \approx 0,3 \text{ сут}^{-1}$ ).

Анализ данных наблюдений показывает, что помимо температурных колебаний многопиковая динамика «цветения» воды регулируется вертикальным распределением  $P_{\text{мин}}$ . В активную фазу цветения водорослей концентрация  $P_{\text{мин}}$  в верхнем фотическом слое снижается до минимума, начиная сдерживать взрывной рост водорослей с последующим резким падением  $\mu$  в период спада цветения (рис. 2б и рис. 2в). Поскольку запасы  $P_{\text{мин}}$  в нижних слоях водной толщи намного выше, чем в фотическом (рис. 2е), то в результате вертикального перемешивания концентрация  $P_{\text{мин}}$  в верхних слоях восстанавливается до средних значений и при благоприятных условиях начинается очередной рост фитопланктона.

В периоды «цветения» воды каждая фаза роста фитопланктона сопровождалась повышением содержания органического вещества по показателю перманганатной окисляемости до 11,2-12,8 мгО<sub>2</sub>/л (рис. 2д). В среднем содержание в воде лабильных органических веществ за летний сезон выросло в 1,5 раза. Концентрация кислорода в поверхностных горизонтах достигала 16,2 мг/л, а в придонных слоях – 5,4 мг/л, что негативно сказывается на жизнедеятельности гидробионтов дна.

### **Выводы**

За весенне-летний период 2012 г. в Куйбышевском водохранилище отмечено четыре крупных всплеска «цветения» воды, вызванные повышением температуры воздуха до 33-35 °С и слабым ветром, переходящим в штиль. Динамика роста фитопланктона имеет многопиковую структуру, обусловленную не только колебаниями термического режима, но и характером вертикального распределения минерального фосфора. Каждый пик интенсивного роста фитопланктона снижает концентрацию фосфатов в фотическом слое воды до минимальных значений, вызывая его дефицит и дальнейший спад «цветения» воды. В межпиковый период, в результате турбулентного обмена, концентрация фосфатов выравнивается по глубине и затем при благоприятных условиях все повторяется на новой стадии развития фитопланктона.

## Библиографический список

1. *Горохова О.Г.* Состав и структура сообществ фитопланктона Усинского залива Куйбышевского водохранилища в период «цветения» воды // Известия СамНЦ РАН. 2016. Т. 18. № 5. С. 122-130.
2. *Гусева К.А.* Цветение воды, его причины, прогноз и меры борьбы с ним // Труды ВБГО. 1952. Вып. 4. С. 84-112.
3. *Корнева Л.Г., Соловьева В.В., Макарова О.С., Гречухина Л.Г., Тарасова Н.Г.* Распределение фитопланктона в волжских водохранилищах летом 2015 г. // Труды ИБВВ РАН. Разнообразие, распределение и обилие гидробионтов в водохранилищах Волжско-Камского бассейна. 2018. Вып. 82(85). С. 21–27.
4. *Рахуба А.В.* Имитационное моделирование роста биомассы фитопланктона в Куйбышевском водохранилище // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 1. С. 76-87.
5. *Халиуллина Л.Ю.* Анализ структуры планктонных водорослей рек Волга и Кама (Республика Татарстан) // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9. № 3. С. 158–165.
6. «Цветение» воды / АН УССР. Комис. Президиума АН УССР по проблеме борьбы с «цветением» воды. Ин-т гидробиологии. Киев: «Наукова думка», 1968. 387 с.

И.А. Репина<sup>1</sup>, Д.В. Мишин<sup>1,2</sup>, А.А. Строков<sup>2</sup>, Е.Ф. Ильяшенко<sup>2,3</sup>, М.О. Фатхи<sup>2</sup>,  
miwindv@gmail.com

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Росгидромет,  
г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНА В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ САЯНО-ШУШЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2021-2022 ГГ.**

Рассмотрено пространственно-временное распределение концентраций и потока метана в воде Саяно-Шушенского водохранилища на р. Енисей за разные экспедиционные сезоны 2021 и 2022 гг., охарактеризована дегазация метана через плотину Саяно-Шушенской ГЭС. Результаты показали низкие значения концентраций и потоков метана на обследованной акватории водохранилища. Исключения составляют Джойский и Кантегирский заливы, где за счет разложения затопленной древесины происходит эмиссия метана. Предварительно выделено 5 районов (отсеков) водохранилища со своими особенностями метаногенеза. Эмиссия метана через плотину ГЭС оказалась положительной зимой и отрицательной летом 2022 г.

*Ключевые слова:* водохранилище, метан, горизонт воды, ГЭС, дегазация.

I.A. Repina<sup>1</sup>, D.V. Mishin<sup>1,2</sup>, A.A. Stokov<sup>2</sup>, E.Ph.Ilyashenko<sup>2,3</sup>, M.O. Fatkhi<sup>2</sup>  
miwindv@gmail.com

<sup>1</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Roshydromet, Moscow, Russia  
M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## **FEATURES OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF METHANE IN THE WATER COLUMN OF THE SAYANO-SHUSHENSKOYE RESERVOIR BASED ON THE RESULTS OF FIELD STUDIES IN 2021-2022**

The spatial and temporal distribution of methane concentrations and fluxes in the water column of the Sayano-Shushenskoe reservoir in the Enisey river for different seasons of 2021 and 2022 has been considered, methane degassing through the Sayano-Shushenskaya HPP dam has been characterized. The results showed low values of methane concentrations and fluxes in the surveyed water area of the reservoir. The exceptions are Joysky and Kantegirsky bays, where methane emission occurs due to decomposition of flooded wood. Preliminarily, 5 areas (compartments) of the reservoir with their own features of methanogenesis were identified. Methane emission through the hydro-power dam was positive in winter and negative in summer 2022.

*Keywords:* reservoir, methane, water horizon, hydroelectric power station, degassing.

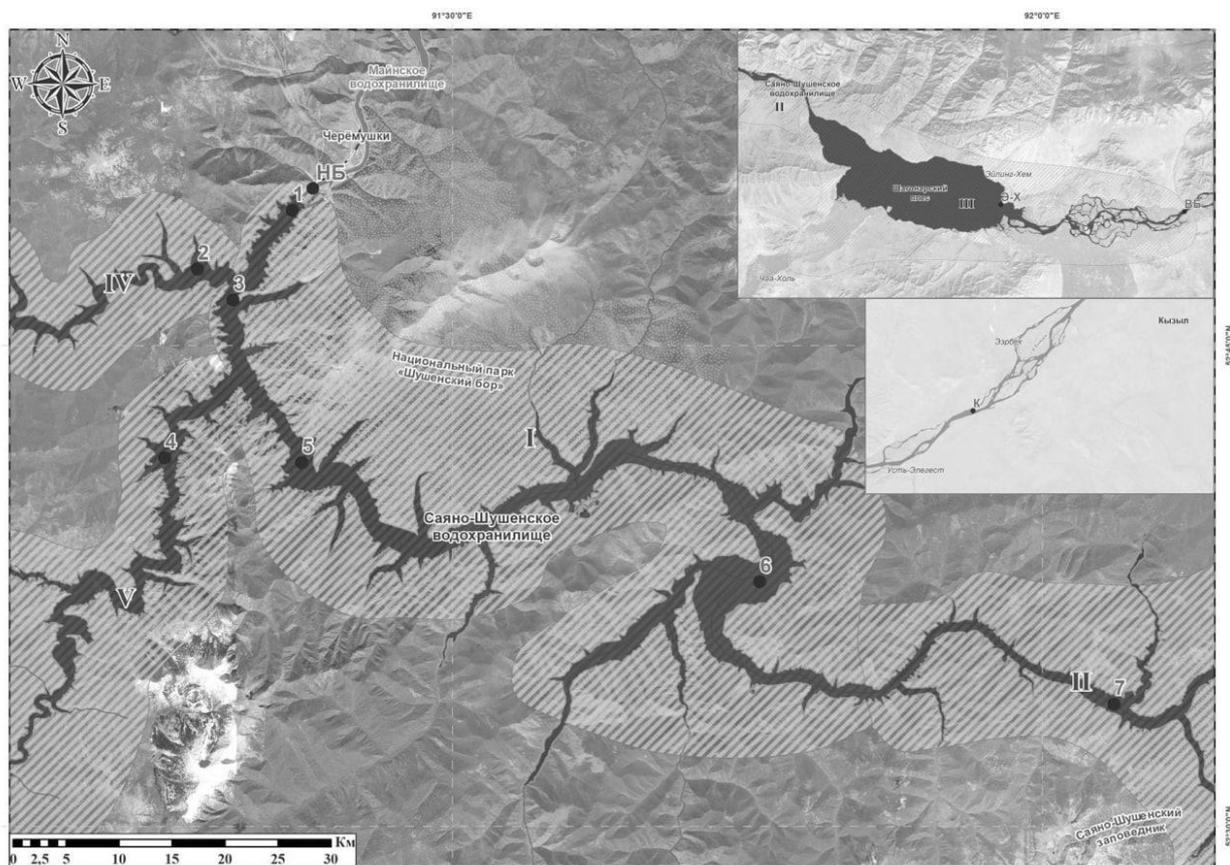
## ***Введение***

В 2021 г. ИФА им. Обухова РАН (ИФА РАН) совместно с соисполнителями по заказу ПАО «РусГидро» был начат цикл исследований по измерению баланса парниковых газов (в частности метана) на объектах гидроэнергетики (водохранилища энергетического назначения). В работе принимает участие коллектив ученых и специалистов Российской Академии наук, Московского Государственного университета, Росгидромета. Полевые изыскания проходят в период с 2021 по 2023 г. (3 года) на 9 водохранилищах в разных климатических зонах страны. Работа направлена на оценку общей углеродной эмиссии с поверхности речных водохранилищ. По итогам работы планируется разработка национальной методики по оценке выбросов парниковых газов и поглощающей способности водохранилищ. В настоящей статье приведены результаты двух лет работы по проекту (2021-2022 гг.) на Саяно-Шушенском водохранилище на р. Енисей в Сибири, характеризующие пространственно-временное распределение концентрации и потока метана в воде.

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

Согласно [5] приходная составляющая метана на акватории водохранилища состоит из поступления из донных отложений, продукции в самом водохранилище, природного и антропогенного притока с водосборной территории. Расходная составляющая баланса состоит из окисления в воде и дегазации при сбросе воды через плотину ГЭС в нижний бьеф.

В связи с особенностями поведения метана было организовано 3 полевых выезда в различные фазы водного режима Саяно-Шушенского водохранилища: осень 2021 г., зимняя межень и половодье 2022 г. Полевые работы включали отбор проб воды с разных глубин водохранилища и воздуха на содержание метана на границе вода-атмосфера, а также определение удельного потока метана с поверхности на тех же точках. Отбор проб проводился из поверхностного, среднего, максимально возможного придонного горизонта и над слоем температурного скачка. Всего охвачено 7 станций на участке протяжённостью 100 км выше плотины Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) включая крупные притоки Джой и Кантегир, на 1 станции в нижнем бьефе и 3 станциях выше Саянского ущелья – из поверхностного горизонта (рисунок). Отбор проб воды и воздуха сопровождался одновременным определением сопутствующих физико-химических (температура, электропроводность, растворенный кислород) и метеорологических (температура и влажность воздуха, атмосферное давление и скорость ветра) параметров.



- 4 – Станции установки плавучих камер, отбора проб воды и воздуха
- II – Районы водохранилища с различными характеристиками метаногенеза

### Карта-схема района проведения работ на Саяно-Шушенском водохранилище

Использован метод плавучих камер, устанавливаемых над поверхностью воды для определения общего (пузырькового и диффузионного) потока метана на основной акватории водохранилища [3]. Пробы воздуха закачивались во флаконы с раствором поваренной соли. Концентрация метана определялась в лаборатории ИФА РАН методом «headspace» на газовом хроматографе [4].

Расчет дегазации метана на плотине СШГЭС проводился по методике [1] для 2022 г. Метод основан на допущении, что после прохождения воды через турбины ГЭС и водосброс плотины концентрация растворенных в них парниковых газов (в частности метана) приходит в равновесное состояние с атмосферным воздухом.

#### *Анализ результатов*

В таблице приведены основные результаты измерений концентрации и потока метана в воде Саяно-Шушенского водохранилища в 2021-2022 гг.

Повышенное содержание (>1 мкл/л) метана в летний период 2022 г. в верхнем бьефе водохранилища связано, вероятно, с антропогенной деятельностью (сброс неочищенных сточных вод с населенных пунктов), на границе Саяно-Шушенского биосферного заповедника – природным поступлением с притоками и аномально низким уровнем воды. Затопленная древесина в районах Джойского

и Кантегирского заливов, а также в большинстве менее крупных заводей, является причиной высоких концентраций и потока метана в них и в приплотинной части водохранилища во все сезоны 2021-2022 гг., что также подтверждает исследование [1] 2014 г. Поток метана на акватории водохранилища оказался значительно меньше (<10 мгС/м<sup>2</sup>\*сут.) потока для той же климатической зоны по известным мировым базам данных (30-800 мгС/м<sup>2</sup>\*сут.) [2; 6].

#### Содержание и поток метана в воде Саяно-Шушенского водохранилища по сезонам

Номер станции на карте-схеме	Название станции	Содержание метана в воде (поверхность/дно), мкл/л			Удельный поток метана, мгС/м <sup>2</sup> *сут.	
		09.2021	03.2022	06.2022	09.2021	06.2022
НБ	Нижний бьеф плотины Саяно-Шушенской ГЭС	н.д.	<u>0,35</u> -	<u>0,38</u> -	н.д.	н.д.
1	Приплотинная в нижнем бьефе водохранилища	<u>0,14</u> 0,14	<u>0,79</u> 0	<u>0,29</u> 0,70	<u>0,01*</u> 0-0,06	<u>0,05</u> 0,01-0,08
2	Джойский залив (р. Джой)	<u>0,85</u> 0,36	<u>0,77</u> 0,49	<u>0,51</u> н.д.	<u>2,56</u> 0,59-5,11	<u>0,94</u> 0,81-1,07
3	Район междуречья рек Джойская Сосновка и Кантегирская Сосновка	<u>0,67</u> 0,29	<u>0,38</u> 0,27	<u>0,42</u> 0,22	<u>5,16</u> 4,02-6,27	<u>0,97</u> 0,38-1,56
4	Кантегирский залив (река Кантегир)	<u>0,45</u> 0,15	<u>0,27</u> 0,18	<u>0,63</u> 0,19	<u>0,53</u> 0,37-0,72	<u>1,28</u> 1,11-1,55
5	район водопада, «Катушка»	<u>0,42</u> 0,96	<u>0,28</u> 0,19	<u>0,25</u> 0,45	<u>0,87</u> 0,48-1,10	<u>0,36</u> 0,26-0,43
6	район впадения р. Большая Пашкина	<u>0,31</u> 0,19	<u>1,01</u> 0,21	<u>1,76</u> 0,23	<u>0,09</u> 0,01-0,15	<u>0,50</u> 0,50-0,50
7	Граница Саяно-Шушенского заповедника	<u>0,21</u> 0,26	<u>0,48</u> 0,31	<u>2,78</u> 1,18	<u>0,06</u> 0,04-0,11	<u>5,29</u> 3,25-6,77
Э-Х	район впадения реки Эйлиг-Хем	н.д.	н.д.	<u>2,22</u> -	н.д.	н.д.
ВБ	1,5 км выше г. Шагонар (верхний бьеф)	н.д.	н.д.	<u>1,63</u> -	н.д.	н.д.
К	13 км ниже г. Кызыл	н.д.	н.д.	<u>1,97</u> -	н.д.	н.д.

Примечание: н.д. – нет данных; \*в числителе – средние значения, в знаменателе – диапазон значений

С учетом морфологических особенностей и распределения станций наблюдений за содержанием метана на акватории исследуемого объекта произведено предварительное районирование Саяно-Шушенского водохранилища с выделением 5 характерных районов (отсеков) для дальнейших оценок общего содержания метана (рисунок): приплотинная часть, простирающаяся до границы Саяно-Шушенского заповедника (I); промежуточная часть, представляющая собой ущелье на значительном своём протяжении (II); Шагонарский плёс в верхнем бьефе со своим внутригодовым режимом (III); участки с наиболее крупными притоками – Джой (IV) и Кантегир (V).

В зимний период 2022 г. концентрация метана в воде в НБ плотины СШГЭС была меньше, чем в 500 м выше ВБ плотины СШГЭС (станция 1), что говорит о его выделении в атмосферный воздух и положительной эмиссии

(30,8 кг/сут.). В летний период 2022 г. отмечалась обратная картина: концентрация метана в воде НБ была значительно выше, чем в ВБ (станция 1), что говорит о поглощении метана и отрицательной эмиссии (-17,4 кг/сут.).

### **Выводы**

Проведены исследования выбросов метана с поверхности Саяно-Шушенского водохранилища на р. Енисей в разные гидрологические фазы 2021-2022 г. Выявлено, что концентрации метана на разных горизонтах воды водохранилища находятся на довольно низком уровне (менее 1 мкл/л). Поток метана достигал 5-6 мгС/м<sup>2</sup>\*сут. на границе Саяно-Шушенского биосферного заповедника (особенности водосборной площади) и в районах впадения крупных левых притоков Джой и Кантегир (топляк). В верхнем бьефе водохранилища концентрации метана оказались на уровне 1,6-2,2 мкл/л, что вероятнее всего связано с антропогенной деятельностью со стороны сельских и городских населенных пунктов Республики Тыва.

Предварительно выделено 5 районов (отсеков) водохранилища со своими особенностями метаногенеза. Зимой 2022 г. отмечалась положительная эмиссия метана при дегазации через турбины СШГЭС (30,8 кг/сут.). Однако, летом 2022г. происходило поглощение метана ниже плотины СШГЭС (-17,4 кг/сут.).

*Исследование 2021-2022 гг. проведено в рамках договора с ПАО «Рус-Гидро» №1010-416-2021.*

### **Библиографический список**

1. Елистратов В.В., Зинченко А.В., Масликов В.И., Саввичев А.С. Натурные исследования эмиссии парниковых газов с водохранилищ Саяно-Шушенской и Майнской ГЭС // Гидроэнергетика новые разработки и технологии: Восьмая научно-техническая конференция. СПб. 2014. С.71-73.

2. Ретина И.А., Терский П.Н., Горин С.Л. и др. // Натурные измерения метана на крупнейших водохранилищах России в 2021 году. Начало масштабных исследований // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 6. С. 713–718.

3. Bastviken D., Cole J., Pace M., Tranvik L. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate // Global Biogeochem. Cycles. 2004. V. 18. 12 p.

4. Bastviken D., Santoro A.L., Marotta H., Pinho L.Q., Calheiros D.F., Crill P., Enrich-Prast A. Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling // Environ Sci. Technol. 2010. V. 44. №14. P. 5450–5455.

5. Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental bScience Series / Eds Tremblay A., Varfalvy L., Roehm C., Garneau M. N. Y.: Springer, 2005. 732 p.

6. Rosentreter J. A., Borges, A. V., Deemer, B. R., Holgerson, M. A., Liu, S., Song, C., ... & Eyre, B. D. Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources // Nature Geoscience. 2021. V. 14. №. 4. P. 225-230.

Е.С. Ушакова, Н.Н. Паньков, П.А. Белкин,  
ushakova.evgeniya@gmail.com

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

## **БИОИНДИКАЦИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК**

Рассмотрены вопросы формирования качества воды в верхней части Камского водохранилища, являющейся важным источником технического водоснабжения. Дана оценка качества воды в устье рр. Толыч и Зырянка, протекающих по территории г. Березники, с использованием абиотических и биотических индексов загрязнения. В качестве биоиндикатора использован макрозообентос. Результаты исследования продемонстрировали важность комплексирования методов оценки экологического состояния малых рек с целью своевременного выявления, предупреждения экологических угроз, а также сохранения биоразнообразия и его прогнозирование в уязвимых экосистемах.

*Ключевые слова:* биоиндикация, биоиндикаторы, экологический мониторинг, гидроэкология, качество воды.

E.S. Ushakova, N.N. Pankov, P. A. Belkin,  
ushakova.evgeniya@gmail.com  
*Perm State University, Perm, Russia*

## **BIOINDICATION IN THE ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL STATUS OF SMALL RIVERS**

In this article are considered the issues of water quality formation in the upper part of the Kama reservoir, which is an important source of technical water supply. Water quality in the mouths of the rivers Tolych and Zyryanka flowing through the territory of Berezniki was assessed using abiotic and biotic pollution indices, macrozoobenthos diversity was used as a bioindicator. The results of the study demonstrated the importance of a combination of methods for assessing the ecological state of small rivers in order to timely identify, prevent environmental threats, as well as the conservation of biodiversity and its prediction in vulnerable ecosystems

*Keywords:* bioindication, bioindicators, ecological monitoring, hydroecology, water quality.

### ***Введение***

Последнее десятилетие в верхней части Камского водохранилища в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла качество вод соответствует 3-му классу, что характеризует воды как «очень загрязненные» [1; 2]. Высокий уровень техногенной нагрузки на участке р. Камы от Соликамска до Березников обусловлен за счет точечных (декларируемые или сбросы сточных вод) и неточечных (диффузные) источников [3].

Значительный вклад в повышение уровня техногенного влияния на изменение качество вод Камского водохранилища на участке от Соликамска до Березников обусловлен поступлением загрязненных вод рр. Усолка, Черная, По-

повка, Толыч и Зырянка [4-6]. Трансформация химического состава выше перечисленных рек характеризуется повышенным уровнем минерализации (до солоноватых вод) с преобладанием хлоридно-натриевого состава, превышением ПДК по содержанию тяжелых металлов и металлоидов. При этом развитие живых организмов в этих водотоках изучено крайне слабо, поскольку в предшествующие годы ему не уделялось должного внимания.

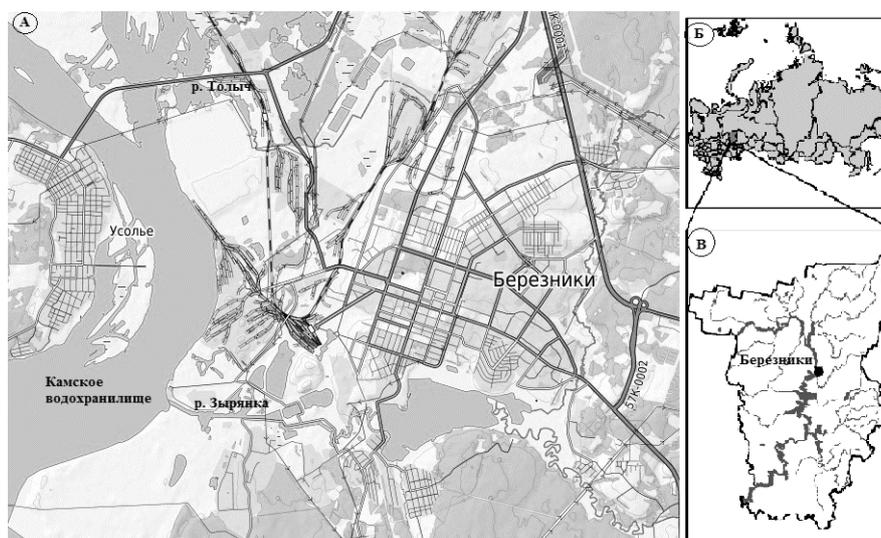
Цель исследования – оценка экологического состояния малых рек – притоков верхней части Камского водохранилища на примере Толыча и Зырянки; демонстрация применения комплексной оценки качества воды и состояния речных экосистем с использованием методов биоиндикации в условиях сбросов сточных вод и других источников загрязнения.

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

Территория исследования находится в пределах г. Березники, расположенного в 160 км к северу от Перми, в левобережье верхней части Камского водохранилища. Экологическая оценка устьевых частей р. Толыч и р. Зырянка выполнена в конце летнего меженного периода 2019 и 2021 г. (рис. 1).

Река Толыч протекает по промзоне г. Березники, где расположены объекты накопленного вреда окружающей среде, а также осуществляется сброс сточных вод от предприятий химической, энергетической и металлургической промышленности. Река Зырянка в своём среднем и нижнем течении протекает по урбанизированной территории. Здесь в неё поступают стоки от двух промышленных предприятий, в приустьевой части находятся затопленный калийный рудник и ряд крупных химических производств. Гидрологическая характеристика исследуемых водотоков приведена в таблице 1.

Аналитические исследования химического состава вод выполнены в аккредитованной гидрохимической лаборатории и сектора наноминералогии «Центра коллективного пользования Пермского государственного национального исследовательского университета».



**Рис.1. Схема расположения территории исследования**

## Сведения о водосборной площади

<i>Характеристика</i>	<i>р. Толыч</i>	<i>р. Зырянка</i>
Площадь водосбора (общая), км <sup>2</sup>	27,79	365
Длина (общая), км	10,9	53,0
Генеральное направление течения	Юго-запад	Юго-запад
Ширина (в устье), м	15,0	94,3
Средняя /максимальная глубина (в устье), м	1,45/2,35	4,02/6,50
Измеренный расход (в устье), м <sup>3</sup>	1,61	3,79
Водоохранная зона, м	100	200
Рыбохозяйственная категория	Первая	Высшая

Макрокомпонентный состав воды определен лабораторными методами (потенциометрическим, фотометрическим, титриметрическим и др.), микроэлементный – методом масс-спектрометрии.

Оценка степени загрязненности вод р. Толыч и р. Зырянка по химическим данным производилась по индексам ИЗВ, СРІ и НЕІ. Для расчета ИЗВ использовали 6 параметров: растворенный кислород, БПК<sub>5</sub>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ni и Zn. Комплексный индекс загрязнения (СРІ) рассчитывали на основе следующих показателей: ХПК, БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Fe<sub>общ.</sub>, Cu, Zn и Cd. Индекс НЕІ рассчитывали на основе следующих показателей: V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ba, Hg и Pb.

В рамках гидробиологических исследований определяли таксономический состав макрозообентоса, рассчитывали его численность и биомассу, индекс Шеннона-Уивера (H), индекс загрязнения бытовыми и промышленными стоками Кинга и Болла, а также рекомендованный Европейской Рамочной Водной Директивой индекс ЕРТ.

### ***Анализ результатов***

Воды в устье р. Зырянки соответствует категории – воды с относительно повышенной минерализацией (616 мг/дм<sup>3</sup>). Воды слабощелочные с ведущей ролью в ионном составе Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, по степени жесткости – мягкие. В сравнении, в устьевой части р. Толыч воды характеризуются как слабосоленоватые (1052 мг/дм<sup>3</sup>). Воды нейтральные с преобладанием в ионном составе Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, по степени жесткости – жесткие. В соответствии с классификацией природных вод А.В. Крылова (по БПК<sub>5</sub>) воды в р. Зырянке и р. Толыч классифицируются как очень чистые.

Результаты расчета ИЗВ и НЕІ свидетельствуют об умеренном загрязнении рек Толыч и Зырянка (табл. 2). Результаты расчета комплексного индекса загрязнения (СРІ) демонстрируют вариацию категории загрязнения от умеренно загрязненных – р. Зырянка и сильно загрязненные – р. Толыч.

В бентофауне исследованных участков зарегистрированы представители классов Oligochaeta – малощетинковые черви, Bivalvia – двустворчатые моллюски, Gastropoda – брюхоногие моллюски, Insecta – насекомые.

## Экологическое состояние в устье рр. Толыч и Зырянка

Река	Биотические индексы			Индексы качества воды		
	<i>H</i>	<i>EPT</i>	Индекс Кинга-Болла	<i>HEI</i>	<i>CPI</i>	<i>ИЗВ</i>
Толыч	У.З.*	С.З.	Чистые	У.З.	С.З.	У.З.
Зырянка	Грязные	С.З.	Чистые	У.З.	У.З.	У.З.

Примечание: У.З. – умеренно загрязненные, С.З. – сильно загрязненные.

Среди насекомых двукрылые (Diptera) из семейств Ceratopogonidae – мокрецы, Chaoboridae – хаобориды и Chironomidae – комары-звонцы. В зообентосе устьевой части р. Зырянки отмечено 24 вида бентосных животных, в устье р. Толыч – 5 видов.

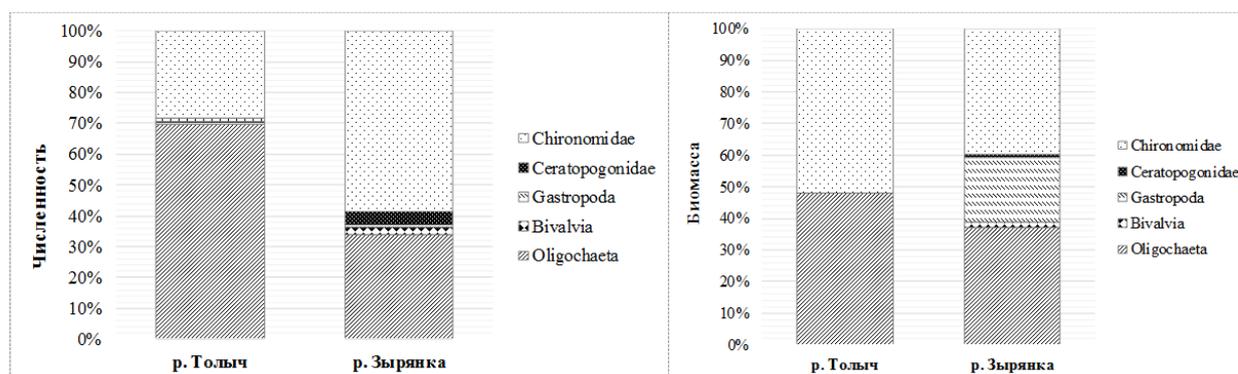


Рис. 2. Распределение качественных и количественных показателей развития зообентоса в устье р. Толыч и р. Зырянка

Величины биомассы и численности донных животных в устье рек Толыч и Зырянка находились в пределах от 1,13 до 1,08 г/м<sup>2</sup> и 0,52-0,81 тыс.экз./м<sup>2</sup>, соответственно (рис. 2). В устьевых частях исследуемых рек формируется зообентоценоз, основу которого составляют личинки комаров-звонцов, а также малощетинковые черви. При этом только в устье р. Зырянки встречены двустворчатые и брюхоногие моллюски, на долю которых приходится менее 5% численности зообентоса.

Невысокое значение индекса Шеннона говорит об упрощенной структуре сообществ донных животных, и соответствует категории умеренно загрязнённых вод в р. Толыч, и грязных – р. Зырянка (табл. 2).

В зарубежной системе мониторинга широко используется индекс EPT, основанный на относительной численности индикаторных групп беспозвоночных из отрядов поденок (Ephemeroptera), веснянок (Plecoptera) и ручейников (Trichoptera), наиболее чувствительных к любым изменениям качества пресноводных экосистем [7]. Их отсутствие в устье рр. Толыч и Зырянка свидетельствует о неблагоприятном экологическом состоянии водотоков. При этом значения индекса Кинга и Болла не указывают на наличие здесь органического загрязнения.

Высокий уровень техногенной нагрузки отмечался и в ранее проведенных исследованиях. Так, в грунтах устьевого участка р. Толыч, по результатам расчета коэффициента донной аккумуляции, были зафиксированы повышенные значения Pb, Zn, W, Ba, Cu, Sn, V [8]. Результаты расчетов биотических индексов и индексов качества воды настоящего исследования согласуются с результатами биотического индекса Карра, основанного на использовании рыбы в качестве индикаторной группы [9]. Результаты расчета индекса нагрузки металлами (MI), основанного на сравнении с ПДК, демонстрируют непригодность водных биологических ресурсов рр. Толыч и Зырянка для использования в питании человека [4]. Сравнительный анализ биотических и абиотических индексов показывает, что зообентос может быть использован в качестве чувствительного индикатора качества воды, поскольку бентофауна зависит как от физико-химических параметров воды, так и донных отложений.

### **Выводы**

Результаты исследования подтвердили важность комплексирования абиотических и биотических показателей в оценке экологического состояния водных объектов. Оценка качества воды в устьях рр. Толыч и Зырянка показала, что экологическая ситуация характеризуется здесь как неблагоприятная, требующая проведения природоохранных мероприятий с целью снижения уровня техногенной нагрузки в бассейне верхней части Камского водохранилища.

*Исследование проведено при поддержке гранта Президента РФ No МК-4377.2022.1.5*

### **Библиографический список**

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2021 г.» [Электронный ресурс] URL: <https://priroda.permkrai.ru/dokumenty/153330/> (дата обращения 09.03.2023).
2. *Торопов Л.И.* Характеристика загрязнения водных ресурсов Пермского края тяжелыми металлами // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2013. № 1 (9). С. 101–108.
3. *Летихин А.П., Возняк А.А., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Ляхин Ю.С., Богомолов А.В.* Исследование особенностей формирования и масштабов диффузного загрязнения, сформированного крупными промышленными комплексами, на примере Соликамско-Березниковского промузла // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 560–566.
4. *Ушакова Е.С., Белкин П.А., Бакланов М.А., Дробинина Е.В., Пузик А.Ю.* Экогеохимическая и биоиндикационная оценка загрязнения малых рек города Березники // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т. 21. № 4. С. 384–393.
5. *Меньшикова Е.А.* Трансформация аллювиальных отложений малых рек в условиях сброса сточных вод // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2016. № 16. С. 66–69.

6. *Мирошниченко С.А., Богомолов А.В., Возняк А.А., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С.* Современные особенности гидрохимического режима Верхне-Зырянского водохранилища – источника технического водоснабжения калийных предприятий БКПРУ-2, 4 // Горное эхо. 2021. № 1 (82). С. 15–24.

7. *Андреанова А.В.* Оценка экологического состояния рек бассейна Енисея по организмам зообентоса // Енисейская Арктика. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2021. С. 82–84.

8. *Ушакова Е.С., Меньшикова Е.А.* Донные отложения и их роль в формировании экологического состояния водоемов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. № 4 (41). С. 316–321.

9. *Ushakova E., Drobinina E., Puzik A., Mikheev P.* Impact of Wastewater on Water Quality and Fish Community in the Tolych River, Perm Krai, Russia. *Pollution*. 2023. 9(2). P. 459–476.

Е.А. Чекмарева, И.Л. Григорьева s\_taya@list.ru  
*Институт водных проблем РАН, Ивановская НИС, г. Конаково, Россия*

## **ОЦЕНКА ВЫНОСА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МАЛЫМИ ПРИТОКАМИ В ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

Исследована изменчивость концентраций биогенных веществ и тяжелых металлов в воде малых притоков Ивановского водохранилища в течение 2022 г. Проведена количественная оценка выноса этих элементов со стоком малых притоков.

*Ключевые слова:* сток, малые реки, водохранилище, качество воды, биогенные вещества, тяжелые металлы.

E. Chekmareva, I. Grigoryeva s\_taya@list.ru  
*Water Problems Institute of RAS, Ivankovo Research Station, Konakovo, Russia*

## **ASSESSMENT THE FLOW OF BIOGENIC ELEMENTS AND HEAVY METALS BY SMALL TRIBUTARIES IN IVANKOVO RESERVOIR**

The changes in the concentrations of biogenic elements and heavy metals in the water of small tributaries of the Ivankovo reservoir for 2022 were studied. An assessment of the flow of elements with the runoff of small tributaries was carried out.

*Keywords:* flow, small river, reservoir, water quality, biogenic elements, heavy metals.

### ***Введение***

Избыточное поступление биогенных элементов и тяжелых металлов в водоемы оказывает негативное влияние на их экологическое состояние. Соединения азота и фосфора являются лимитирующими факторами развития гидробионтов. Поступление этих веществ в водоемы осуществляется со стоком как основных, так и малых притоков. Вынос загрязняющих веществ с последними может быть существенным при значительной антропогенной нагрузке на их водосборы.

### ***Цель исследования***

Оценка выноса биогенных элементов (азот, фосфор) и тяжелых металлов малыми притоками в Ивановское водохранилище, а также изменчивость их концентраций по сезонам.

### ***Объекты исследования***

Малые притоки Ивановского водохранилища: рр. Гусевка, Дойбица, Донховка, Инюха, Орша, Полозовка, Созь, Сучок, Тропка.

## Материалы и методы исследований

В 2022 г. проведены полевые исследования притоков Иваньковского водохранилища с ежемесячным отбором проб воды и измерением гидрометрических характеристик. Отбор проб воды производился из поверхностного горизонта в двух точках наблюдения на протяжении всей реки: наиболее близких к истоку и к устью (вне подпора). В период половодья отбор проб воды выполнялся раз в две недели. Химический анализ отобранных проб воды выполнен в химической лаборатории Иваньковской НИС Института водных проблем РАН (аттестат аккредитации RA.RU.21АН96) по аттестованным методикам фотометрическим и атомно-абсорбционным методами анализа. В пробах воды определялись минеральные формы азота и фосфора, валовый, общий и органический фосфор, кремний, железо общее, марганец, растворенные формы цинка, меди, кадмия, свинца и никеля. Проведен анализ изменения в течение года концентраций биогенных элементов и ряда тяжелых металлов в воде малых притоков Иваньковского водохранилища.

### Анализ результатов

Ранее установлено, что доля малых притоков в поверхностном стоке в водоем составляет около 4%, но роль их в формировании качества воды Иваньковского водохранилища существенна на приустьевых участках [2].

Реки равнинные, восточно-европейского типа с высоким половодьем, низкой меженью (лето и зима), повышенным стоком осенью. Доля снегового питания составляет не более 50%, грунтового – 25-35%, дождевого – 15-20% [2].

По наблюдениям скорости течения на разных участках рек меняются от 0.08 до 1.8 м/сек в периоды половодья. В меженный период скорости течения не превышают 0.8 м/сек, для неглубоких рек становится характерным отсутствие стока, обратное течение, некоторые участки пересыхают. Среднегодовой расход воды в малых притоках за 2022 год изменялся от 0.23 м<sup>3</sup>/сек (р. Полозовка) до 6.76 м<sup>3</sup>/сек (р. Орша), максимальный среднегодовой расход наблюдается в наиболее крупных реках (рр. Орша, Созь, Донховка) (табл. 1).

Таблица 1

**Морфометрические и гидрологические характеристики малых притоков Иваньковского водохранилища**

Название притока	Длина, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Годовой сток, м <sup>3</sup> /сек <sup>1</sup>			Среднегодовой расход воды, м <sup>3</sup> /сек (max) <sup>2</sup>
			95%	75%	50%	
Гусевка	<10	-	-	-	-	0.31 (1.05)
Дойбица	24	192	0.97	1.02	1.22	0.86 (4.68)
Донховка	27	158	0.65	0.84	1.0	3.22 (19.5)
Инюха	12	22.8	-	-	-	0.44 (2.8)
Орша	72	752	-	-	-	6.76 (46.2)
Полозовка	<10	-	-	-	-	0.23 (0.4)
Созь	34	575	2.36	3.07	3.66	4.59 (8.64)
Сучок	17	58.3	0.24	0.31	0.37	0.93 (4.2)
Тропка	<10	-	-	-	-	0.79 (3.28)

<sup>1</sup> [3], <sup>2</sup> собственные данные

Наибольшие концентрации железа общего в воде малых притоков отмечались, в основном, в марте-апреле. В период с марта по июнь концентрации железа общего превышали ПДК<sub>рыб.</sub> в 2-14 раз. Максимальные концентрации отмечались в воде р. Орши в марте и июне (рис. 1).

Наибольшие концентрации марганца в воде малых притоков (рис. 2) зафиксированы в марте и начале апреля. Экстремально высокая концентрация (1,9 мг/дм<sup>3</sup>) отмечена в воде реки Сучок в августе, когда, очевидно, река полностью перешла на подземное питание.

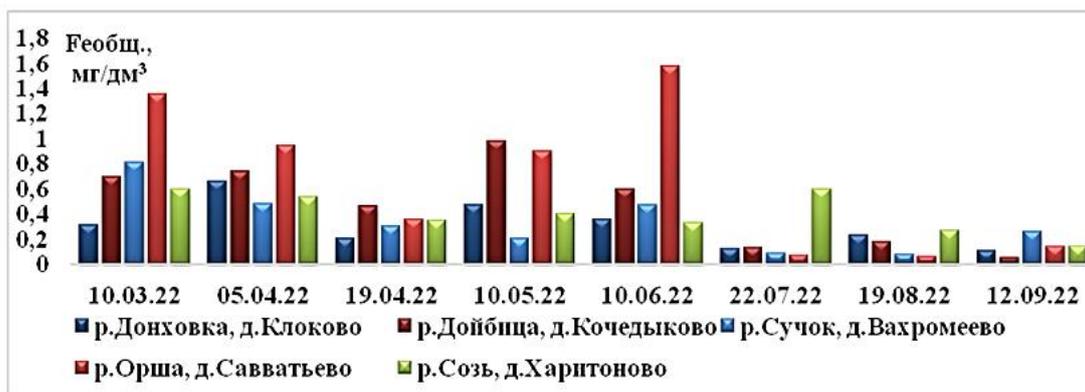


Рис. 1. Изменение концентраций железа общего в воде малых притоков Иваньковского водохранилища в течение 2022 г.



Рис. 2. Изменение концентраций марганца в воде малых притоков Иваньковского водохранилища в течение 2022 г.

Наибольшие концентрации минерального азота зафиксированы в воде р. Донховки в период с марта по май. Для фосфора картина не так однозначна. В воде всех притоков наблюдалось некоторое уменьшение концентраций от марта к апрелю и увеличение концентраций в мае и июне. А в воде р. Дойбицы увеличение концентраций наблюдалось в июле. Наименьшие концентрации общего фосфора и минерального азота, практически всегда, отмечались в воде р. Созь (рис. 3 и 4). В воде всех малых притоков, кроме Сози, отмечались превышения ПДК<sub>рыб.</sub> для свинца. Для всех притоков характерны повышенные концентрации меди. Максимальная концентрация в 27 ПДК<sub>рыб.</sub> отмечена в воде р. Орши в июле.

Мутность за исследуемый период изменялась от 0,1 до максимальных значений – 42,4 мг/дм<sup>3</sup> в р. Полозовка/д. Колодкино (ноябрь 2022 г.), 22,7 мг/дм<sup>3</sup> и 21,8 мг/дм<sup>3</sup> в р. Созь/д. Спас-на-Сози и д. Харитоново соответственно (ноябрь и июль 2022 г.).

Сложности в оценке выноса химических элементов речным стоком заключаются в регулярности наблюдений за расходами и качеством воды. Были выполнены расчеты выноса биогенных элементов и тяжелых металлов с малыми притоками в Ивановское водохранилище с апреля по ноябрь (табл.2, 3).

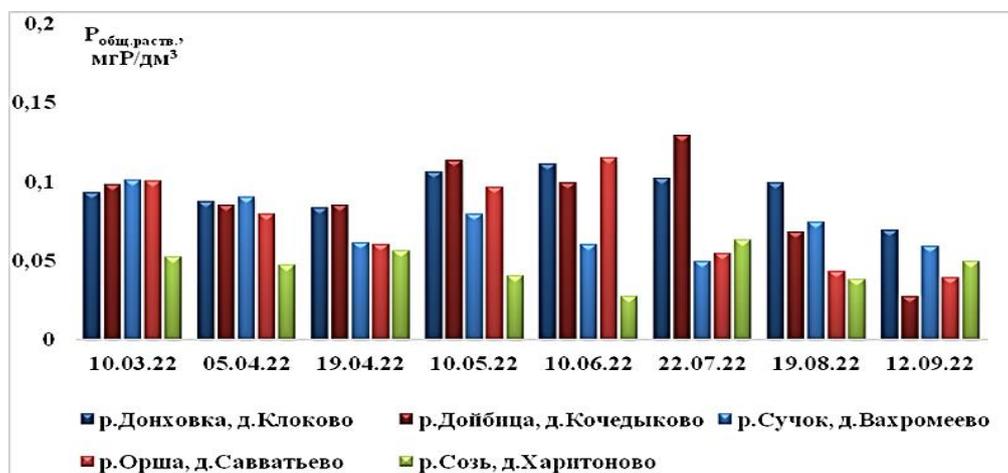


Рис. 3. Изменение концентраций общего фосфора в замыкающих створах малых притоков Ивановского водохранилища в 2022 г.



Рис. 4. Изменение концентраций минерального азота в замыкающих створах малых притоков Ивановского водохранилища в 2022 г.

Таблица 2

Вынос биогенных элементов за исследуемый период (2022 г.) с притоками Ивановского водохранилища, т

Период	$Fe_{общ.}$	$SiO_2$	$Mn$	$P_{раств.}$	$P_{взвеш.}$	$NH_4$	$NO_2$	$NO_3$
с апреля по ноябрь	26.01	36.77	4.76	3.99	2.29	9.39	4.06	159.68
половодье	13.57	32.43	1.86	2.19	0.96	4.24	2.01	119.54
межень	5.30	1.63	0.72	0.97	0.66	2.18	0.40	10.63

Таблица 3

Вынос тяжелых металлов за исследуемый период (2022 г.) с притоками Ивановского водохранилища, т

Период	$Zn_{раств.}$	$Pb_{раств.}$	$Cu_{раств.}$	$Cr_{раств.}$	$Cd_{раств.}$	$Ni_{раств.}$	$Co_{раств.}$
с апреля по ноябрь	1.41	0.54	0.33	0.06*	0.10	0.02	0.03*
половодье	1.01	0.44	0.21	0.05	0.03	0.006	0.02
межень	0.35	0.09	0.11	-	0.06	0.015	-

\*данные за апрель и июнь

Основной вынос биогенных элементов и тяжелых металлов происходит в период половодья, что оказывает наибольшее значение на формирование качества воды в Иваньковском водохранилище, а также влияет на качество питьевого водоснабжения в населенных пунктах вблизи рек, использующих нецентрализованное водоснабжение.

Со стоком рек поступает большое количество нитратного азота (рр. Донховка – 420,1 т, Орша – 318,1 т, Тропка – 277,5 т), что можно связать с большим числом селитебных территорий на берегах рек и отсутствием действующих очистных сооружений, размещением сельскохозяйственных территорий на водосборе. Железо общее и марганец поступает со стоком рек, имеющих заболоченный водосбор (рр. Орша – 121,1 т Fe<sub>общ.</sub> и 63,7 т Mn, Созь – 63,7 т Fe<sub>общ.</sub> и 19,3 т Mn). Цинк и медь в растворенной форме поступает с водами рр. Орша, Созь и Донховка (5,5, 2,8, 2,3 т Zn<sub>раств.</sub> и 1,1, 0,7, 0,6 т Cu<sub>раств.</sub> соответственно). Максимальные значения свинца отмечены в рр. Орша, Донховка и Дойбица (2,3, 1,0, 0,5 т Pb<sub>раств.</sub> соответственно), в этих же реках самые высокие значения выноса кадмия (0,15-0,25 т Cd<sub>раств.</sub>) и кобальта (0,04-0,08 т Co<sub>раств.</sub>). Хром за небольшой период исследования (апрель и июнь) поступал со стоком р. Донховки (0,16 т Cr<sub>раств.</sub>), остальные значения выноса не превышали 0,4 т как для хрома, так и для никеля.

### **Выводы**

Проведен анализ изменчивости концентраций биогенов и тяжелых металлов в воде притоков Иваньковского водохранилища в течение 2022 г. Проведена количественная оценка поступления в Иваньковское водохранилище биогенных элементов и тяжелых металлов с водой малых притоков.

По данным 2022 г. выявлено изменение концентраций исследуемых ингредиентов во времени во всех исследуемых водных объектах. Показано, что наибольшие концентрации минерального азота и железа общего отмечались в конце зимы и в период половодья.

*Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН.*

### **Библиографический список**

1. Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. изд. 3-е, доп. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 461 с.
2. Иваньковское водохранилище: Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. 344 с.
3. Мирзоев Е.С., Мирзоев А.Е. Конаковский район: краеведческий справочник. Тверь: ДК Современник, 1995. 98 с.

С.И. Шапоренко<sup>1</sup>, В.В. Кузовлев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт географии РАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия*

## **ВЛИЯНИЕ ГОРОДОВ РЖЕВ И ТВЕРЬ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОЛЖСКОГО ПРИТОКА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Города Ржев и Тверь – первые по течению р. Волги крупные промышленные центры, в которых поступление сточных вод и диффузное загрязнение в различной степени сказываются на среднегодовых и максимальных концентрациях отдельных гидрохимических параметров в реке. В разной степени трансформируется внутригодовая изменчивость параметров. В основном сохраняют природный характер режимы растворенного кислорода, силикатов, нитратов и стронция. На качество вод влияют преимущественно высокие концентрации марганца, меди, цинка и ХПК природного генезиса.

*Ключевые слова:* растворенные вещества, концентрация, внутригодовая изменчивость, качество вод, фоновый и контрольный створ

S.I. Shaporenko<sup>1</sup>, V.V. Kuzovlev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geography Russian Academy of Sciences (IGRAS), Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Tver State Technical University (TSTU), Tver, Russia*

## **THE INFLUENCE OF THE CITIES OF RZHEV AND TVER ON THE HYDROCHEMICAL REGIME OF THE VOLGA TRIBUTARY OF THE IVANKOVSKY RESERVOIR**

The cities of Rzhev and Tver are the first large industrial centers along the Volga River, in which the inflow of wastewater and diffuse pollution affect the average annual and maximum concentrations of individual hydrochemical parameters in the Volga River to varying degrees. The intra-annual variability of parameters is transformed to varying degrees. Basically, the modes of dissolved oxygen, silicates, nitrates and strontium retain their natural character. The water quality is mainly affected by high concentrations of manganese, copper, zinc and COD of natural genesis.

*Keywords:* solutes, concentration, intra-annual variability, water quality, background and control range

### ***Введение***

Влияние населенного пункта на гидрохимический режим реки, на берегах которой он стоит, подлежит мониторингу организациями Росгидромета в случаях наличия потенциальных угроз нанесения загрязнения от организованных сбросов сточных вод водопользователями, стоками необорудованной очистными сооружениями ливневой канализации и многочисленными диффузными источниками. Для этого оборудуются фоновый и контрольный створы мониторинга (РД 52.24.309-2016). Реже используют специальные гидрохимические съемки внутри города [2]. Анализ влияния на качество речных вод, как правило, ограни-

чивается сопоставлением концентраций потенциальных загрязнителей в указанных створах [1; 5], к которому могут добавляться гидробиологические и биотестовые показатели [3]. Для контроля качества воды в реке такой подход стандартен и в значительной степени оправдан, но у него имеются недостатки в реализации. В частности, для выявления причин аварийных ситуаций недостаточна дискретность отбора проб в пунктах 4 категории (7 раз в год), преобладающих на сети мониторинга Росгидромета. В работе за счет проведения дополнительных отборов проб указанный недостаток был минимизирован, что позволяет охарактеризовать трансформацию гидрохимического режима волжских вод при прохождении городов Ржев и Тверь более подробно.

### ***Использованные материалы и методы***

Работа выполнена на основе данных регулярного мониторинга в пунктах на Волге около гг. Ржева и Твери, проводимого лабораторией Тверского ЦГМС, которые были дополнены результатами наблюдений по договору с ИГРАН в рамках проекта РНФ с 09. 2020 по 09. 2021 гг. Отбор проб воды и химические анализы растворенных веществ проведены по стандартным методикам Росгидромета. Набор анализируемых гидрохимических параметров (ГП) в основном соответствовал таковому для пунктов мониторинга 3 категории (исключены из набора пестициды, добавлены фтор, барий, литий и стронций).

Фоновые режимы отдельных ГП оценены по устойчивости их взаимосвязей с водным стоком (уровнем) и температурой воды, причинами нарушения которых в контрольных створах принимались антропогенные факторы в пределах городских участков речного русла. Такой подход считаем возможным в рамках географо-гидрологического и статистического методов, обоснованных в работах О.Г. Савичева [4]. Поступления загрязняющих веществ со сточными водами предприятий оценивали по сведениям 2ТП (водхоз), представленным Федеральным агентством водных ресурсов. Разницы среднегодовых концентраций в контрольных и фоновых створах, меньшие, чем ошибка вычисленных средних, считали несущественными. Для оценки экологического состояния водных объектов использовали нормативы ПДК и комплексные параметры УКИЗВ (рассчитаны с помощью программы ГидрохимПК ФГБУ ГХИ без учета концентрации Mn).

### ***Анализ результатов***

Внутригодовой ход уровня и температуры воды в фоновых створах городов в значительной степени определяет изменчивость минерализации (как суммы ионов, обозначенной ниже  $\Sigma I$ ) и основных ее компонентов, преимущественно гидрокарбонатов, кальция. В Ивановском водохранилище по сравнению с речным участком у г. Ржева наблюдается запаздывание хода ГП примерно на 3–4 недели за счет влияния на гидрохимический режим сезонного хода температуры воды.

Выявлены сильные статистически достоверные связи с уровнем в г. Ржеве у азота нитратного и силикатов, в г. Твери у показателя БПК<sub>5</sub>. Аналогичные связи с температурой проявляются в створе г. Ржева у растворенного кислорода, силикатов, СПАВ, в створе г. Твери – у кислорода, азота нитратного. Полученные

корреляционные зависимости параметров в фоновых створах на Волге позволили охарактеризовать протекание гидролого-гидрохимических процессов, обуславливающих рост и снижение концентраций большинства веществ за счет природных факторов.

**Увеличение среднегодовых концентраций** ГП в контрольных створах по сравнению с фоновыми – часто главное последствие влияния городов на качество воды. Расположим ГП в порядке убывания кратности превышения средней годовой величины концентрации в контрольном створе над таковой в фоновом створе, исключив параметры с несущественными изменениями концентраций. Получаем ряды для г. Ржева: 1,30 Cu; 1,28 Cl; 1,26 N-NO<sub>3</sub>; 1,21 CO<sub>2</sub>; 1,20 Ф; 1,19 SO<sub>4</sub>; 1,11 K; 1,08 F; 1,07 УЭП; 1,06 Жесткость; 1,06 ΣI; 1,05 Ca; 1,14 N-NO<sub>2</sub> и для г. Твери: 1,52 БПК<sub>5</sub>; 1,41 N-NO<sub>2</sub>; 1,39 СПАВ; 1,36 Cl; 1,32 НП; 1,27 Pb; 1,21 CO<sub>2</sub>; 1,13 Fe; 1,12 цветность; 1,07 УЭП; 1,05 ΣI; 1,04 Жесткость; 1,04 HCO<sub>3</sub>; 1,02 Si. Если просуммировать превышения показателей фоновых значений, можно получить общую количественную оценку влияния каждого города: 15,01 по 13 ГП для Ржева и 16,93 по 14 ГП для Твери. Показатели будут ближе, если их нормировать на количество ГП: 1,16 для г. Ржева и 1,21 для г. Твери. Нужно отметить, что по створам г. Ржева происходило снижение концентраций фосфатов (более чем на 60 %), стронция, железа, марганца, показателя ХПК).

Если перевести концентрации в ПДК и отобрать наиболее значимые величины, получаем, что при прохождении г. Ржева волжские воды ухудшают свое качество на 1,16 условных ПДК по 9 показателям, а в пределах г. Твери на 1,154 условных единиц ПДК по 8 показателям. По суммарному эффекту воздействие городов примерно одинаково, но по вещественному составу различно: в г. Ржеве возрастают концентрации нитратов, фенолов, сульфатов, калия и кальция, в г. Твери увеличиваются показатели БПК<sub>5</sub>, СПАВ, нефтепродуктов, свинца, цветности, гидрокарбонатов и кремния.

По наблюдениям в наибольшей степени качество воды ухудшают следующие вещества: Mn (7,7-8,4 ПДК), Cu (3,2-3,5), Zn (2,7-2,8), ХПК (2,1-2,4), Fe (1,8-2,3 ПДК), изменчивость которых в городах проявлялась незначительно (кроме меди в г. Ржеве). Это говорит о том, что качество воды волжских вод перед Иваньковским водохранилищем в основном определяет не влияние городов, а природные условия. Качество воды по УКИЗВ в створах г. Ржева изменялось от 3,1 до 3,3 (разряд 3Б), а в створах г. Твери от 2,9 (разряд 3А в 2020 г. в контрольном створе) до 3,4 (разряд 3Б).

Влияние городов на экстремальные концентрации ГП оценили по концентрациям ингредиентов, которые увеличились в 1,1 и более раз. Ряд для г.Ржева включил в себя 15, а для г. Твери – 22 параметра. Самое большое увеличение максимальной концентрации в 3 раза произошло по аммоний в Твери. При этом его средняя годовая концентрация существенных изменений в контрольном створе не проявила. Подробный анализ изменчивости дополнительно нитритов, ХПК, НП, фтора, СПАВ во всех створах Ржева и Твери позволил заключить, что произошел разовый сброс загрязняющих веществ в июле 2020 г. в черте г. Твери, который совпал с повышенным загрязнением реки в г. Ржеве и даже выше его

фонового створа. Причину таких скачков в концентрации нужно связывать с погодными условиями в июне и июле 2020 г., когда выпадали интенсивные дожди с прохождением высоких паводков, которые привели к смыву загрязняющих веществ с прибрежных территорий в Волгу и ее притоки.

*Источниками загрязнения речных вод* могут быть сбросы сточных вод предприятиями города и диффузное загрязнение (к которому можно причислить и незарегистрированных водопользователей). Обобщение отчетов водопользователей показало, что в г. Ржеве в год сбрасывают 10,064 млн.м<sup>3</sup> сточных вод, из которых 10 млн. загрязненные. В г. Твери сбрасывают 94,69, из которых загрязненных 32,01 млн.м<sup>3</sup>. Влияние малых рек, устья которых расположены между фоновым и контрольным створами на Волге около г. Ржева, согласно нашим данным, несущественно из-за небольших расходов в них воды. Сопоставление средних годовых концентраций в фоновых и контрольных створах со сбросами загрязняющих веществ позволило провести оценку соотношения двух источников в загрязнении речных вод. Загрязнение азотом аммонийным с нитратами, сульфатами в Твери на 100 % определяет поступление сточных вод, а в г. Ржеве со сточными водами связано загрязнение органическими веществами по БПК<sub>5</sub>. Диффузное загрязнение полностью определяет прибавку азота нитритного, взвешенных веществ и почти полностью азота нитратного в речных водах в г. Ржеве. В г. Твери диффузные источники определяют повышение концентраций по БПК<sub>5</sub>, нефтепродуктов, железа общего, примерно на 70 % хлоридов и азота нитритного, на 30 % – фосфатов.

*Влияет ли город на внутригодовую изменчивость ГП* показывает сохранение или нарушение в контрольных створах корреляционных связей параметра с гидрологическими характеристиками, а также тесная связь величин концентрации в фоновом и контрольном створах ( $r \geq 0,70$ ). Такая статистическая проверка проведена для всех ГП. Сильная отрицательная связь с температурой в контрольных створах обоих городов у кремния, в меньшей степени у растворенного кислорода (с уровнем положительная). Связь изменчивости нитратов с уровнем воды положительная в г. Ржеве и отрицательная с температурой в г. Твери свидетельствует о преимущественном их поступлении в первом случае за счет диффузного смыва, и значительном потреблении в теплое время года во втором случае. Сохраняется корреляция в г. Твери с уровнем воды у показателя БПК<sub>5</sub>, что подтверждает его связь с диффузным выносом. Основной источник стронция – подземные воды, что подтверждает отрицательная корреляция с уровнем воды. Это может относиться и к фтору в контрольном створе г. Ржева.

Прямые сопоставления по каждому ГП показало, что для створов г. Ржева пар с показателями  $r \geq 0,90$  насчитывается 22, а для створов Твери – 8. Если брать за критерий значения  $r \geq 0,80$ , тогда таких пар будет соответственно 28 и 15. Все расчеты на уровне статистической значимости  $p = 0,001$ . Полученные результаты свидетельствуют о гораздо более слабом влиянии г. Ржева на трансформацию гидрохимического режима (внутригодового колебания концентраций) речных вод по сравнению с Тверью. Отмечены нюансы, когда отдельные ГП ведут себя по-разному между створами г. Ржева и г. Твери. Сезонный характер изменчиво-

сти может затушевываться антропогенным фактором, проявляющимся в ослаблении корреляционных связей параметров между фоновым и контрольным створами за счет неравномерных сбросов сточных вод или поступления веществ от диффузных источников.

### **Выводы**

Влияние городов на гидрохимический режим речных вод сказывается в разных аспектах. Природные факторы в разной степени проявляют себя в изменчивости отдельных ГП. Почти не подвержены влиянию городов режим растворенных кислорода, силикатов, стронция, возможно фтора. Относительно слабо – марганца. Для г. Ржева показательно антропогенное поступление меди, а для г. Твери органических веществ по БПК<sub>5</sub>. Работа еще раз подтвердила, что качество воды, оцениваемое с использованием системы ПДК, может быть плохим в основном за счет природных условий, не смотря на слабое воздействие городов, как, например, в верхнем течении Волги.

*Работа выполнена по теме ГЗ: АААА-А19-119021990093-8 (FMGE-2019-0007).*

### **Библиографический список**

1. Анкинович И.В. Изменение гидрохимического режима рек под влиянием стока с урбанизированных территорий Смоленской области. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М., 2013. 25 с.
2. Короткова Т.Г., Заколюкина А.М., Бушумов С.А. Анализ состояния реки Кубань в черте города Краснодара на основе частного отбора проб поверхностных природных вод // Успехи современного естествознания, 2019. № 3. С. 62-69.
3. Никаноров А.М., Хоружая Т.А., Миронова Т.В. Анализ влияния мегаполисов на качество воды поверхностных водных объектов по эколого-токсикологическим показателям // Водные ресурсы, 2011. Т. 38. № 5. С. 577-584.
4. Савичев О.Г., Нгуен В.Л. О методике определения фоновых и аномальных значений гидрогеохимических показателей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2015. Т. 326. № 9. С. 133-142.
5. Georgiadi A.G., Sharapova E.O., Danilenko A.O. Urban impact on water quality in the rivers of Central Russia // Modern problems of reservoirs and their catchments – 8. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 834 (2021) 012030.

Е.А. Шашуловская, shash.elena2010@yandex.ru

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,  
Саратовский филиал, г. Саратов, Россия*

## **ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЖНЕВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРАНСЪЕВРОПЕЙСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ НИС «ПРОТЕЙ»)**

Проведены гидрохимические исследования Саратовского и Волгоградского водохранилищ в осенний период 2022 г. Подтверждены пространственные тренды по продольной оси величин общей минерализации, основных ионов, аллохтонного органического вещества, минерального азота. Не установлены закономерности распределения фосфатов, общего железа. Наибольшее количество меди, марганца и ртути поступает из нижнего плеса Куйбышевского водохранилища и крупного промышленного центра г. Саратова.

*Ключевые слова:* гидрохимические показатели, Саратовское и Волгоградское водохранилища, пространственное распределение.

Е.А. Shashulovskaya, shash.elena2010@yandex.ru

*Russian Federal Research Institute for Fishery and Oceanography,  
Saratov Branch, Saratov, Russia*

## **HYDROCHEMICAL STUDIES OF THE LOWER VOLGA RESERVOIRS (BASED ON THE RESULTS OF THE TRANS-EUROPEAN EXPEDITION OF NIS "PROTEUS")**

Hydrochemical studies of the Saratov and Volgograd reservoirs were carried out in the autumn period of 2022. Spatial trends along the longitudinal axis of the values of total mineralization, basic ions, allochthonous organic matter, and mineral nitrogen were confirmed. The regularities of the distribution of phosphates and total iron have not been established. The largest amount of copper, manganese and mercury comes from the lower reaches of the Kuibyshev reservoir and the large industrial center of Saratov.

*Keywords:* hydrochemical indicators, Saratov and Volgograd reservoirs, spatial distribution.

### ***Введение***

Саратовское и Волгоградское водохранилища – одни из наиболее крупных водохранилищ Волжского каскада, расположенные в регионе с высокой численностью и плотностью городского населения и интенсивно развитой промышленностью. Исследуемые искусственные водоемы существенно различаются по морфометрическим и гидрологическим показателям. Целью исследования явилось получение гидрохимической информации в сжатый временной интервал в условиях осенней межени, характеризующейся снижением интенсивности биопродукционных процессов, отсутствием, в большинстве случаев, стратификации вследствие ветрового перемешивания, и отличающейся, как следствие, минимальными сезонными вариациями химических показателей.

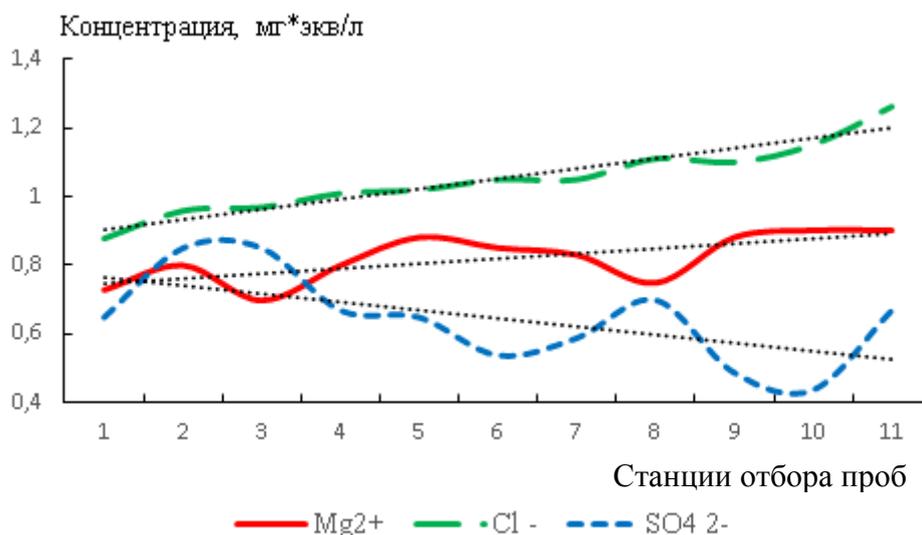
## *Материал и методы*

Материал для настоящей работы получен в результате трансъевропейской экспедиции ФГБНУ «ВНИРО» на НИС «Протей» с 22 по 27 сентября 2022 г. Отбор проб воды проводили на 3-х станциях Саратовского и 8-ми станциях Волгоградского водохранилищ. Пункты наблюдений были приурочены, в основном, к затопленному руслу Волги. Пробы воды отбирали с поверхностного и придонного горизонтов. Всего было проанализировано проб: 11 – на Саратовском, 32 – на Волгоградском водохранилищах. Прозрачность измеряли с помощью диска Секки. Реакцию среды (рН), содержание растворенного кислорода, главных ионов, органического вещества и биогенных элементов проводили по общепринятым методам титриметрического и фотометрического анализа. Концентрации кадмия, свинца, меди и марганца устанавливали методом атомно-абсорбционной спектроскопии, ртути – методом холодного пара, органического углерода – методом ИК-спектроскопии.

## *Результаты исследования*

Температура воды Саратовского водохранилища изменялась в интервале 16,4-19,0°C, максимальные значения отмечены в верхней зоне за счет поступления прогретой воды из глубоководного приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища. В Волгоградском водохранилище температура воды колебалась в пределах 14,3-18,5°C с максимальными значениями в нижней зоне. На русловых глубоководных участках отмечена небольшая температурная стратификация, достигающая 0,4-0,8°C. Прозрачность колебалась в одних пределах – от 2,1 до 3,3 м. Реакция среды близка к нейтральной. Содержание растворенного кислорода в воде Саратовского водохранилища фиксировали от 6,0 до 7,9 мг/л, Волгоградского – несколько выше в диапазоне 7,3-8,8 мг/л.

По общепринятой классификации вода Саратовского и Волгоградского водохранилищ средней минерализации. Преобладающие ионы – гидрокарбонаты и кальций, на долю которых приходится соответственно 29 и 26 %экв. Общая сумма солей в исследуемый период колебалась в интервале 323-403 мг/л, увеличиваясь по продольной оси рассматриваемых водоемов ( $R^2=0,76$ ). В осенний период 2022 г. от верхнего участка Саратовского водохранилища к нижнему участку Волгоградского возрастало содержание магния ( $R^2=0,50$ ) и хлоридов ( $R^2=0,92$ ). Одновременно отмечен отрицательный тренд сульфатов ( $R^2=0,37$ ) (рис. 1). Повышение минерализации, в первую очередь магния и хлоридов, может быть обусловлено усилением аридизации климата, а также увеличением доли подземных вод в питании водоемов [1].



**Рис. 1. Пространственное распределение ионов магния, хлоридов и сульфатов в Саратовском и Волгоградском водохранилищах**

(здесь и на рис. 2 станции отбора проб на Саратовском водохранилище:

1 – с. Зольное, 2 – с. Кашпир, 3 – с. Алексеевка; на Волгоградском: 4 – г. Вольск, 5 – с. Усовка, 6 – с. Усть-Курдюм, 7 – ниже г. Саратова, 8 – сс. Золотое-Ровное, 9 – с. Н. Добринка, 10 – с. Г.Балыклей, 11 – с. Дубовка.

Мелкая пунктирная линия – основная тенденция изменения показателя)

Для показателей содержания органического вещества (ОВ), в основном, отмечено снижение значений от верхнего участка Саратовского водохранилища к нижнему участку Волгоградского. По показателю цветности можно судить о количестве поступающих в водоем с водосбора окрашенных гуминовых веществ, поэтому он связан статистически с величиной перманганатной окисляемости (ПО), которая также характеризует в основном содержание аллохтонной органики ( $r=0,67$ , при  $p=0,02$ ). Для значений этих показателей зафиксирован отрицательный тренд по продольной оси каждого из водохранилищ ( $R^2=0,85-0,66$  при  $p=0,00$ ). Содержание органического углерода снижается по продольной оси исследованных водоемов ( $R^2=0,83$ ) в отличие от показателя ХПК, изменения которого происходили на одном уровне в интервале 27-33 мг/л. Концентрация легкоокисляемого ОВ (БПК<sub>5</sub>) незначительна (<0,5-2,5 мг/л). Интервалы колебания содержания ОВ по всем показателям невелики, что связано с осенним ветровым перемешиванием толщи воды.

Более высокие температуры воды в нижнем участке Волгоградского водохранилища (в районе сс. Н. Добринка – Дубовка) приводят к ускорению процессов минерализации, что проявляется в снижении по продольной оси значений показателей аллохтонной органики и органического углерода: чем выше температура, тем большая скорость окисления ОВ и тем интенсивнее жизнедеятельность микроорганизмов, разлагающих органику.

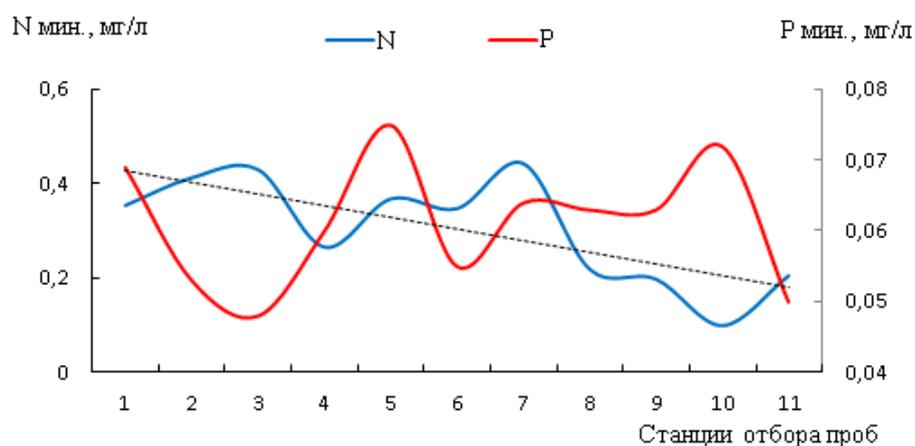
Колебания концентрации биогенных элементов в исследуемых водохранилищах происходили в одних пределах (таблица), в то же время их динамика по продольной оси имеет некоторые различия.

**Содержание некоторых элементов (min-max) в воде Саратовского и Волгоградского водохранилищ в сентябре 2022 г.**

Показатель	Водохранилища	
	Саратовское	Волгоградское
Азот аммония, мг/л	<0,04-0,18	<0,04-0,24
Азот нитритов, мг/л	<0,006	<0,006-0,012
Азот нитратов, мг/л	0,17-0,42	0,05-0,40
Фосфор фосфатов, мг/л	0,04-0,08	0,04-0,11
Железо общее, мг/л	0,18-0,25	0,14-0,25
Кремний, мг/л	2,8-3,3	1,8-4,4
Кадмий, мкг/л	<0,5	<0,5
Свинец, мкг/л	<1,0-5,0	<1,0-2,0
Медь, мкг/л	1,1-3,0	<1,0-5,2
Марганец, мкг/л	7-23	5-19
Ртуть общая, мкг/л	<0,010-0,023	<0,010

В Саратовском водохранилище содержание азота повышается от верхнего участка к нижнему, а фосфора, наоборот, понижается, что может свидетельствовать о преимущественном поступлении фосфатов из Куйбышевского водохранилища и накоплении азота вследствие минерализации ОВ (рис. 2). В Волгоградском водохранилище по продольной оси отмечены отрицательные тренды концентраций азотистых соединений. Нижний озерный участок Волгоградского водохранилища характеризовался повышенной температурой воды, которая могла способствовать более интенсивному развитию фитопланктона. Известно, что водоросли активно поглощают азот из воды в легкодоступной минеральной растворенной форме, тем самым уменьшая его содержание. В отличие от динамики азота содержание фосфора колеблется на одном уровне (см. рис. 2).

Концентрации железа общего достаточно равномерно распределены по продольной оси исследованных водоемов и колебались в одних пределах. Наибольшие изменения в содержании железа происходят на территории Верхней и Средней Волги. На Нижней Волге эти колебания сглаживаются и содержание железа мало изменяется по длине реки. Это связано с тем, что основную массу этого элемента вносят в Волгу притоки, впадающие, в основном, в ее верхнем и среднем течении [1].



**Рис. 2. Пространственное распределение азота и фосфора в воде Саратовского и Волгоградского водохранилищ**

На Саратовском водохранилище по продольной оси количество кремния достоверно увеличивается ( $R^2 = 0,87$ ), на Волгоградском – наблюдается слабый положительный тренд. Подобная тенденция накопления этого важного биогенного элемента по продольной оси, несмотря на «потребление» диатомовыми водорослями, определяется, вероятно, географической зональностью.

Максимальные концентрации меди и марганца фиксировали в районе с. Зольное, источником которых, очевидно, является расположенное выше Куйбышевское водохранилище, а также в районе влияния промышленного комплекса г. Саратова. Наиболее высокие концентрации общей ртути обнаружены в верхней зоне Саратовского водохранилища.

Таким образом, в результате гидрохимического исследования Саратовского и Волгоградского водохранилищ, проведенного в короткие сроки, выявлены специфичные пространственные положительные тренды общей минерализации, главным образом, за счет увеличения хлоридов в связи с аридизацией климата, а также снижение аллохтонного ОВ и минерального азота. Содержание минерального фосфора и общего железа достаточно равномерно распределено по акватории. Слабая положительная тенденция увеличения кремния определяется, вероятно, географической зональностью. Наибольшее количество меди, марганца и ртути поступает в нижеволжские водохранилища из вышерасположенных зон, а также от крупного промышленного центра г. Саратова.

### **Библиографический список**

1. *Зенин А.А.* Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. Л., Гидрометеиздат, 1965. 260 с.

Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, shash.elena2010@yandex.ru  
*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,  
Саратовский филиал, г. Саратов, Россия*

## **БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ НИЖНЕЙ ВОЛГИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА**

Показаны особенности динамики основных биогенных элементов в Саратовском и Волгоградском водохранилищах в период 2001-2020 гг. Пределы колебания концентраций биогенных элементов и их межгодовая динамика в Саратовском и Волгоградском водохранилищах очень близки. Последствиями климатической трансформации обусловлены установленные тренды: отрицательный – содержания аммонийного азота и положительный – общего железа. Изменения фосфатов и нитратов связаны с колебаниями индекса САК, являющегося маркером глобальных атмосферных процессов. Механизмы этого влияния требуют дальнейшего изучения. Динамика кремния не имеет выраженных закономерностей и не зависит от климатических изменений.

*Ключевые слова:* Саратовское и Волгоградское водохранилища, биогенные элементы, водный сток, индекс САК.

E.A. Shashulovskaya, S.A. Mosiyash, shash.elena2010@yandex.ru  
*Russian Federal Research Institute for Fishery and Oceanography,  
Saratov Branch, Saratov, Russia*

## **BIOGENIC ELEMENTS IN RESERVOIRS LOWER VOLGA OF THE XXI CENTURY**

The features of the dynamics of the main biogenic elements in the Saratov and Volgograd reservoirs in the period 2001-2020 are shown. The limits of fluctuations in the concentrations of biogenic elements and their interannual dynamics in the Saratov and Volgograd reservoirs are very close. The consequences of the climatic transformation are caused by the established trends: negative – the content of ammonium nitrogen and positive – total iron. Changes in phosphates and nitrates are associated with fluctuations in the SAC index, which is a marker of global atmospheric processes. The mechanisms of this influence require further study. The dynamics of silicon has no pronounced patterns and does not depend on climatic changes.

*Key words:* Saratov and Volgograd reservoirs, biogenic elements, water runoff, SAC index.

### ***Введение***

В многочисленных современных исследованиях с середины 70-80-х гг. прошлого века отмечается глобальная трансформация климата, проявлением которой является рост приземной температуры воздуха особенно в зимний период. Как следствие, происходит изменение гидрологического режима рек и водохранилищ, с которым тесно связана перестройка циклов биогенных элементов.

В связи с комплексным воздействием факторов среды на экосистемы водоемов в публикациях последних лет все большее внимание уделяется глобальным процессам. Наибольший интерес для климата России представляет североатлан-

тическое колебание (САК), как одна из важнейших характеристик крупномасштабной циркуляции атмосферы в северном полушарии. С динамикой САК согласуются изменения температуры воды и количества осадков на водосборной площади водоемов Европейской части РФ (ЕЧР) [1].

Изменение термического режима ускоряет процессы эвтрофирования водоемов, способствуя бурному развитию чувствительных к температуре цианобактерий, вызывающих «цветение» воды. Основными факторами развития и функционирования фитопланктона является обеспеченность клеток минеральным питанием, что обусловило актуальность цели нашей работы – исследования динамики биогенных элементов в водохранилищах Нижней Волги в условиях климатических изменений XXI в.

### ***Материал и методы исследования***

Работы проводили на Саратовском и Волгоградском водохранилищах в период 2001-2020 гг. в сезонном аспекте на русловых и прибрежных участках. Всего было отобрано и обработано более 2000 проб. Гидрохимический анализ выполнен по стандартным методикам, допущенным для целей государственного экологического контроля.

### ***Анализ результатов***

Большая часть акватории водохранилищ Нижней Волги находится в пределах одной географической зоны, что определяет сходство климатических и природных условий. В результате низкой боковой приточности гидрохимический режим исследуемых водоемов определяется поступлением ингредиентов с водным стоком из вышерасположенных водохранилищ каскада и внутриводоемными процессами. Саратовское водохранилище отличается от Волгоградского более интенсивным водообменом и, соответственно, более высокими скоростями течения. Водный сток Саратовского водохранилища влияет на гидрохимический режим Волгоградского водохранилища.

Начало XXI в. характеризуется увеличением средней за июль температуры воды в Саратовском и Волгоградском водохранилищах, ее прирост составил около 0,7-1,0°C соответственно.

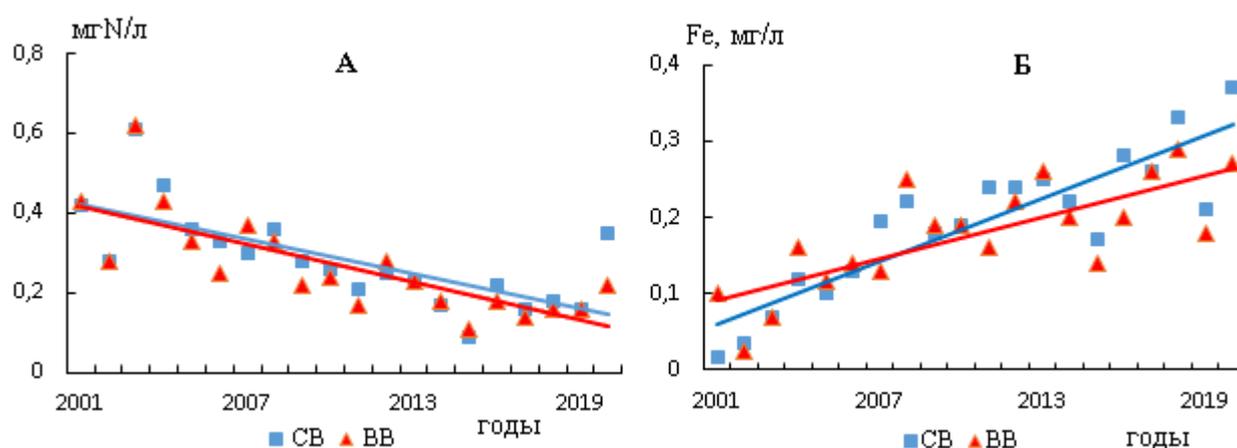
Внутригодовые изменения стока Саратовского и Волгоградского водохранилищ отражают общие тенденции для рек ЕЧР: его доля зимой увеличивается, а в половодье, наоборот, снижается. Колебания годового водного стока в период 2001-2020 гг. происходили в интервале 195-299 км<sup>3</sup>. В первое десятилетие отмечено снижение его объема ( $R^2 = 0,27-0,36$ ), с 2011 по 2020 гг. наметилась тенденция к увеличению ( $R^2 = 0,29$ ). Изменения годового стока Саратовского и Волгоградского водохранилищ за исследуемый период происходят согласованно с динамикой годового индекса САК.

Концентрации биогенных элементов за исследуемый период в двух водохранилищах очень близки (таблица), тенденции их изменения за последнее двадцатилетие позволили предположить определяющий фактор, влияющий на их среднесезонные величины, и прогнозировать дальнейшую динамику в связи с климатической трансформацией.

**Содержание биогенных элементов в воде Саратовского и Волгоградского водохранилищ в период 2001-2020 гг.**

Показатель	2001-2010 гг.		2011-2020 гг.	
	Саратовское водохранилище	Волгоградское водохранилище	Саратовское водохранилище	Волгоградское водохранилище
N-NH <sub>4</sub> , мг/л	0,38±0,04	0,34±0,04	0,19±0,02	0,18±0,02
N-NO <sub>2</sub> , мкг/л	12±2	15±2	19±4	17±3
N-NO <sub>3</sub> , мг/л	0,50±0,08	0,61±0,11	0,40±0,04	0,40±0,03
P-PO <sub>4</sub> , мг/л	0,054±0,004	0,056±0,004	0,048±0,006	0,051±0,005
Fe, мг/л	0,15±0,02	0,16±0,01	0,26±0,02	0,22±0,01
Si, мг/л	3,6±0,5	3,5±0,5	3,3±0,1	3,4±0,1

По результатам наших исследований в 2001-2020 гг. установлен достоверный отрицательный тренд средневегетационных концентраций аммония (рис.1А). Возможными причинами снижения содержания этого соединения могут быть более активное вовлечение азота в биогеохимические циклы и ускорение процессов денитрификации при повышении температуры с образованием газообразных форм, покидающих водную среду. Наблюдающийся повсеместно рост биомассы цианобактерий также может быть одной из причин снижения количества аммонийного азота, поскольку установлено, что *Cyanobacter* предпочтительнее усваивает минеральный азот в виде аммонийной формы [2]. На наш взгляд, ведущим фактором снижения концентрации этого соединения является, вероятно, уменьшение объема половодий и, соответственно, поверхностного стока. В то же время, увеличение количества оттепелей и жидких осадков в зимний период приводит к возрастанию объема вод, богатых гумусовым веществом с большим содержанием природного железа, поступающих из водохранилищ Верхней Волги и р. Камы [4]. В исследуемых водохранилищах отмечен достоверный положительный тренд этого элемента (рис. 1Б).

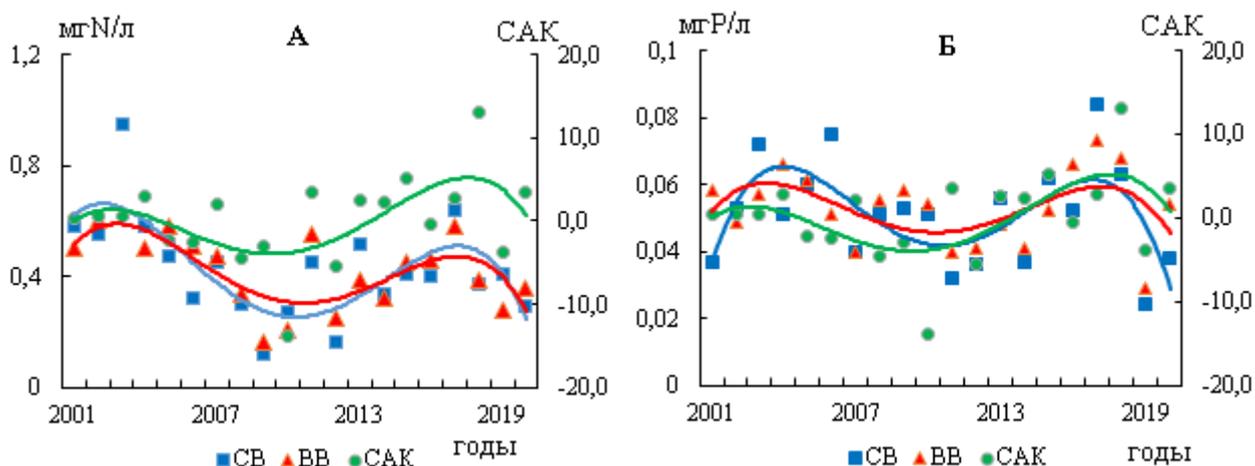


**Рис. 1. Динамика аммонийного азота (А) и общего железа (Б) в воде Саратовского (СВ) и Волгоградского (ВВ) водохранилищ в период 2001-2020 гг. (сплошные линии – линейные тренды изменения показателей)**

В последние десятилетия увеличение концентрации железа отмечается и в других водных объектах, расположенных на заболоченных территориях северных регионов мира, где с водосборных территорий в водотоки и водоемы также поступает большое количество органического вещества гумусовой природы.

Содержание нитритов в Волгоградском и Саратовском водохранилищах в рассматриваемые годы традиционно низкое, в единичных пробах наблюдали повышение содержания ингредиента, очевидно, в связи с локальным торможением процессов нитрификации.

Концентрации нитратов в двух водохранилищах колебались в одних пределах. Сезонная динамика ингредиента ярко выражена во все годы и характеризуется повышенными значениями весной за счет поступления с водосбора и снижением в летний период в результате потребления автотрофами. Имеет значение таксономическая специфичность водорослей в отношении поглощения разных форм неорганического азота. Экспериментально показано, что диатомовые водоросли предпочитают нитраты [3]. Тем не менее, на фоне снижения общей биомассы фитопланктона в Саратовском и Волгоградском водохранилищах [4] динамика нитратов характеризуется уменьшением среднесезонной концентрации только в первое десятилетие XXI века и тенденцией к увеличению в период 2011-2020 гг. (рис. 2А).



**Рис. 2.** Динамика индекса САК и содержание нитратов (А) и фосфатов (Б) в воде Саратовского (СВ) и Волгоградского (ВВ) водохранилищ в период 2001-2020 гг. (сплошные линии – полиномиальные тренды изменения показателей)

Изменения концентрации минерального фосфора находятся в тесной связи с гидрологическими условиями и интенсивностью протекания биопродукционных процессов. Ранее сделан вывод о преимущественно внутриводоемном происхождении фосфора [4]. В то же время в некоторые годы следствием уменьшения объема притока в половодье были пониженные концентрации фосфатов в течение всего вегетационного сезона.

Несмотря на то, что корреляционная связь между содержанием нитратов и фосфатов с величиной индекса САК не установлена, полиномиальное сглаживание их динамики в исследуемый период показывает согласованное изменение

трендов (рис. 2А, Б), что свидетельствует о влиянии глобальных факторов на динамику этих ингредиентов.

Из всех биогенных элементов наиболее стабильно содержание кремния (см. таблицу). Его концентрация колебалась в узких пределах, незначительное снижение наблюдали в период массового развития фитопланктона.

### **Выводы**

1. Пределы колебания содержания биогенных элементов и их межгодовая динамика в Саратовском и Волгоградском водохранилищах очень близки, что указывает на доминирование в их генезисе водного стока из вышерасположенных искусственных водоемов каскада.

2. Установленные тренды аммонийного азота (отрицательный) и общего железа (положительный) связаны с зимним потеплением, при котором уменьшается объем половодий и увеличивается зимний сток.

3. На динамику фосфатов и нитратов, очевидно, оказывают воздействие колебания индекса САК-маркера глобальных атмосферных процессов. Механизмы этого влияния требуют дальнейшего изучения.

4. Динамика кремния не имеет выраженных закономерностей и не зависит от климатических изменений.

5. В связи с продолжающимися изменениями климата в водохранилищах Нижней Волги можно ожидать дальнейшего уменьшения количества аммонийного азота и увеличения содержания общего железа, а также согласованной динамики нитратного азота и минерального фосфора с индексом САК.

### **Библиографический список**

1. *Минеева Н.М.* Содержание фотосинтетических пигментов в водохранилищах Верхней Волги (2005-2016 гг.) // Биология внутренних вод, 2019. № 2-1. С. 33-41.

2. *Erratt K.J., Creed I.F. and Trick C.G.* Comparative effects of ammonium, nitrate and urea on growth and photosynthetic efficiency of three bloom-forming cyanobacteria// Freshwater Biol., 2018. V.63. P. 626–638.

3. *Glibert P.M., Wilkerson F.P., Dugdale R.C. et al.* Pluses and minuses of ammonium and nitrate uptake and assimilation by phytoplankton and implications for productivity and community composition, with emphasis on nitrogen-enriched conditions // Limnol. Oceanogr., 2016. V. 61. № 1. P. 165–197.

4. *Shashulovskaya E. A., Mosiyash S. A. and Dalechina I. N.* Long-Term Changes in the Main Indicators of the Trophic State of the Large Plain Reservoir under the Influence of Climatic Transformation and Successional Processes// Inland Water Biology, 2021. Vol. 14. № 6. P. 627–637.

С.В. Ясинский, Е.А. Кашутина, М.В. Сидорова, [yasisergej@yandex.ru](mailto:yasisergej@yandex.ru)  
*Институт географии РАН, г. Москва, Россия*

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Представлен обзор современных представлений о сущности и специфике диффузного (рассеянного) загрязнения водных объектов. Формирование, перемещение и трансформация водных потоков, образующихся на водосборах в периоды снеготаяния и выпадения интенсивных дождевых осадков, насыщенных растворенными и взвешенными веществами, – сложный многомерный процесс, распределенный по территории водосбора. Диффузное загрязнение водных объектов, формирующееся на различных типах подстилающей поверхности водосборов, не регистрируется и не регулируется ни одним государственным водохозяйственным или природоохранным ведомством. Основными причинами этого является неопределенность потребителя диффузного стока, сложность организации его мониторинга, неполное понимание государственными водохозяйственными органами его ключевой роли в загрязнении водных объектов из-за недостаточной научной изученности проблемы в России. Выполнен обзор современных моделей, разработанных как в России, так и за рубежом, используемых для расчета выноса загрязняющих веществ в водные объекты с использованием ГИС-технологий и развитых баз данных. Приведены примеры работ Института географии РАН в области моделирования диффузного загрязнения в бассейне Чебоксарского водохранилища по программе «Оздоровление Волги».

*Ключевые слова:* диффузное загрязнение, малые реки, городская водная среда, моделирование, перенос загрязнений с микрочастицами.

S. Yasinskii, E. Kashutina, M. Sidorova, [yasisergej@yandex.ru](mailto:yasisergej@yandex.ru)  
*Institute of Geography of RAS, Moscow, Russia*

## **THE CURRENT STATUS OF THE PROBLEM OF ASSESSING THE CHARACTERISTICS OF DIFFUSE POLLUTION OF WATER BODIES IN PLAIN AREAS**

An overview of modern ideas about the nature and specificity of diffuse (non-point) water pollution is presented. The formation, movement and transformation of water flows from catchments during snowmelts and heavy rainfall, saturated with dissolved and suspended substances, is a complex multi-dimensional process distributed over the catchment area. Diffuse water pollution from different types of sub-catchments is neither recorded nor regulated by any government water or environmental agency. The main reasons for this are the uncertainty of the consumer of diffuse run-off, the complexity of organizing its monitoring, the incomplete understanding by the state water management authorities of its key role in the pollution of water bodies due to insufficient scientific research of the problem in Russia. A review of modern models developed both in Russia and abroad, used to calculate the discharge of pollutants into water bodies using GIS technologies and developed databases, has been carried out. Examples of the work of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences in the field of modelling diffuse pollution in the basin of the Cheboksary reservoir under the program «Rehabilitation of the Volga River» are given.

*Keywords:* diffuse pollution, small rivers, urban water environment, modelling, transport of pollutants with microparticles.

## ***Введение***

Одной из наименее изученных проблем в гидрологии, водном хозяйстве и в целом – науках о Земле, является описание и формализация процессов формирования диффузного (рассеянного и никем не контролируемого) загрязнения водных объектов [4;15;20]. Именно с ним связывают отсутствие кардинального улучшения состояния водных объектов после значительного сокращения поступления загрязняющих веществ (ЗВ) со сточными водами предприятий (контролируемое государственной водохозяйственной статистикой так называемое точечное загрязнение) в результате спада промышленного производства в 1990-х годах в России.

В мире, в зависимости от степени очистки сбросов от точечных источников, с диффузным загрязнением связано до 60 и более процентов поступления ЗВ в водные объекты [4]. На Русской равнине, да и в других регионах России, практически не осталось территорий, не преобразованных той или иной хозяйственной деятельностью. А перенос ЗВ от антропогенных источников по воздуху и сухое и влажное (с осадками) их осаждение из атмосферы затрагивает практически всю поверхность Земли. В периоды весеннего снеготаяния и выпадения обильных осадков в теплый период года на водосборах рек, озер, водохранилищ формируются потоки воды, насыщенные растворенными и взвешенными ЗВ, которые через гидрографическую сеть поступают в эти водные объекты и в значительной степени обуславливают качество воды в них и их экологическое состояние.

В отличие от водных ресурсов, аккумулированных в водных объектах, потоки воды и других веществ в разных формах, образующиеся на водосборах, не регистрируются и не регулируются ни одним государственным водохозяйственным или природоохранным ведомством. Недостаточное внимание к этому виду водных ресурсов со стороны государственных органов управления обусловлено, в первую очередь, как неопределенностью потребителя этих водных ресурсов, так и их рассредоточенностью и дискретностью в пространстве и во времени, что определяет трудности организации мониторинга.

Формирование и перемещение водных потоков, образующихся на водосборах в периоды снеготаяния и выпадения интенсивных дождевых осадков, насыщенных растворенными и взвешенными веществами, – процесс, распределенный по территории водосбора. Он охватывает неоднородную по вертикали толщу почвогрунтов, от поверхности склонов до подземных вод, в зависимости от глубины дренирования водным объектом [5]. Число действующих горизонтов в формировании стока веществ с водосбора определяется геологическим и геоморфологическим строением территории, особенностями ее почвенно-растительного покрова, метеоусловиями сезона, а также антропогенными трансформациями территории, приводящими к изменениям естественных путей стока воды и вещества с водосбора. К последнему фактору относятся: распашка и мелиорация земель, в том числе лесомелиорация; орошение; создание непроницаемых поверхностей: дорог, крыш, промышленных площадок; создание ливневой канали-

зации, ускоряющей сток с водосбора; прокладка туннелей; добыча полезных ископаемых шахтным и карьерным методами и пр. На каждом из уровней процесс формирования стока неоднороден в пространстве и во времени.

В самых общих чертах *процесс формирования диффузного загрязнения на водосборах* происходит по алгоритму: 1. Формирование поверхностного склонового, внутрипочвенного и подземного стока; 2. Эрозия почвы, как следствие размыва верхних ее слоев талым и/или дождевым склоновым стоком; 3. Насыщение потоков воды ЗВ, содержащимися в снежном покрове, осадках, растительном покрове, в почвенном профиле и грунтах, и их адсорбции на частицах смытых наносов.

Гидролого-геохимические процессы на водосборах зависят от многих факторов. Наиболее важными из них являются метеорологические условия, такие как высота снежного покрова и запасы воды в нём на начало снеготаяния, интенсивность снеготаяния и выпадения жидких осадков. Значения этих параметров не остаются постоянными. В результате глобальных и региональных изменений климата во многих регионах России в последние десятилетия произошли существенные изменения структуры гидрологического цикла водосборов [3;16].

Другим не менее важным фактором, обуславливающим динамику и интенсивность этих процессов, является структура землепользования, сложившаяся на водосборах – площадь и расположение на водосборах угодий с разными видами подстилающей поверхности, являющихся источниками поступления ЗВ из верхних слоев почвы; за счет вноса удобрений, разведения скота, попадания на водосбор отходов человеческой жизнедеятельности, промышленного производства и др. Наиболее остро проблема оценки объема и состава ЗВ при диффузном загрязнении водных объектов существуют для урбанизированных территорий России. Это вызвано отсутствием геоэкологического мониторинга даже в крупных городах РФ. Последствия современной урбанизации оказывают существенное влияние на изменение структуры гидрологического и геохимических циклов водосборов водных объектов. Именно для территорий городов характерен самый значительный антропогенный прессинг на все компоненты окружающей среды: воздух, почвогрунты, поверхностные и подземные воды; определяющий как степень трансформации их физических свойств, так и объемы и расширенную, по сравнению с неурбанизированными территориями, номенклатуру ЗВ [6-7,12]. Несмотря на то, что в каждом крупном городе организована ливневая канализация, талые и дождевые воды, сформированные на территории городов, насыщенные взвесью растворенных и взвешенных химических веществ, без очистки поступают в водные объекты.

В крупных городах, расположенных в бассейне Волги, сток из ливневой канализации напрямую, практически без очистки, поступает в малые реки городов и со стоком этих рек в водохранилища Волжско – Камского каскада. Ни объемы этого стока, ни массы выноса ЗВ в разные по водности годы, ни их влияние на качество воды этих рек и водохранилищ, принимающих сток от городских источников загрязнения – не известны, в связи с практически полным отсутствием гидрологических постов и данных о показателях химического состава воды городских водных объектов.

Не известна также *роль микрочастиц*, в том числе, микропластика, обладающих высокой способностью к адсорбции и *переносу ЗВ* из-за большой удельной площади поверхности, в загрязнении водных объектов. Отсутствие современного гидролого-геохимического мониторинга в городах не позволяет научно обоснованно управлять городским хозяйством, в том числе в наиболее сложный зимне-весенний период года, реализовывать природоохранную политику и прогнозировать ее эффективность для улучшения качества окружающей среды и жизни населения в городах. Такой мониторинг должен включать контроль метеорологического режима в разных частях крупного города, гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов малых рек, озер и других водных объектов в черте города, периодический анализ проб почвы и растительности для определения степени накопления в них вредных веществ, осуществлять постоянные наблюдения за снежным покровом и его химическим составом, как источника пополнения водой и загрязнения водных объектов городов и тех водоемов, куда стекают воды, формирующиеся на территории этих урбанизированных территорий в весенний период. Важным этапом такого мониторинга является организация сбора, хранения, обработки, анализа и обобщения полученных данных, наиболее перспективным методом которого является создание региональных ГИС – систем.

### *Материалы и методы исследования*

К настоящему времени разработано большое число динамических и динамико-стохастических моделей, достаточно полно и с высокой точностью описывающих процессы формирования гидрологических процессов, в том числе и различных видов стока на водосборах водных объектов [2; 8; 13; 23]. Что касается эрозии почвы, то наиболее известное универсальное уравнение эрозии почвы (USLE) и его модификации применимы только для оценки средней многолетней величины дождевой эрозии [18].

Дождевой склоновый сток возникает достаточно редко в летний период, в основном на площади гидрографической сети, хотя, конечно, при выпадении сильных осадков, склоновая эрозия особенно в южных районах страны, может быть весьма значительной. Модели, позволяющие оценивать эрозию почвы за многолетний период, достаточно сложные и требуют наличия специфической информации об объекте исследования. Поэтому вопрос их применимости в задачах оценки эрозии почвы при расчетах характеристик выноса ЗВ с водосбора требует дополнительных специальных исследований и разработки модели этого процесса, адекватно отражающей его сущность.

В этой связи в настоящее время предпочтение отдается хорошо известным эмпирическим зависимостям  $\Delta=f(Y)$ , где  $\Delta$  – слой смытой почвы (мм);  $Y$  – слой стока (мм) [1; 22]. Что касается оценки концентрации биогенных элементов в склоновом стоке и в смытой водными потоками почве, то одна из первых таких методик их расчета для сельскохозяйственных полей была разработана еще в середине 80-х годов прошлого века в СССР [19]. Практическое применение этой методики было сделано при использовании физико-математической модели, поз-

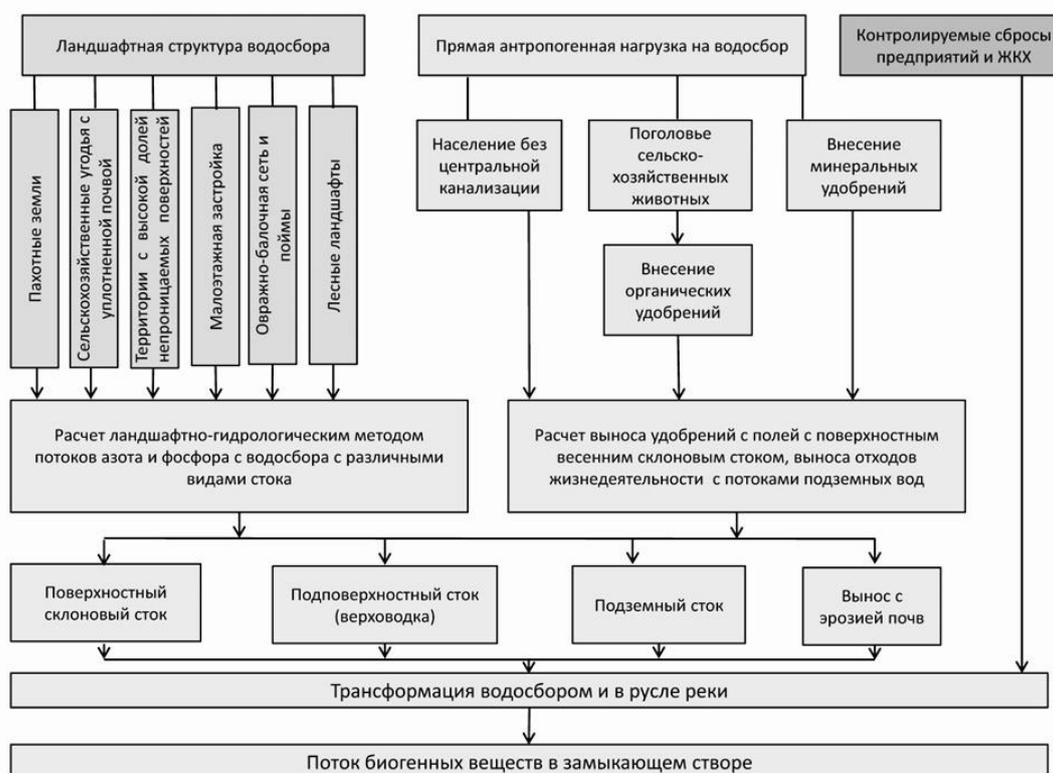
воляющей рассчитывать вынос биогенных элементов (N, P и K, кг) с поверхностным жидким стоком и стоком наносов с водосбора р. Велесы (бассейн Западной Двины) в зависимости от уклона склонов и других геоморфологических характеристик [10-11]. Для расчета стока биогенных элементов в одной из последних моделей выноса биогенных элементов, разработанных за рубежом, является модель SWAT, предназначенная для Службы сельскохозяйственных исследований США и используемая в 13 европейских странах [24]. В ней используются эмпирические зависимости между расходом воды, стоком наносов и концентрациями химических элементов.

В наиболее полной динамико-стохастической модели Института озероведения РАН (IL\_LM) для оценки значений концентрации биогенных элементов-общего азота и общего фосфора используются результаты натуральных исследований по содержанию растворенных примесей в почвенной воде или первичной ручейковой сети [8]. Для оценки выноса биогенных элементов, адсорбированных на частицах смытых наносов используется изотерма Фрейндлиха и ее модификации [14]. Вынос ЗВ с *городской территории* во многом обусловлен процессом их накопления между выпадением стокоформирующих ливневых осадков. Чем больше времени прошло с момента выпадения последних осадков, тем больше пыли, мусора и связанных с ними ЗВ аккумулировалось на улицах, тротуарах и крышах домов.

Для описания названных процессов предложен *модельный подход*, получившая название «*накопление/смыв*» («*Buildup/Washoff*»), согласно которому на урбанизированной (селитебной) территории накопление ЗВ происходит пропорционально времени, отделяющему момент расчёта от последнего стокового события [25-28]. Модели типа «накопление/смыв» стали использоваться при решении задач моделирования качества воды урбанизированных территорий с конца семидесятых годов прошлого века. Со временем акценты развития рассматриваемого научного направления и совершенствования соответствующего математического аппарата сместились в сторону создания масштабных модельных ГИС-ориентированных комплексов для решения инженерных задач водоотведения с городских территории. Крупнейшей европейской разработкой в указанном направлении является модель MIKE URBAN, входящая в семейство моделей MIKE1. Сложность процессов формирования и трансформации стока воды и связанных с ним веществ в различных геосистемах (лесах, сельскохозяйственных полях с разным видом подстилающей поверхности, селитебных территориях и других) и на водосборах и отсутствие мониторинга привели к тому, что до настоящего времени в России нет официально утвержденных методов расчета диффузного стока ЗВ. Именно поэтому для оценки объемов воды и разнообразных ЗВ, поступающих с водосборов в водные объекты, используются расчетные методы, разработанные на основе специально поставленных полевых экспериментов [8-9; 12;17; 21].

## Анализ результатов

В новой версии *полуэмпирической ландшафтно-гидрологической модели Института географии РАН (ЛГМ ИГРАН)* для каждого типа подстилающей поверхности, находящегося на водосборе, включая овражно-балочную сеть, осуществляется расчет весеннего склонового стока по связям с речным стоком весеннего половодья, подповерхностного стока («верховодки»), подземного стока, эрозии почвы по связям с величиной склонового стока и выноса с этими видами стока биогенных элементов, путем задания их концентраций, полученных по экспериментальным и литературным данным [29]. Концентрация этих элементов в смытой талыми водами почве задается либо по данным агрохимических анализов верхних слоев почвы, либо по данным Единого Государственного реестра почвенных ресурсов России. Предполагается, что в остальные периоды годы вынос этих веществ осуществляется только подземным стоком, величина которого рассчитывается путем расчленения гидрографов речного стока, а концентрация этих веществ задается по данным химического анализа проб, отобранных в зимний период, с их корректировкой по литературным источникам. В модели учитываются данные водохозяйственной статистики (форма отчетности 2-ТП (водхоз)) о сбросах предприятий. Учитывается прямое антропогенное воздействие на водосбор – поступление биогенных веществ, связанных с деятельностью человека. В текущей версии ЛГМ это внесение на сельскохозяйственные поля минеральных и органических удобрений, а также попадание неочищенных отходов жизнедеятельности населения в водную среду (рис. 1).



**Рис. 1. Блок – схема Ландшафтно – гидрологической модели (ЛГМ) Института географии РАН**

Новая версия ЛГМ использовалась в работах Института географии РАН по программе «Оздоровление Волги» в том числе для оценки: суммарных потоков биогенных элементов, поступающих в Чебоксарское водохранилище, с его местного водосбора (площадь 130000 км<sup>2</sup>) и с водосборов его притоков разных порядков, роли диффузных и точечных контролируемых источников, вклада природных и антропогенных факторов (ландшафтной структуры и прямого антропогенного воздействия), роли поверхностного склонового и подземного стока, эрозии на водосборе и стока наносов в переносе ЗВ. Некоторые результаты применения ЛГМ приведены на рисунке 2.

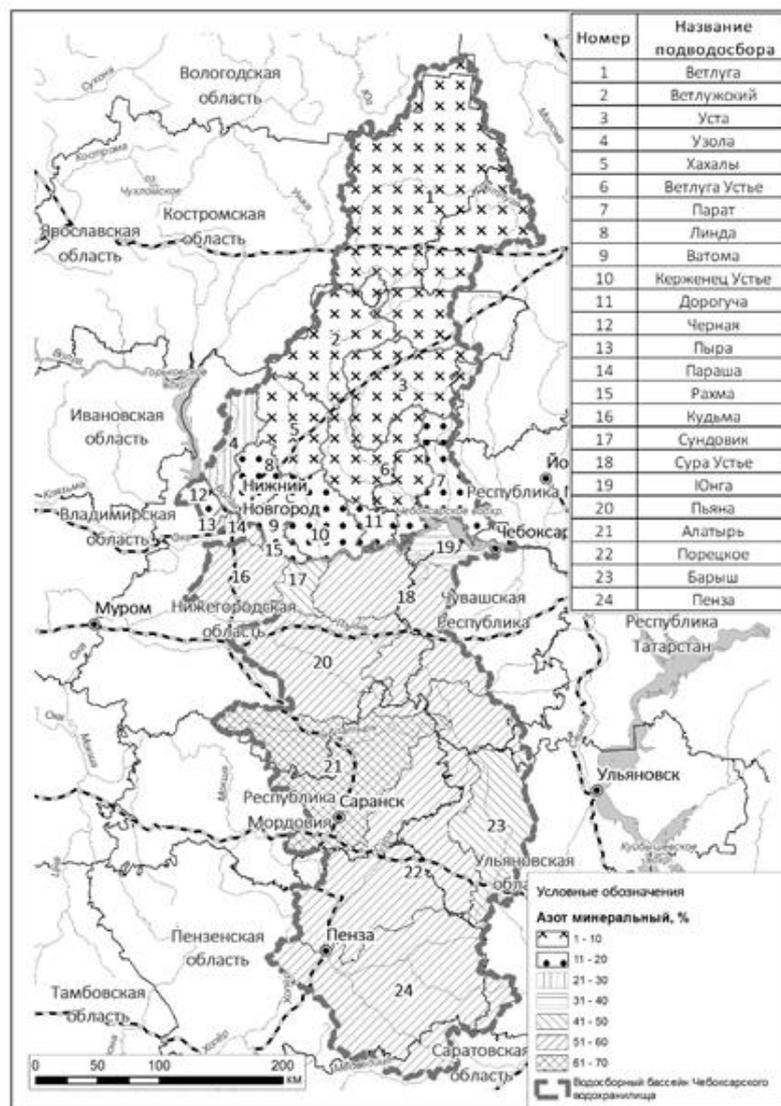


Рис. 2 Вынос азота минерального с водосборов притоков Чебоксарского водохранилища

### Выводы

Современный этап развития методов расчетов выноса ЗВ веществ с водосбора в водные объекты основывается на разработке нового поколения моделей

гидрологического цикла с использованием ГИС-технологий и развитых баз данных. Эти модели используются для описания процессов цикла, протекающих в разных временных масштабах и для водосборов разных пространственных размеров. Одновременно с этим осуществляется разработка моделей талой и дождевой водной эрозии почвы. Разработка гидрологических моделей, моделей водной эрозии и выноса химических веществ ведется в настоящее время параллельно, и они не всегда сочетаются друг с другом в решении задач, связанных с оценкой выноса ЗВ. Несомненно, что в ближайшем будущем, на основе внедрения современных систем мониторинга, произойдет устранение эклектичности подхода к проблеме оценки выноса ЗВ с водосбора путем разработки некоторых обобщенных моделей и/или комплекса моделей формирования гидролого-геохимических процессов на водосборах. Они позволят рассчитывать не только их характеристики, но и параметры потоков ЗВ, поступающих с водосбора и обуславливающих качество воды водных объектов.

*Работа выполнена в рамках реализации и при поддержке грантов РФФ 22-17-00224 «Формирование гидролого-геохимических процессов на водосборах каскадов Верхне-Волжских и Камских водохранилищ при различных сценариях землепользования и изменениях климата на их территориях» (разделы, связанные с формированием диффузного загрязнения, методические подходы), РФФИ № 19-05-50082 Микромир «Диффузный перенос микрочастицами загрязняющих веществ с территории крупного города в водные объекты бассейна Волги (на примере Нижнего Новгорода)» (разделы, связанные с формированием загрязнения в условиях городов и переносом загрязнений в разных фазах), а также в рамках Государственного задания FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8) – состояние вопроса оценки диффузного загрязнения, методические подходы.*

### **Библиографический список**

1. Бобровицкая Н.Н. Исследование и расчет смыва почвы со склонов. // Сб. работ по гидрол. № 12. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 93-99.
2. Гусев Е.М., Насонова О.Н. Моделирование тепло-и влагообмена поверхности суши с атмосферой. М.: Наука, 2010. 328 с.
3. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Рец Е.П., Сафронова Т.И., Бугров А.А., Телегина А.А., Телегина Е.А. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод европейской части России: формирование, распределение, использование. М.: Геос, 2015. 320 с.
4. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения / Научный руководитель: В.И. Данилов-Данильян. Москва, Российская академия наук, Институт водных проблем РАН, 2020. 512 с.
5. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Гидрологическая ярусность равнинной территории // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2010. № 1. С. 7-25.

6. Дрютина 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.
7. Зиновьев А.Т., Папина Т.С., Кудишин А.В., Ловцкая О.В., Дьяченко А.В., Марусин К.В., Носкова Т.В. Экспериментальные исследования и моделирование качества воды для оценки влияния диффузного стока с урбанизированных территорий // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Москва: Студия Ф1, 2019. С.359-365.
8. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор – водоток – водоем. С-Пб.: Нестор – История, 2019. 248 с.
9. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб. 2007. 255 с.
10. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели. Барнаул: День, 2000. 131 с.
11. Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: РАН, 2018. 300 с.
12. Назаров Н.А. Оценки эрозионного смыва почв и выноса биогенных элементов с поверхностным стоком талых и дождевых вод в речном бассейне // Водные ресурсы. 1996. Т 23. № 6. С. 645-652.
13. Назаров Н.А., Леонов А.В. Моделирование водного и биогеохимического циклов лесного бассейна в течение года. // Водные ресурсы. 1999. Т.26. № 1. С. 53-47.
14. Фацевская Т.Б., Полянин В.О., Кирпичникова Н.В. Диффузное загрязнение водных объектов: источники, мониторинг, водоохранные мероприятия. Москва, 2020. 171 с.
15. Фацевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г., Алгушаева А.В. Гидролого – гидрохимические модели формирования диффузного загрязнения. // Диффузное загрязнение водных объектов: Проблемы и решения. Коллективная монография под рук. В.И. Данилова – Данильяна. М.: ИВП РАН.2020а. С.102 -125.
16. Фролов А.В., Георгиевский В.Ю. Изменения водных ресурсов в условиях потепления климата и их влияние на приток к крупным водохранилищам России // Метеорология и гидрология. 2018. № 6. С. 67-76.
17. Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 279 с.
18. Чалов Р.С. Речные наносы в эрозионно – русловых системах. Автореферат д.г.н. М.: Изд – во МГУ, 2021. 50 с.
19. Чуян Г.А., Бойченко З.А., Тур О.П. Методические рекомендации по оценке выноса биогенных веществ поверхностным стоком. М.: ВАСХНИЛ, 1985. 32 с.
20. Ясинский С.В., Вишневская И.А., Веницианов Е.В. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 2. С.232 -244.

21. Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыков А.Н. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С.630 – 648.

22. Ясинский С.В., Гуров Ф.Н., Шилькрот Г.С. Метод оценки выноса биогенных элементов в овражно – балочную и речную сеть малой реки // Известия РАН Сер. географ. 2007. № 4. С.44 – 53.

23. Ясинский С.В., Гусев Е.М. Динамико-стохастическое моделирование процессов формирования весеннего склонового стока на малых водосборах // Почвоведение. 2003. № 7. С.847-861.

24. Arheimer B., Olsson J. Integration and Coupling of Hydrological Models with Water Quality Models: Application in Europe. Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). 2003. 53 p.

25. Gander W. Buildup/Washoff Model for Dissolved Iron in Stormwater Run-off. University of New Orleans, 5-18-2007. 73 p.

26. Shaw, S.B., Stedinger, J.R., Walter, M.T. Evaluating urban pollutant buildup/wash-off models using a Madison, Wisconsin catchment // Journal of Environmental Engineering. 2010 (136). P.194-203.

27. Chen, J., Adams, B.J. Analytical urban storm water quality models based on pollutant buildup and washoff processes // Journal of Environmental engineering. 2006 (132). P. 1314-1330.

28. Wang L., Wei J., Huang Y., Wang G., Maqsood I. Urban nonpoint source pollution buildup and washoff models for simulating storm runoff quality in the Los Angeles County // Environmental Pollution. 2011 (159). P. 1932 -1940.

29. Yasinsky S.V., Koronkevich N.I., Kashutina E.A., Sidorova M.V., Narykov A.N. Diffuse biogenic pollution of water bodies in the Volga river basin-example of Cheboksary reservoir basin // Water Resources Management: Methods, Applications and Challenges. 2020. P. 123- 152.

# ГИДРОБИОЛОГИЯ И ИХТИОЛОГИЯ

УДК 574:583

П.Г. Беляева, belyaeva@psu.ru

Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН филиал ПФИЦ УрО РАН,  
г. Пермь, Россия

Пермский филиал Всероссийского научно-исследовательского института  
рыбного хозяйства и океанографии, г. Пермь, Россия

## СОСТАВ И СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2017–2022 ГОДАХ

В 2017–2022 гг. фитопланктон Воткинского водохранилища представлен 417 видами, разновидностями и формами водорослей из 9 отделов. Более разнообразны диатомовые и зеленые (65% альгофлоры). Доминантный комплекс включает представителей различных отделов водорослей: по численности – *Aphanizomenon flos-aqua*, *Planktolyngbya limnetica* и виды родов *Microcystis*, *Anathece*, *Aphanocapsa* (цианопрокариоты); по биомассе – *Aulacoseira granulata* и *Actinocyclus normanii* из диатомовых, а также *Cryptomonas* spp. (криптофитовые) и *Peridinium* spp. (динофитовые). Средние значения численности фитопланктона за исследованный период составляли  $87,2 \pm 26,3$  млн кл./л; биомассы –  $10,5 \pm 3,1$  мг/л. Индекс сапробности Пантле-Букка ( $2,07 \pm 0,02$ ) характеризует воды как умеренно загрязненные ( $\beta$ -мезосапробная зона, 3ий класс качества).

*Ключевые слова:* фитопланктон, водоросли, видовое богатство, численность, биомасса, доминирующие виды, Воткинское водохранилище.

P.G. Belyaeva, belyaeva@psu.ru

Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of RAS, Perm, Russia  
Perm branch of VNIRO, Perm, Russia

## COMPOSITION AND STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON OF THE KAMA AND VOTKINSK RESERVOIRS IN SUMMER

The composition plankton algae of the Votkinsk reservoir represented by 417 species of algae from 9 divisions in 2017-2022. Bacillariophyta and Chlorophyta are more diverse (65% of algal flora). The dominant complex includes representatives of various divisions of algae: of abundance – *Aphanizomenon flos-aqua*, *Planktolyngbya limnetica* and species of the genera *Microcystis*, *Anathece*, *Aphanocapsa* (Cyanoprokaryota); biomass – *Aulacoseira granulata* and *Actinocyclus normanii* from Bacillariophyta, as well as *Cryptomonas* spp. (Cryptophyta) and *Peridinium* spp. (Dinophyta). The average values of phytoplankton abundance for the studied period were  $87.2 \pm 26.3$  million cells·l<sup>-1</sup>; biomass –  $10.5 \pm 3.1$  mg·l<sup>-1</sup>. The saprobity index Pantle-Bucca ( $2.07 \pm 0.02$ ) characterizing the waters as moderately polluted ( $\beta$ -mesosaprobic zone).

*Keywords:* phytoplankton, algae, specific riches, number, biomass, dominant species, reservoir, Votkinsk reservoir.

### **Введение**

Изучение временной динамики биологических сообществ – одна из основных задач экологии, тесно связанная с закономерностями формирования структуры биоценозов, биологическим разнообразием, разработкой подходов по определению качества среды методами биоиндикации. Видовой состав и структура

фитопланктона – важные показатели состояния водных экосистем, т.к. водоросли быстро реагируют на нарушение биологического равновесия и являются хорошими индикаторами состояния водных объектов [1]. Целью настоящей работы – оценка современного состояния Воткинского водохранилища по фитопланктону.

### **Материалы и методы**

Характеристика Воткинского водохранилища приведена ранее в работах [2;3]. В данном исследовании обсуждается фитопланктон Камского плеса Воткинского водохранилища (2017–2022 гг.). Отбор проб объемом 1–1,5 л осуществляли батометром на 7 гидробиологических поперечных разрезах (левый берег, русло, правый берег). Пробы фитопланктона отбирали, фиксировали и концентрировали стандартными методами [4]. Учет водорослей проводили в камере “Учинская” объемом 0,01 мл, биомассу определяли счетно-объемным методом. К доминирующим, отнесены виды, численность и биомасса которых  $\geq 10\%$  от общей. Качество воды оценивали по биомассе фитопланктона [5] и по индексу сапробности Пантле-Букка в модификации Сладечека [7], индикаторная значимость видов дана по спискам Марвана [6].

### **Результаты и обсуждение**

История изучения фитопланктона до зарегулирования р. Кама (на соответствующей водохранилищу акватории) и Воткинского водохранилища рассмотрена нами ранее [2;3].

Всего за период исследования выявлено 413 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 151 роду, 75 семействам, 41 порядку. С 2017 по 2022 год список видов включал ежегодно от 172 до 301 видов, разновидностей и форм водорослей из 9 отделов (табл. 1), с преобладанием диатомовых. В августе 2017–2019 гг. богатство видов фитопланктона было в 1,4 раза ниже, что связано с массовым развитием цианопрокариот.

Диатомовые водоросли представлены в основном планктонными видами родов *Aulacoseira* Thwaites, *Cyclotella* (Kütz.) Bréb., *Stephanodiscus* Ehr., *Fragilaria* Lyngb. и значительно реже бентосными представителями родов *Navicula* Bory de S.V. и *Nitzschia* Has.

Зеленые водоросли, преимущественно хлорококковые (*Monoraphidium* Komárková-Legnerová, *Oocystis* Nägeli ex A.Braun, *Crucigenia* Morren, *Coelastrum* Nägeli, *Pediastrum* Meyen, *Scenedesmus* Meyen, *Desmodesmus* (R. Chodat) S.S.An, T.Friedl et E.Hegewald,) и в меньшей степени вольвоксовые (*Chlamidomonas* Ehr, *Pandorina* Bory de S.V.) разнообразнее в июле (2020–2022 гг.). Богатство видов этого отдела сопоставимо со времени образования Воткинского водохранилища и до настоящего времени.

Стрептофитовые водоросли представлены родами *Cosmarium* Corda ex Ralfs, *Closterium* Nitzsch ex Ralfs и *Staurastrum* Meyen ex Ralfs.

Цианопрокариота (Cyanophyta, Cyanobacteria) включают *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Born. et Flah., *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *M. viridis* (A.Braun in Rabenh.) Lemm., *M. wesenbergii* (Komárek) Komárek in Kondrateva, и

мелкоклеточные *Aphanocapsa incerta* (Lemm.) G.Cronberg & Komárek., *Aphanocapsa delicatissima* West & G.S.West., *A. holsatica* (Lemm.) G.Cronb. & Komárek, *A. incerta* (Lemm.) G.Cronb. & Komárek, *Anathece bachmannii* (Komárek & Cronb.) Komárek, Kastovsky & Jezberová, *A. clathrata* West & G.S.West, *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Komárk.-Legnerová & Cronb.

По сравнению с предыдущим (2010–2016 гг.) периодом изучения в фитопланктоне произошло увеличение видового богатства Chrysophyta (практически в 2 раза). Увеличилось число представителей родов *Chromulina* Cienkowsky, *Ochromonas* Vysotskii, *Synura* Ehrenb., *Uroglena* Ehrenb., *Kephyrion* Pascher, *Pseudokephyrion* Pascher.

Также в современном фитопланктоне Воткинского водохранилища возросло число представителей Euglenophyta (в 2 раза), за счет представителей родов *Trachelomonas* Ehr., *Strombomonas* Deflandre, *Phacus* Dujardin, *Euglena* Ehrenb., *Lepocinclis* Perty.

Xanthophyta представлены двумя видами рода *Tribonema* Derbès & Solier, встречающимися в 30% проб в верхнем районе водохранилища.

Малое число видов характерно для Dinophyta и Cryptophyta (табл. 1).

Таблица 1

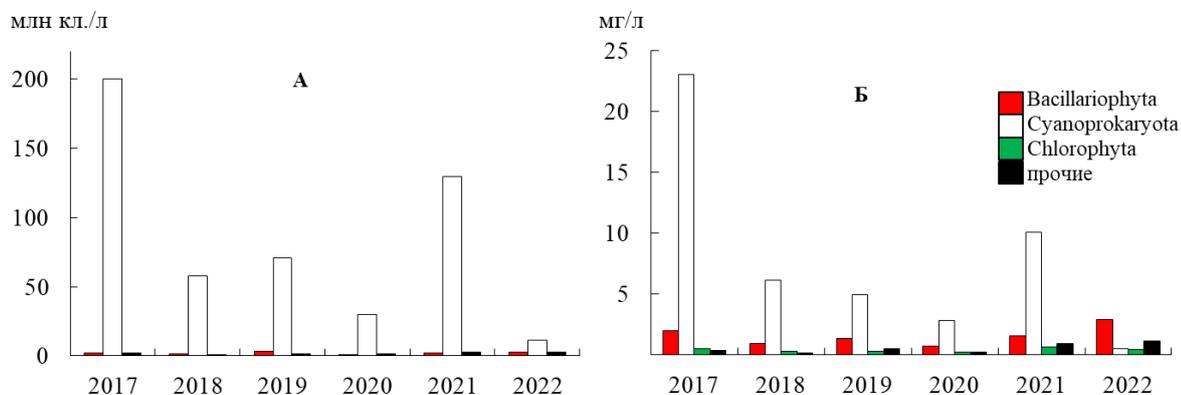
**Многолетние изменения таксономического состава фитопланктона  
Воткинского водохранилища**

Отдел водорослей	2017, VIII	2018, VIII	2019, VIII	2020, VII	2021, VII	2022, VII
Суанопрокарьюта	20	20	31	21	58	40
Chrysophyta	19	12	16	18	32	40
Bacillariophyta	62	61	71	76	91	78
Xanthophyta	0	2	1	0	0	0
Cryptophyta	3	3	3	2	4	4
Dinophyta	6	5	8	7	10	9
Raphidophyta	1	1	1	1	1	1
Euglenophyta	17	10	13	16	14	18
Chlorophyta	57	53	51	60	86	73
Charophyta	5	5	2	4	5	5
<b>Всего</b>	190	172	197	205	301	268

Во всех районах водохранилища, с единичной встречаемостью с 2017 г. выявлена водоросль *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing. – представитель отдела Raphidophyta.

Средние значения численности фитопланктона за исследованный период составляли  $87,2 \pm 26,3$  млн кл./л (максимальные значения – 204 млн кл./л отмечены в 2017 г., минимальные – 17 млн кл./л в 2022 г.). Биомасса водорослей варьировала от 4,05 до 25,96 мг/л, среднее значение за период исследований соста-

вило  $10,5 \pm 3,1$  мг/л. Численность и биомасса водорослей Воткинского водохранилища в 2017–2022 гг. в 1,6 раза выше, чем в период с 2010 по 2016 год. В течение всего периода исследований, как по численности, так и по биомассе в фитопланктоне преобладали цианопрокариоты (рисунок). Также в исследуемый период произошло увеличение доли миксотрофных флагеллят и снижение доли зеленых водорослей.



**Многолетняя динамика численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона Воткинского водохранилища**

Доминантный комплекс фитопланктона включает представителей различных отделов водорослей. Доминантный вид – *Aphanizomenon flos-aquae* ежегодно составляет значительную долю численности и биомассы фитопланктона. Часто к доминантам видам относятся *Planktolyngbya limnetica* и виды рода *Microcystis* (по численности); *Aulacoseira granulata* и *Actinocyclus normanii* – по биомассе. Нередко в доминантный комплекс входят представители рода *Cryptomonas* и *Peridinium*, а в последние годы мелкоклеточные цианопрокариоты *Anathece* и *Aphanocapsa* (табл. 2).

Таблица 2

**Многолетние изменения доминантного комплекса фитопланктона Воткинского водохранилища**

Период	Доминантные виды
2017	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault (71N; 65B) <i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemm.) Komárk.-Legnerová & Cronb. <i>Actinocyclus normanii</i> (W.Gregory) Hustedt
2018	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (69N; 64B), <i>Planktolyngbya limnetica</i> , <i>Anabaena</i> spp. <i>Actinocyclus normanii</i>
2019	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (56N; 34B), <i>Planktolyngbya limnetica</i> , <i>Microcystis</i> spp. <i>Actinocyclus normanii</i> , <i>Aulacoseira granulata</i>
2020	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (45N; 40B), <i>Planktolyngbya limnetica</i> , <i>Anathece clathrata</i> West & G.S.West, <i>Limnothrix planctonica</i> (Wolosz.) Meffert
2021	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (68N; 58B), <i>Anathece clathrata</i> , <i>Phormidium</i> sp., <i>Microcystis viridis</i> (A.Braun) Lemm. <i>Aulacoseira</i> spp., <i>Cryptomonas</i> spp., <i>Peridinium</i> spp.
2022	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (45N; 40B), <i>Anathece clathrata</i> , <i>Limnothrix planctonica</i> , <i>Aphanocapsa</i> spp., <i>Phormidium</i> sp., <i>Peridinium</i> spp.

Примечание: в скобках приведен % от общей численности (N) или биомассы (B) планктона

В период исследований уровень сапробности (по Пантле-Букку) в Воткинском водохранилище соответствовал  $\beta$ -мезосапробной зоне ( $S = 1,5-2,28$  по численности,  $S = 1,73-2,29$  по биомассе). В целом индексы сапробности и по численности и по биомассе фитопланктона примерно одинаковы по всей акватории –  $2,07 \pm 0,02$ . Более высокие индексы сапробности отмечены для среднего района водохранилища, минимальные – в верхнем.

Воды водохранилища по средним величинам индекса сапробности и биомассы фитопланктона относятся к 3-му классу качества (удовлетворительной чистоты;  $\beta$ -мезосапробная зона органического загрязнения).

*Работа выполнена в рамках НИОКТРАААА-А19-119112290008-4.*

### **Библиографический список**

1. *Абакумов В.А.* Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе гидрометеорологической службы СССР // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: тр. совет.-англ. семинара. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 93–100

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.* Структура фитопланктона Воткинского водохранилища в 2010–2016 гг. // Вестник Пермского университета. Биология. 2017. Вып. 3. С. 257–262.

4. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция / Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, АН СССР, Зоол. ин-т; под ред. Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, 1984. – 32 с.

5. *Кумаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука. 1984. С. 130–133.

6. *Marvan P., Marsalek B., Hetesa J., Sukacova K., Marsalkova E., Geris R., Kozakova M.* Comments on the revised tables of algal (and other botanical) water quality indicators listed in CSN 75 7716 – discussion material for assessment of trophic status of water bodies // Association Flos Aquae [www.cyanobacteria.net](http://www.cyanobacteria.net) on 6th May 2005.

7. *Sládeček V.* System of Water Quality from the Biological Point of View // Arch. Hydrobiol. Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. 1973. V. 7. 218 s.

УДК 597.2/.5

В.Н. Житлухина, С.Г. Истомина, zhitlukhina@permniro.ru  
*Пермский филиал Всероссийского научно-исследовательского института  
рыбного хозяйства и океанографии, г. Пермь, Россия*

## **НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ИХТИОФАУНОЙ НИЖНЕГО РАЙОНА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В НЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД**

Приводятся данные наблюдений за ихтиофауной в нерестовый период 2022 г. в нижнем районе Воткинского водохранилища (с. Елово).

*Ключевые слова:* Воткинское водохранилище, ихтиофауна, нерест, эктопаразиты

V. Zhitlukhina, S. Istomin, zhitlukhina@permniro.ru  
*Department of Perm «VNIRO», Perm, Russia*

## **OBSERVATION OF LOWER VOTKINSK RESERVOIR FISH FAUNA IN SPAWNING PERIOD**

The work presents data on ichthyofauna in the spawning period 2022 in the lower Votkinsky Reservoir District (p. Elovo).

*Keywords:* Votkinsk Reservoir, fish fauna, spawning, ectoparasites

### ***Введение***

Материалом для работы послужили результаты наблюдения за ихтиофауной в нерестовый период 2022 г. в нижнем районе Воткинского водохранилища в русловой зоне и в заливах рр.Еловка и Видуловка между которыми расположено с. Елово.

Воткинское водохранилище – второй по величине водоем (после Камского водохранилища) на р. Каме, расположенный на территории Пермского края и Удмуртской республики. Вдоль берегов Воткинского водохранилища расположены несколько населённых пунктов, в числе которых есть довольно крупные с развитой промышленностью. В результате этого водоём испытывает сильную техногенную нагрузку, что негативно сказывается на качестве воды – превышения ПДК (в том числе и многократные) по фенолам, тяжёлым металлам и нефтепродуктам. Общий показатель загрязнённости воды при этом варьирует от «загрязнённой» до «очень загрязнённой». Самая большая концентрация поллютантов в верховьях – в Пермско-Краснокамском промышленном районе.

Исследуемый нижний район Воткинского водохранилища считается относительно чистым, благодаря отсутствию сильной антропогенной нагрузки на окружающую среду и промышленности [1].

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

Исследования русловой части производились на площади 11 км<sup>2</sup>, напротив заливов и выше по течению на глубинах от 6 до 18 м. Исследованные заливы

рр. Видуловка и Еловка имеют слабоизрезанные пологие берега местами с древесно-кустарниковой растительностью и зарослями тростника. Длина залива р. Видуловка при НПУ – 2400 м., ширина в устье – 730 м. По левобережью расположен бетонный пирс речного вокзала. Грунт – суглинок с примесью гальки, глубины от 1,5 до 7,5 м. Длина залива р. Еловка при НПУ – 3440 м, ширина в устье – 1370 м. Береговая линия залива возле населенного пункта Елово укреплена габионами. Грунт – заиленный глинисто-песчаный, основная глубина от 2,5 до 6 м.

Лов рыбы проводили набором ставных сетей с размером ячеи 30, 35, 50, 55, 65 мм. Всего за 2022 гг. в районе исследования произведено 153 сетепостановки (2159,9 ст.ед.). На месте проанализирован размерно-видовой состав уловов с каждого орудия лова (2890 экз.), проведен полный биологический анализ, для определения возраста у 1500 экз. проведен отбор чешуйных проб с последующей камеральной обработкой. Обработка ихтиологического материала произведена по стандартным методикам [5].

Для определения видового и возрастного состава рыб в уловах ставных сетей, учитывали количество произведенных стандартных сетепостановок и рассчитывали улов на 1 стандартную установку, а так же определяли среднюю взвешенную по всем сетям. Так же отслеживалось наличие некоторых видов эктопаразитов на кожных покровах и плавниках рыб. Для обработки и анализа первичных данных использовалось программное обеспечение Fish Reader [3] и Fish Explorer [4].

### *Анализ результатов*

За весь период исследований наблюдалась переменчивая погода, часто с сильным ветром и штормовыми явлениями. Теплая погода, установившаяся в первой половине мая способствовала плавному прогреву воды. Ежедневный подъем уровня воды варьировал от 10 до 25 см. Затопление нерестилищ в районе с. Елово началось 7 мая, с 21 мая большая часть нерестилищ была затоплена. К началу июня уровень воды достиг максимального значения и до конца нерестового запрета варьировал  $\pm 5$  см.

Весь период наблюдений ночная температура воздуха не превышала 8-10°C, отмечены заморозки, дневная температура в мае не превышала 18°C, к середине июня – до 25°C. Температура воды у поверхности весь май не превышала 9,1°C, и только во 2-й декаде июня прогрелась до 15,8°C.

Главный фактор, который определяет сроки начала нереста и массового выхода рыб на нерестилища является температура воды. Из-за низких температур и неблагоприятных погодных условий, таких, как заморозки, порывистый ветер, штормовые явления (до 2,5 м волна на водохранилище) – нерест рыб оказался прерывистым и затянутым.

Нерест плотвы и щуки прошел с 7 по 12 мая при слабо затопленных нерестилищах и температуре воды 6-8°. Затем из-за наступившего похолодания и штормов произошла пауза в нересте массовых видов, только с 19 по 22 мая был отмечен нерест судака, а с 23 мая начало нереста леща.

Основная масса улова представлена лещом – 57,95% по массе и 60,28% по количеству (таблица). В выловах встречались особи длиной от 137 до 480 мм и

массой 50-2830 г, возрастные группы от 3+ до 18+ лет. Основная часть леща отмечена в уловах крупноячейных сетей, как на мелководных, так и на глубоководных участках, где преимущественно доминировали особи 7-8 летней возрастной группы. Процентное соотношение самок к самцам 64/36. Повреждение постодиплостомозом – 1.3%, аэромонозом ~1%.

Вторым по массовости улова является судак – 25,25% по массе и 18,3% по количеству (таблица). В выловах встречались особи длиной от 82 до 855 мм и массой от 6 до 8170 гр. Возрастная группа представлена особями от 2+ до 18+ лет, основную массу которых составляют 5-7 летки. Основная часть улова судака, так же, как и у леща отмечена в крупноячейных сетях на глубине и по мелководью. Процентное соотношение самок к самцам 65/28, остальные 7 % составляли ювенильные особи. Встречаемость дактилогироза в 7% улова.

#### Видовой состав рыб в уловах в нерестовый период 2022 г.

Вид	N*, % шт.	B*, % кг
Судак	18,30	25,25
Чехонь	6,13	1,30
Лещ	60,28	57,95
Плотва	6,23	2,22
Густера	3,22	1,33
Окунь	0,91	0,45
Ерш	0,36	0,04
Жерех	1,09	1,57
Синец	0,10	0,02
Голавль	0,05	0,03
Щука	1,39	4,40
Краснопёрка	0,05	0,02
Язь	0,59	0,43
Стерлядь	0,60	0,42
Налим	0,16	0,32
общее	2890	2577,768

Примечание. N – численность, B – масса

Массовыми видами так же являются плотва и чехонь. Встречаемость в уловах, примерно, одинакова. Плотва наибольшей численности и массы достигала в уловах сетями с размерами ячеи 30 и 35 мм. Размеры плотвы в уловах варьировали от 161 до 311 мм, масса – от 95 до 715 г., возраст от 5+ до 15+. Процентное соотношение самок к самцам 80/20. Поражение постодиплостомозом у 7% особей, поражение аэромонозом у 2% особей. Чехонь наибольшей численности и массы достигала в уловах сетей 30 ячеей. Размеры чехони в уловах варьировали от 180 до 313 мм, масса – от 38 до 340 г., возраст от +2 до +9 лет. Процентное соотношение самок к самцам 60/40.

В крупноячейных сетных уловах в русловой зоне встречалась стерлядь. Популяции стерляди Верхней и Средней Камы включены в Красную книгу РФ с I категорией редкости [2], в связи с этим пойманная рыба аккуратно извлекалась

из сети, промерялась на месте и с малейшими повреждениями отпускалась обратно в водоем. В выловах присутствовали особи длиной 355-470 мм и массой 377-720 гр. Процент встречаемости в уловах на количество всей пойманной рыбы ~1%.

### **Выводы**

Погодные условия в мае-июне 2022 г. можно охарактеризовать, как неблагоприятные для нереста и развития ранней молоди рыб. Нерест начался на 7-10 дней позже среднемноголетних сроков, был прерывистым, растянутым и прошел при неполном затоплении нерестилищ.

В составе сетных уловов преобладал лещ, значительно были представлены судак, плотва и чехонь. Возрастная структура производителей характеризовалась большим рядом с преобладанием особей, достигших половой зрелости в предшествующие 1-2 года. Практически у всех видов в нерестовых скоплениях отмечено преобладание самок.

Часто в уловах отмечалась стерлядь, выпуска которой производится в Воткинское водохранилище с 2010 г. ежегодно.

Поражение эктопаразитами (постодиплостомозом, дактилогирозом и аэромонозом) составляет ~3% от общего количества пойманной рыбы и отмечено преимущественно у леща, плотвы, окуня и судака.

### **Библиографический список**

1. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2019 году». Пермь, 2020. 285 с.
2. Красная книга Пермского края / под общ. ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 232 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611815 Российская Федерация. Fish Reader : № 2014663677 : заявл. 18.12.2014 : опубл. 06.02.2015 / В. В. Безматерных. EDN CRPMEV.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021618173 Российская Федерация. Fish Explorer : № 2021617448 : заявл. 18.05.2021 : опубл. 24.05.2021 / В. В. Безматерных. EDN НОВМFO.
5. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М., 1959. 164 с.

В.С. Жихарев, Д.Е. Гаврилко, Е.С. Обедиентова, Г.В. Шурганова,  
zhiharev@ibbm.unn.ru

Институт биологии и биомедицины, Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

## ЧУЖЕРОДНЫЕ ВИДЫ ЗООПЛАНКТОНА ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕЙ ВОЛГИ

Представлены результаты многолетних исследований фауны зоопланктона водохранилищ Средней Волги. В исследованных водохранилищах было обнаружено 2 трансконтинентальных чужеродных вида – *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) и *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1893); 4 представителя понто-каспийской и средиземноморской фауны – *Eurytemora caspica* Sukhikh & Alekseev, 2013; *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853); *Heterocope caspia* Sars G.O., 1897; *Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873; 2 тропических вида – *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931 и *Thermocyclops vermifer* Lindberg, 1935. Численность чужеродных видов достаточно сильно варьировала, от нескольких экземпляров, до нескольких тысяч экземпляров. Установлено, что численность и длина тела *A. americanus* и *T. taihokuensis* увеличивалась по мере возрастания степени эвтрофирования.

*Ключевые слова:* зоопланктон, чужеродные виды, водохранилища, Средняя Волга.

V.S. Zhikharev, D.E. Gavrillko, E.S. Obedientova, G.V. Shurganova,  
zhiharev@ibbm.unn.ru

Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod, Russia

## ALIEN SPECIES OF ZOOPLANKTON OF THE MIDDLE VOLGA RESERVOIRS

This article presents the results of long-term studies of zooplankton fauna of the Middle Volga reservoirs. The found two transcontinental alien species, *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) and *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1893); 4 representatives of Ponto-Caspian and Mediterranean fauna – *Eurytemora caspica* Sukhikh & Alekseev, 2013; *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853); *Heterocope caspia* Sars G.O., 1897; *Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873; 2 tropical species – *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931 and *Thermocyclops vermifer* Lindberg, 1935. Numbers of non-native species varied quite widely, from a few specimens to several thousand specimens. The abundance and body length of *A. americanus* and *T. taihokuensis* were found to increase with increasing degree of eutrophication.

*Key words:* zooplankton, alien species, reservoirs, Middle Volga.

### **Введение**

Процессы переселения видов в условиях меняющегося климата и в результате деятельности человека становятся все более заметным явлением и поэтому находят отражение в большом количестве научных исследований [4; 10-11], в том числе и в наших работах [17-19]. Более частые находки чужеродных видов в водотоках привлекают дополнительное внимание к этой проблеме. Распространение чужеродных видов может быть частью более крупных закономерностей структурной организации планктонных сообществ. Последствия проникновения

новых видов в новые местообитания не всегда предсказуемы и понятны, а чужеродные виды являются одним из основных факторов, вызывающих изменения в структуре и функционировании гидробиоценозов [5]. При этом известно, что натурализация водных организмов в эвтрофных водоёмах происходит успешнее, чем в олиго- и мезотрофных [1]. Целью исследования явился анализ распространения и роли чужеродных видов зоопланктона в Горьковском, Чебоксарском и Куйбышевском водохранилищах.

### **Материалы и методы исследования**

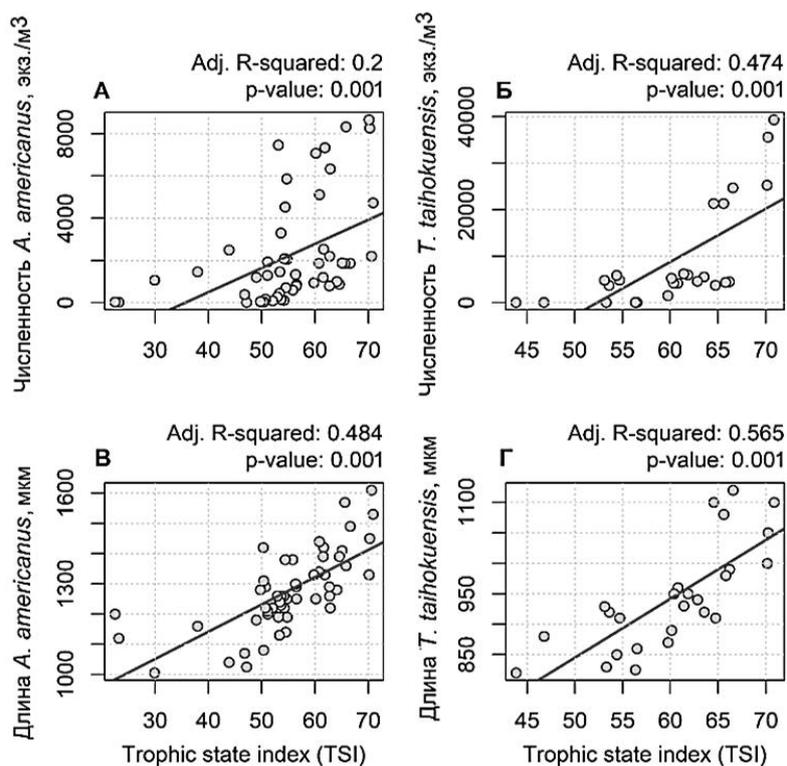
Материалом для работы послужили пробы зоопланктона, собранные в 2015–2022 гг. на акватории трех водохранилищ Средней Волги (Горьковском, Чебоксарском и Куйбышевском), а также в некоторых устьевых областях их притоков. Все водохранилища являются равнинными, наибольшим по площади и объему является Куйбышевское водохранилище (6450 км<sup>2</sup> и 57,3 км<sup>3</sup>), наименьшим – Чебоксарское водохранилище (1197 км<sup>2</sup> и 6,0 км<sup>3</sup>). Чебоксарское водохранилище характеризуется самым высоким коэффициентом водообмена – 20,9 год<sup>-1</sup>. Отбор проб зоопланктона осуществляли при помощи планктонной сети с ячейей 70 мкм вертикальными ловами от дна до поверхности. Все пробы фиксировали 40%-м формалином. Идентификацию видов проводили с использованием микроскопов Zeiss Stemi 2000C и Olympus CX43, а также определителей и руководств [2; 9].

### **Результаты и их обсуждение**

За период исследований (2015–2022 гг.) было обнаружено 8 чужеродных видов зоопланктона. Все идентифицированные виды можно разделить на три группы. Трансконтинентальные чужеродные виды – это виды, которые проникли на территорию Евразии с других континентов. В исследованных водохранилищах было обнаружено два трансконтинентальных чужеродных вида: североамериканская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) и североамериканский веслоногий рачок *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1893). К второй группе чужеродных видов относятся представители понто-каспийской и средиземноморской фауны. Из этой группы на акватории водохранилищ обнаружены: веслоногие рачки *Eurytemora caspica* Sukhikh & Alekseev, 2013; *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853); *Heterocope caspia* Sars G.O., 1897; *Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873. Третья группа – это тропические виды, оба представителя рода *Thermocyclops* Kiefer, 1927, а именно *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931 и *Thermocyclops vermifer* Lindberg, 1935.

Наиболее богатым чужеродными видами оказалось Куйбышевское водохранилище, в нём были обнаружены все чужеродные виды за исключением тропического рачка *T. vermifer*. В Горьковском (*A. americanus*, *K. bostoniensis*, *T. vermifer*, *E. velox*) и Чебоксарском (*A. americanus*, *K. bostoniensis*, *T. taihokuensis*, *E. velox*) водохранилищах было обнаружено по 4 чужеродных вида. В Горьковском и Чебоксарском водохранилищах наиболее массовым был североамериканский рачок *A. americanus*, его средняя численность составляла 40,3±9,7 экз./м<sup>3</sup> и 439,9±191,2 экз./м<sup>3</sup>, соответственно. В Куйбышевском водохранилище наиболее массовым был каспийский рачок *H. caspia*, его средняя численность составляла 837,1±236,9 экз./м<sup>3</sup>.

Наиболее интересными с точки зрения распространения и количественного развития являются такие веслоногие рачки как *A. americanus* и *T. taihokuensis*. Первый родом из водоёмов Северной Америки. Впервые в Европе обнаружен в 1926 г. в Англии, а в других европейских странах лишь спустя 30 лет [3; 6]. Этот вид населяет преимущественно эвтрофные и высокоэвтрофные водоёмы [4]. В результате его в водоёмы Англии в них произошла трансформация трофических сетей [7]. Затем этот вид стал доминировать во многих высокоэвтрофных водоёмах Бельгии, Франции и Испании [4; 16]. *T. taihokuensis* – это тропический рачок, который впервые обнаружила В.И. Лазарева (2018) ниже плотины Волжской ГЭС. Ареал этого вида включает Восточную и Центральную Азию, а также некоторые тропические регионы. Он встречается на Тайване (типичное местообитание), Филипинах, в Тайланде, Китае, Корее, Восточном Вьетнаме, Японии, Узбекистане, Казахстане, Таджикистане и на Дальнем Востоке России [8; 12-14]. Этот вид обитает в планктоне небольших водоёмов, рыбных прудов, а также в водоёмах рисовых полей [12; 14]. Наши исследования показывают, что численность и длина тела (рисунок) этих видов увеличивалась по мере возрастания степени эвтрофирования. Наибольшая численность и длина тела *A. americanus* и *T. taihokuensis* зафиксирована на станциях с средне- и сильноэвтрофными условиями. *A. americanus* и *T. taihokuensis* являются хищниками.



#### Зависимости численности (А и Б) и длины тела (В и Г) чужеродных видов *A. americanus* и *T. taihokuensis* от индекса трофического состояния

Нами ранее [17] было показано, что с увеличением эвтрофирования возрастает численность мирных видов (Adjusted  $R^2$ : 0,17,  $p$ -value: 0.00076) зоопланктона (потенциальная кормовая база чужеродных рачков), что влечет за собой увеличение численности и хищных видов (Adjusted  $R^2$ : 0,17,  $p$ -value: 0.00078) зоопланктона, в частности веслоногих ракообразных. Таким образом, отклик коли-

ественного развития некоторых чужеродных видов, по всей видимости, не уникален для этой группы видов, а является частью более масштабных закономерностей в трофических сетях зоопланктона устьевых областей. Важно отметить, что из литературных источников известно: *A. americanus* – это пелагический хищный вид, который предпочитает эвтрофные и гиперэвтрофные водоёмы, вытесняет аборигенную фауну и начинает доминировать в сообществах зоопланктона [4; 15]. Подобных сведений для *T. taihokuensis* ранее в литературных источниках не встречалось. При этом В.И. Лазарева с коллегами [11] предполагают, что конкурентоспособность и успешное расселение этого вида в Европейской России является следствием высокой плодовитости и длительного периода размножения. Таким образом, увеличивающееся эвтрофирование волжских водохранилищ, и в том числе устьевых областей их притоков, может являться важным фактором при акклиматизации рачка *A. americanus* в новых местообитаниях, при этом особенности биологии рачка *T. taihokuensis* могут являться определяющими факторами его высокой конкурентоспособности и активным внедрением в доминантные комплексы сообществ зоопланктона.

### **Заключение**

Многолетние исследования зоопланктона водохранилищ Средней Волги позволили обнаружить 8 чужеродных видов, которые являются тропическими и трансконтинентальными видами, а также представителями понто-каспийской и средиземноморской фауны. Численность чужеродных видов достаточно сильно варьировала, от нескольких экземпляров, до нескольких тысяч экземпляров. Наиболее интересными с точки зрения распространения и количественного развития являются такие веслоногие рачки как *A. americanus* и *T. taihokuensis*. Установлено, что численность и длина тела этих чужеродных видов увеличивались по мере возрастания степени эвтрофирования

*Работа выполнена при финансовой поддержке РГО «Экспедиция Плавающий университет Волжского бассейна» (проект 17-2022-Р), а также при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования РФ (№ Н-477-99\_2021-2023).*

### **Библиографический список**

1. Дгебуадзе Ю.Ю., Фенева И.Ю., Будаев С.В. Роль хищничества и конкуренции в инвазионных процессах на примере зоопланктонных сообществ // Биология внутренних вод. 2006. № 1. С. 67–73.
2. Коровчинский Н.М., Котов А.А., Синев А.Ю., Неретина А.Н., Гарибян П.Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. 544 с.
3. Монченко В.И. О видовой самостоятельности *Acanthocyclops americanus* (Marsh) и его находки в СССР // Зоологический журнал. 1961. Т. 40. С. 13–19.
4. Alekseev V.R. Confusing invader: *Acanthocyclops americanus* (Copepoda: Cyclopoida) and its biological, anthropogenic and climate-dependent mechanisms of rapid distribution in Eurasia // Water. 2021. Vol. 13.

5. *Bollens S.M., Cordell J.R., Avent S., Hooff R.* Zooplankton invasions: a brief review, plus two case studies from the northeast Pacific Ocean // *Hydrobiologia*. 2002. Vol. 480. P. 87–110.
6. *Dussart B.H.* Contribution à l'étude des copépodes d'Espagne // *Publ. Inst. Biol. Appl.* 1967. Vol. 42. P. 87–105.
7. *Fryer G.* The Freshwater Crustacea of Yorkshire // A Faunistic and Ecological Survey. York: Leeds Philosophical and Literary Society, 1993. 312 p.
8. *Karanovic T., Sanoamuang L.* Two new *Thermocyclops* species (Copepoda, Cyclopoida) from Thailand, with notes on the genus phylogeny inferred from 18S and ITS sequences // *Zoologischer Anzeiger*. 2017. Vol. 269. P. 26–47.
9. Keys to Palaearctic Fauna. Thorp and Covich's Freshwater. Invertebrates / D.C. Rogers, J.H. Thorp. Oxford: Academic Press, 2019. 920 p.
10. *Kotov A., Karabanov D.P., Van Damme K.* Non-indigenous Cladocera (Crustacea: Branchiopoda): from a few notorious cases to a potential global faunal mixing in aquatic ecosystems // *Water*. 2022. Vol. 14. 2806.
11. *Lazareva V.I., Zhdanova S.M., Sabitova R.Z.* The Spread of East Asian Copepod *Thermocyclops taihokuensis* (Crustacea, Copepoda) in the Volga River Basin // *Inland Water Biology*. 2022. Vol. 15. P. 139–148.
12. *Lopez M.L.D., Pascual J.A.F., Dela Paz E.S.P., Rizo E.Z.C., Tordesillas D.T., Guinto S.K., Han B., Dumont H.J., Mamaril A.S., Papa R.D.S.* Annotated checklist and insular distribution of freshwater microcrustaceans (Copepoda: Calanoida & Cyclopoida; Cladocera: Anomopoda & Ctenopoda) in the Philippines // *Raffles Bulletin of Zoology*. 2017. Vol. 65. P. 623–654.
13. *Mirabdullayev I.M., Kuzmetov A.R.* The Genus *Thermocyclops* (Crustacea: Copepoda) in Uzbekistan (Central Asia) // *International Review of Hydrobiology*. 1997. Vol. 82. P. 201–212.
14. *Mirabdullayev I.M., Reid J.W., Ueda H.* Copepoda: Cyclopoida genera *Mesocyclops* and *Thermocyclops*. Genus *Thermocyclops* Kiefer, 1927 // *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World 20*. Leiden: Backhuys Publishers, 2003. P. 214–302.
15. *Miracle M.R., Alekseev V., Monchenko V., Sentandreu V., Vicente E.* Molecular-genetic-based contribution to the taxonomy of the *Acanthocyclops robustus* group // *Journal of Natural History*. 2013. Vol. 47. P. 863–888.
16. *Sahuquillo M., Miracle M.R.* The role of historic and climatic factors in the distribution of crustacean communities in Iberian Mediterranean ponds // *Freshwater Biology*. 2013. Vol. 58. P. 1251–1266.
17. *Zhikharev V., Vodeneeva E., Kudrin I., Gavrilko D., Startseva N., Kulizin P., Erina O., Tereshina M., Okhapkin A., Shurganova G.* The Species Structure of Plankton Communities as a Response to Changes in the Trophic Gradient of the Mouth Areas of Large Tributaries to a Lowland Reservoir // *Water*. 2023. Vol. 15.
18. *Zhikharev V.S., Gavrilko D.E., Shurganova G.V.* A record of the tropical species *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931 (Copepoda: Cyclopoida) in European Russia // *Biology Bulletin*. 2020. Vol. 47. P. 1347–1350.
19. *Zhikharev V.S., Sinev A.Yu., Shurganova G.V.* New record of non-indigenous cladoceran *Pleuroxus denticulatus* Birge, 1879 (Cladocera: Chydoridae) in the European Russia // *Invertebrate Zoology*. 2022. Vol. 19. P. 317–323.

Д.А. Журова<sup>1,2</sup>, Е.Л. Воденеева<sup>1</sup>, ruthheatherale@gmail.com

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>2</sup> *Нижегородский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Нижний Новгород, Россия*

## **ФИТОПЛАНКТОН ПОЙМЕННО-РУСЛОВЫХ КОМПЛЕКСОВ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ОКИ**

Проведено исследование фитопланктона пойменно-русловых комплексов нижнего течения р. Оки в летнюю межень 2015-2022 гг. Проанализирован состав альгофлоры, определены показатели количественного развития фитопланктона. Оценено экологическое состояние исследуемых водных объектов по системе сапробности и установлен трофический статус.

*Ключевые слова:* р. Ока, пойменно-русловые комплексы, фитопланктон, альгофлора, биомасса, численность, трофический статус, сапробность

D.A. Zhurova<sup>1,2</sup>, E.L. Vodeneeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>2</sup> *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography – Nizhny Novgorod Branch, Nizhny Novgorod, Russia*

## **PHYTOPLANKTON OF FLOODPLAIN-CHANNEL COMPLEXES OF THE OKA RIVER LOWER REACHES**

The phytoplankton of the floodplain-channel complex of the lower reaches of the Oka river was researched in the summer of 2015-2022. The algaeflora of riverbed and bays was analyzed and compared between each other. Indicators of quantitative phytoplankton development allowed establish the trophic state and the water quality of the river in accordance to the saprobity system.

*Keywords:* Oka River, floodplain-channel complexes, phytoplankton, algaeflora, biomass, abundance, trophic state, saprobity

### ***Введение***

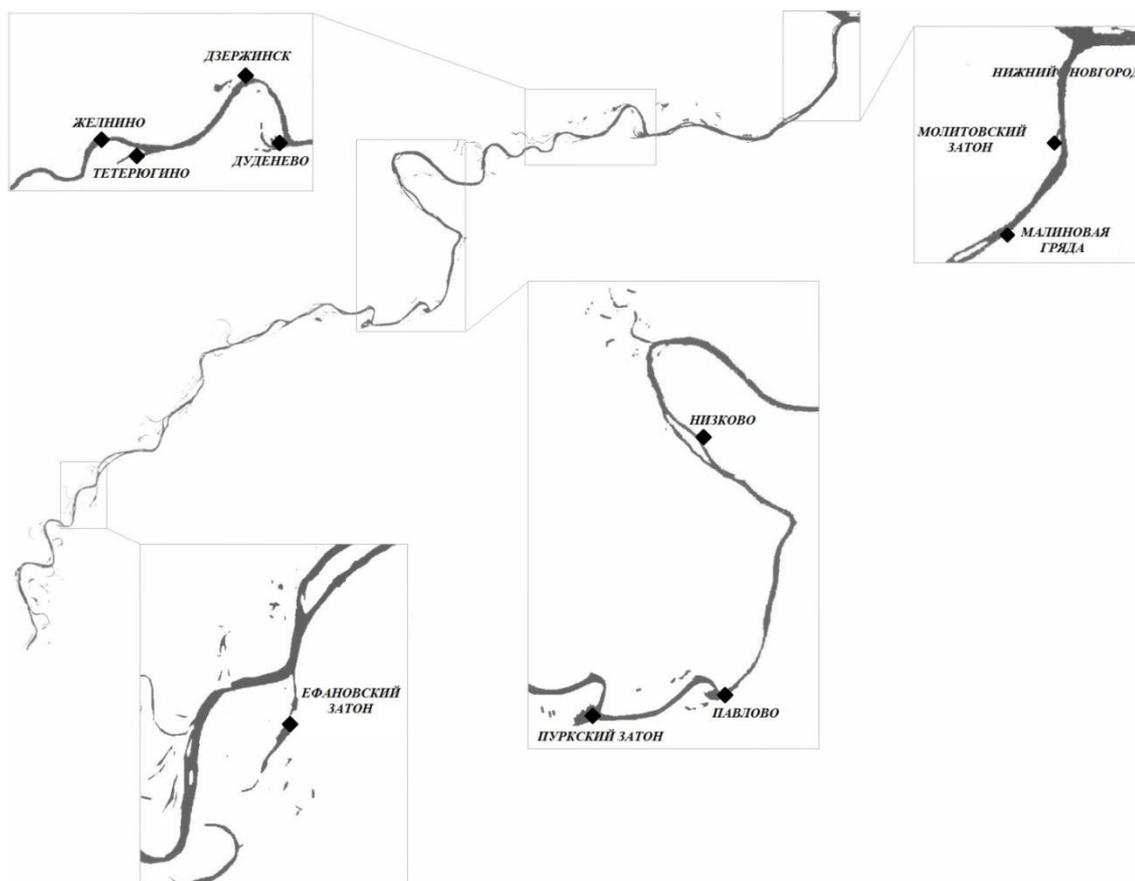
Русло и пойма реки как элементы динамичной системы развиваются в тесной взаимосвязи друг с другом. Пойменные образования, такие как заливы и старицы, возникающие в процессе эволюции речной системы, характеризуются специфическими условиями среды и гидрологическим режимом по сравнению с руслом [9]. Изучение реки именно как единого пойменно-руслового комплекса позволяет составить наиболее полную и информативную картину ее экологического состояния.

Река Ока – крупнейший приток Волги, протекает по территориям нескольких регионов Центральной России и является не только источником промышленного и бытового водообеспечения, но и важнейшей судоходной артерией, объектом рыбохозяйственного назначения. В нижнем течении р. Ока отличается хорошо развитой пойменной системой водоемов, включая в себя многочисленные затоны и старицы. Исследования фитопланктона р.Оки проводились в течении

многих лет и затрагивали в основном ее русловые участки [1; 3-5; 11], в меньшей степени оказались изученными водоемы окской поймы. Целью настоящей работы стал анализ состава и количественного развития фитопланктона русловых участков и затонов р. Оки в современный период.

### **Материалы и методы исследования**

Исследование фитопланктона проводилось на основе материалов, отобранных на русловых участках и в затовах нижнего течения р. Оки (рис. 1) в летнюю межень 2015-2022 гг.



**Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб фитопланктона в нижнем течении р. Оки**

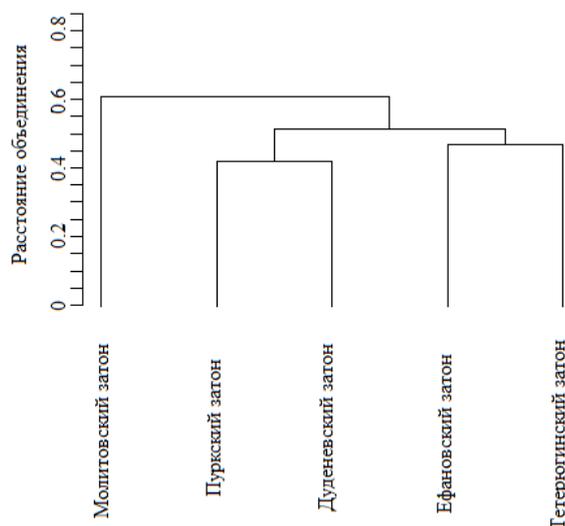
Отбор и последующая обработка проб осуществлялись в соответствии с общепринятыми в гидробиологии методами и подходами [2]. Современные наименования таксонов уточнялись на Интернет-ресурсе AlgaeBase [10]. Статистическая обработка полученных данных проводилась в программном пакете R [12]. Трофический статус водотока определялся по величине биомассы фитопланктона в соответствии с классификацией, предложенной Трифионовой И.С. [6]. Экологическое состояние водотока оценивалось по индексам сапробности на основе показателей количественного развития [7-9].

### **Результаты и обсуждения**

В фитопланктоне нижнего течения р. Оки и водоемов ее поймы выявлено 194 видов, включая внутривидовые таксоны из 9 отделов: *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Ochrophyta*, *Miozoa* (= *Dinophyta*), *Criptista* (= *Cryptophyta*),

*Euglenozoa, Charophyta*. Наибольшим разнообразием отличались зеленые водоросли, на долю которых приходилось около 53% общего состава. Диатомовые водоросли создавали 18,5% видового богатства, цианобактерии были представлены в меньшей степени (15,5%) и достигали наибольшего разнообразия ближе к устьевому району, что могло быть связано с влиянием Чебоксарского водохранилища и хозяйственным стоком крупных городов (Держинск, Нижний Новгород).

Сравнительный анализ альгофлоры планктона исследуемых пойменно-русловых комплексов Оки проводился на основе коэффициента Серенсена с последующей кластеризацией (рис. 2). Отмечена достаточно высокая степень сходства видового состава фитопланктона большинства изученных затонов (величина коэффициента Серенсена варьировала в пределах 0,49–0,59), за исключением пойменного участка в устьевой области р. Оки, что может быть вызвано наиболее заметным влиянием как волжских вод, так и хозяйственных городских стоков, которые обусловили высокое разнообразие и развитие цианобактерий по сравнению со станциями, располагающимися выше по течению.



**Рис. 2. Дендрограмма различия видового состава фитопланктона затонов р. Оки в нижнем течении (по данным 2017 г.)**

Количественное развитие фитопланктона в р.Оке в период наблюдения, как и в предыдущие годы исследования, было высоким, соответствуя уровню эвтрофно-гипертрофных вод (численность фитопланктона варьировала от 40,42 до 126,64 млн кл./л, биомасса – от 7,88 до 13,16 г/м<sup>3</sup>). Основной фон окского растительного планктона создавали центрические диатомеи (74-88% биомассы) при сопутствии коккоидных зеленых водорослей (7-22%). Основными доминантами выступали *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek и *Stephanodiscus hantzschii* Grunow – показатели эвтрофных и загрязненных органическими веществами вод. По численности в окских альгоценозах чаще доминировали мелкоклеточные колониальные цианобактерии (до 28-78%), в основном представители рода *Aphanocapsa*.

В затонах степень развития фитопланктона также находилась в пределах эвтрофно-гипертрофных значений (биомасса водорослей варьировала от 6.9 до

35.9 г/м<sup>3</sup>). Характер альгоценозов в отдельные годы оставался схожим с основным руслом, либо заметно отличался. Так, в отдельных затоках в численном отношении преобладали нитчатые цианобактерии планктотрихетового комплекса, а по биомассе главенствующая роль переходила от диатомовых водорослей к различным фитофлагеллятам: зеленым вольвоксовым (*Pandorina morum* (O.F.Müller) Bory), динофитовым (*Peridiniopsis quadridens* (F.Stein) Bourrelly, *Peridinium cinctum* (O.F.Müller) Ehrenberg, *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin) и криптомонадам (*Cryptomonas* pp.). Суммарный вклад жгутиковых форм водорослей в общей биомассе мог достигать до 68%.

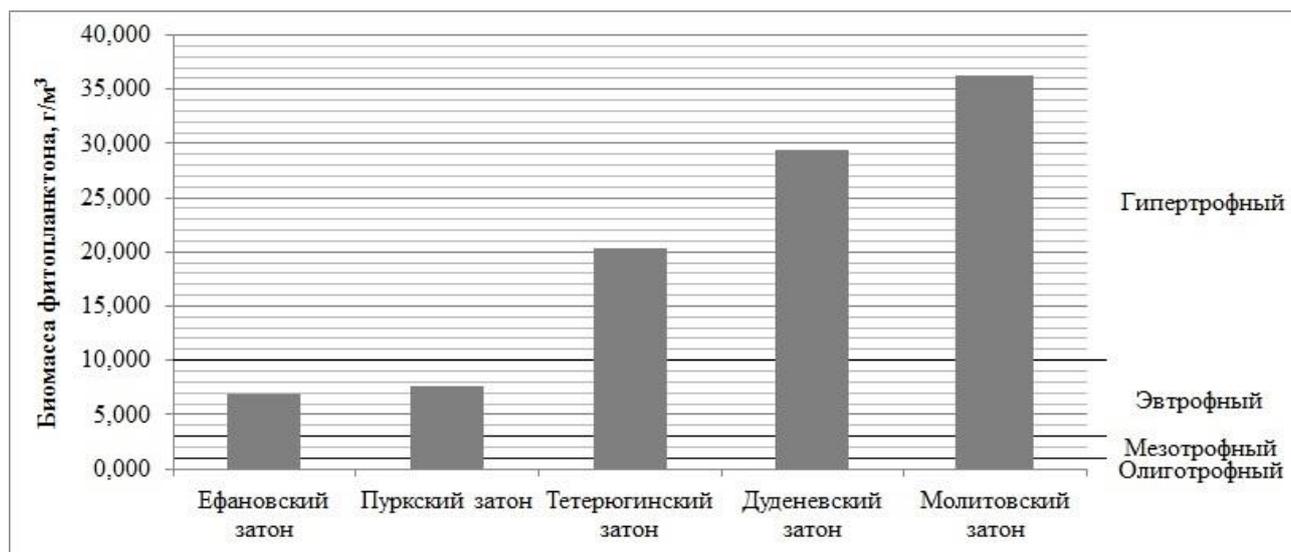


Рис. 3. Трофический статус затонов нижнего течения р. Оки в 2017 г.

Качество вод Оки, оцененное по индексу сапробности на основе показателей количественного развития фитопланктона, в нижнем течении водотока соответствовало умеренно-загрязненному. Величина индекса сапробности варьировала в пределах от 2,36 до 2,54 (по биомассе) и от 1,87 до 2,36 (по численности) фитопланктона при средних значениях  $2,46 \pm 0,06$  и  $2,21 \pm 0,14$  соответственно. В многолетней динамике экологическое состояние водотока в летние месяцы (июль-август) сохранялось на установленном уровне. Достоверных различий между качеством воды русловых участков и затонов не выявлено.

### Библиографический список

1. Воденеева Е.Л., Шарагина Е.М., Кулизин П.В., Охапкин А.Г. Современное состояние фитопланктонного сообщества устьевого участка реки Оки (по данным 2020-2021 гг.). // Труды 6-й Всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна», Вып.4, 2021 г. С. 1-6.
2. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 240 с.
3. Охапкин А.Г., Горохова О.Г., Генкал С.И., Паутова В.Н. К альгофлоре нижнего течения реки Ока. Ботанический журнал. 2010. Т. 95. №10. С. 1422-1436.
4. Паутова В.Н., Охапкин А.Г., Горохова О.Г., Генкал С.И., Номоконова В.И. Состав и динамика обилия массовых видов фитопланктона низовьев р. Ока

в конце XX столетия. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2013. С. 177-184.

5. Решетняк О.С., Гришанова Ю.С. Многолетние и сезонные изменения развития фитопланктона и оценка состояния реки Ока в районе г. Дзержинск. Вода: химия и экология. 2016. №3 (93). С. 14-21.

6. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. 1990. 184 с.

7. Унифицированные методы исследования качества вод. Атлас сапробных организмов. М.: 1977. 227 с.

8. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3. Методы биологического анализа вод. М.:1975. 176 с.

9. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М.: Изд-во «Крона», 2009. 654 с.

10. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org>

11. Okhapkin A.G., Genkal S.I., Sharagina 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. Vol. 7. № 4. P. 357-365.

12. The R Project for Statistical Computing [EI, resource] // The R Project for Statistical Computing

А.М. Истомина<sup>1,2</sup>, П.Г. Беляева<sup>1,3</sup>, С.Г. Истомин<sup>1</sup>, Е.Ю. Крайнев<sup>1</sup>,  
А.Г. Мельникова<sup>1</sup>, А.В. Токарев<sup>1</sup>, Е.М. Целищева<sup>1</sup>, annamk@yandex.ru

<sup>1</sup>Пермский филиал Всероссийского научно-исследовательского института  
рыбного хозяйства и океанографии, г. Пермь, Россия

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

<sup>3</sup> Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН,  
филиал ПФИЦ УрО РАН, г. Пермь, Россия

## ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ И ИХТИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА Р. УФА

В статье рассматривается состояние фитопланктона, зоопланктона, макрозообентоса и ихтиофауны Павловского водохранилища (Республика Башкортостан). Анализируется многолетняя динамика гидробионтов с 2005 по 2021 гг.

*Ключевые слова:* водохранилище, фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос, ихтиофауна

A.M. Istomina<sup>1,2</sup>, P.G. Belyaeva<sup>1,3</sup>, S.G. Istomin<sup>1</sup>, E.Yu. Krainev<sup>1</sup>, A.G. Melnikova<sup>1</sup>,  
A.V. Tokarev<sup>1</sup>, E.M. Tselishcheva<sup>1</sup>, annamk@yandex.ru

<sup>1</sup>Perm branch of VNIRO, Perm, Russia

<sup>2</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>3</sup>Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, UB RAS, Perm, Russia

## HYDROBIOLOGICAL AND ICHTHYOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PAVLOVSK RESERVOIR ON THE UFA RIVER

Current state of phytoplankton, zooplankton, macrobenthos and fish fauna in the Pavlovsk reservoir is described in this paper. Pavlovsk reservoir is located at Bashkortostan Republic. Long-term dynamics of aquatic organisms are given from 2005 to 2021.

*Keywords:* reservoir, phytoplankton, zooplankton, macrobenthos, fish fauna.

### ***Введение***

Павловское водохранилище является одним из самых крупных водных объектов, расположенных на территории Республики Башкортостан. Водохранилище образовано в 1961 г. в результате зарегулирования стока р.Уфы плотиной Павловского гидроузла. Средняя ширина водохранилища составляет около 760 м, наибольшая – 1750 м. Глубина водохранилища изменяется от 4-7 м в верховьях до 25-35 м в приплотинной части, средняя глубина – 11,7 м. Площадь зеркала водохранилища при НПУ (140,0 м БС) составляет 120 км<sup>2</sup>, объем воды равен 1,41 км<sup>3</sup> [4]. Павловское водохранилище имеет важное рыбохозяйственное значение: в последние пять лет промысловыми бригадами на нем ежегодно вылавливается от 34 до 59 т рыбы.

## Материалы и методы исследования

Для настоящей работы использованы материалы по фитопланктону и зоопланктону, собранные в период с 2015 г. по 2021 гг., по макрозообентосу и ихтиофауне – с 2005 по 2021 гг. Сбор и обработку материала проводили по общепринятым методикам [1; 3; 5].

## Анализ результатов

Основу видового богатства **альгофлоры** Павловского водохранилища на протяжении ряда лет формировали зеленые, диатомовые, золотистые водоросли и цианопрокариоты. Число видов фитопланктона в разные годы изменялось от 110 (2016 г.) до 202 видов разновидностей и форм водорослей (2019 г.). В 2019 г. значительно увеличилось число видов диатомовых с 45 до 95 таксонов водорослей рангом ниже рода и цианопрокариот с 13 до 24. Зеленые водоросли во все года исследований представлены 52–54 таксонами. Из них по всей акватории водохранилища распространены виды родов *Coelastrum*, *Chlorococcum*, *Dictyosphaerium*, *Desmodesmus*, *Pediastrum*, *Monoraphidium* и *Crucigenia*. В 2016–2017 и 2021 г. третье место по числу видов занимали золотистые водоросли, наиболее разнообразны были рода *Ochromonas* и *Kephyrion*.

Развитие фитопланктона по акватории водохранилища неравномерно. В верхнем участке водохранилища значительна роль диатомовых водорослей (по биомассе). Они представлены как пеннатными родов *Fragilaria*, *Diatoma* и *Asterionella formosa* Hassall, так и центрическими – *Aulacoseira* и *Stephanodiscus*. В 2019 и 2021 гг. выявлено значительное увеличение роли мелкоразмерных цианопрокариот в нижнем участке водохранилища, где на их долю приходилось более 90% численности, и 77% биомассы планктона. Массовое развитие получали *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Aphanocapsa planctonica* (G.M.Smith) Komárek & Anagnostidis, *A. holsatica* (Lemm.) G.Cronb. & Komárek, *Anothece clathrata* West & G.S.West, *Oscillatoria planctonica* Wolos., *Planktolyngbya limnetica* (Lemm) Kom.-Legn. et Cronb. Увеличение доли мелкоразмерных цианопрокариот привело к увеличению общей численности фитопланктона до 20 раз (табл. 1).

Таблица 1

Количественное развитие фитопланктона Павловского водохранилища осенью 2015-2021 гг.

Отделы водорослей	2015 г.		2016 г.		2017 г.		2019 г.		2021 г.	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Диатомовые	1,59	1,31	0,59	0,86	0,70	0,77	2,01	1,22	0,9	0,65
Зеленые	1,04	0,55	0,61	0,13	1,30	0,65	0,89	0,17	0,6	0,8
Цианопрокариоты	7,80	0,75	1,87	0,10	0,57	0,01	55,64	1,01	32,5	3,56
Прочие	0,18	0,61	0,34	0,17	0,24	0,11	0,40	0,18	0,16	0,29
<b>Всего</b>	<b>10,61</b>	<b>3,22</b>	<b>3,40</b>	<b>1,26</b>	<b>2,81</b>	<b>1,54</b>	<b>58,94</b>	<b>2,58</b>	<b>34,7</b>	<b>4,58</b>

Примечание: N-численность (млн. кл/л), B – биомасса (мг/л).

Средняя биомасса осеннего фитопланктона за 2015–2021 гг. составляет  $2,64 \pm 0,54$  мг/л, средняя численность –  $22,1 \pm 9,7$  млн кл./л. По уровню развития фитопланктона воды Павловского водохранилища за период исследования являлись  $\alpha$ -эвтрофными (высокий класс трофности) [2].

В исследованный период 2015-2021 гг. в зоопланктоне Павловского водохранилища обнаружено 72 вида. Из них коловратки – 28 видов, кладоцеры – 30 видов и копеподы – 13 видов. Сравнивая состояние осеннего зоопланктона в 2015 – 2021 гг., можно отметить стабильность видового состава сообществ (в разные годы отмечено от 30 до 38 видов), массовое развитие получали одни и те же виды.

Наиболее часто встречаемыми и многочисленными видами на всей акватории водохранилища были: коловратки *Asplanchna priodonta* Gosse, *Keratella quadrata* (O. F. Muller), *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, ветвистоусые рачки *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O. F. Muller), *B. (Eubosmina) coregoni* Baird, *Daphnia (Daphnia) galeata* Sars, *Chydorus sphaericus* (O. F. Muller), копеподы *Eurytemora velox* (Lilljeborg), *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg), *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Thermocyclops oithonoides* (Sars).

Количественные показатели развития как планктоценозов в целом, так и отдельных групп животных, значительно варьировали, опускаясь до минимума в 2016 г. и достигая максимума в 2021 г. (табл. 2). Сообщества зоопланктона в 2015-2016 гг. являлись ротаторно-кладоцерными (с преобладанием по биомассе кладоцер родов *Bosmina* и *Daphnia*) и с относительно высокой численностью коловраток, а в 2017-2021 гг. – рачковыми (с преобладанием каляноид родов *Eudiaptomus*, *Eurytemora* и кладоцер рода *Bosmina*).

Таблица 2

**Количественное развитие зоопланктона Павловского водохранилища  
осенью 2015-2021 гг.**

Группа	2015 г.		2016 г.		2017 г.		2019 г.		2021 г.	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Коловратки	19,83	13,44	19,07	13,20	3,67	2,76	2,23	1,49	6,26	9,58
Кладоцеры	3,00	141,43	2,84	26,48	5,95	231,85	6,14	78,15	6,13	159,11
Копеподы	5,15	52,80	0,89	7,97	10,37	168,57	10,59	266,55	14,75	317,61
Моллюски	2,65	0,26	0,10	0,21	4,07	9,95	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>Всего</b>	<b>30,63</b>	<b>207,93</b>	<b>22,90</b>	<b>47,86</b>	<b>24,06</b>	<b>413,13</b>	<b>18,96</b>	<b>346,19</b>	<b>27,14</b>	<b>486,30</b>

Примечание. N-численность (тыс. экз./м<sup>3</sup>) B – биомасса (мг/м<sup>3</sup>).

В целом, зоопланктон Павловского водохранилища можно назвать лимнофильным, кладоцерно-копеподным, с преобладанием каляноид родов *Eudiaptomus*, *Eurytemora* и кладоцер рода *Bosmina*.

Средняя биомасса зоопланктона водохранилища за исследованный период составляла  $307,98 \pm 10,08$  мг/м<sup>3</sup>, основу которой формировали в основном Copepoda (>50%) и Cladocera (>40%). В численность ( $25,98 \pm 0,53$  тыс. экз./м<sup>3</sup>) зоопланктона наибольший вклад вносили Rotifera (43%) и Copepoda (33%).

По уровню развития зоопланктона Павловское водохранилище в исследуемый период относилось к водоемам  $\alpha$ -олиготрофного типа (низкий класс трофности) [2].

К настоящему времени в **бентофауне** Павловского водохранилища зарегистрировано 150 таксонов. Наибольшее видовое разнообразие имеют личинки хирономид – 64 вида и формы, олигохеты представлены 27 видами, моллюски – 22 (брюхоногие – 9 видов, двустворчатые – 13), личинки ручейников – 13, личинки поденок – 8, пиявки – 4, ракообразные, личинки стрекоз, бабочек, жуков, клопов и двукрылых (за исключением хирономид) – по 1 – 3 вида.

Массовыми видами в водохранилище являются личинки хирономид *Procladius ferrugineus* Kieffer, *Cryptochironomus* gr. *defectus*, *Cryptotendipes nigronitens* (Edwards), *Harnischia curtilamellata* (Malloch), *Paralauterborniella nigrohalteralis* (Malloch), *Polypedilum scalaenum* (Schrank), *Cladotanytarsus* gr. *mancus* и виды из рода *Chironomus*, а из олигохет *Stylaria lacustris* (Linnaeus), *Uncinaiis uncinata* (Oersted) и *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede. Из моллюсков наиболее часто отмечается *Dreissena polymorpha* (Pallas).

Средняя общая биомасса макрозообентоса Павловского водохранилища осенью 2021 г. составила 114,15 г/м<sup>2</sup> при плотности поселений 2,78 тыс. экз./м<sup>2</sup>, на долю *D. polymorpha* приходилось 96% биомассы (табл. 3). Уровень развития кормового зообентоса был значительно ниже – 30,13 г/м<sup>2</sup>, младшевозрастные особи дрейссены составляли 89% биомассы кормового бентоса.

Таблица 3

**Распределение биомассы (г/м<sup>2</sup>) основных групп макрозообентоса Павловского водохранилища осенью 2005-2019 гг.**

Год	2005	2009	2015-2017	2019	2021
Олигохеты	2,88	1,77	2,75	0,74	1,49
Пиявки	0,7	0,02	0,16	0,03	0,09
Моллюски: все	102,95	48,25	6,34	6,13	110,80
кормовые	92,64	28,25	1,34	6,13	26,87
Хирономиды	4,54	4,12	2,59	0,96	1,00
Прочие	0,26	1,33	0,53	0,21	0,77
<b>Всего зообентоса:</b>	<b>111,33</b>	<b>55,49</b>	<b>12,37</b>	<b>8,07</b>	<b>114,15</b>
<b>Кормовой зообентос:</b>	<b>100,32</b>	<b>34,98</b>	<b>7,21</b>	<b>8,04</b>	<b>30,13</b>

Примечание: группа «прочие» включает ракообразных, личинок поденок, ручейников, бабочек и мокрецов.

В целом, по уровню развития макрозообентоса Павловское водохранилище в 2021 г., относилось к водоемам гиперэвтрофного типа (высокий класс трофности) [2].

Сравнивая полученные нами результаты с исследованиями 2005-2019 гг., следует отметить, что к 2015 г. в Павловском водохранилище произошло значительное снижение количества моллюска *Dreissena polymorpha*, который ранее обеспечивал более 50% биомассы, как общего, так и кормового бентоса. В результате, величина кормовой биомассы макрозообентоса уменьшилась почти в 5 раз. С исчезновением дрейссены изменилась структура донных сообществ:

доминировать в водоеме стали олигохеты и личинки хирономид. Начиная с 2019 г. в водоеме вновь отмечается увеличение кормой биомассы благодаря значительному количеству младшевозрастных особей дрейссены. В 2021 г. биомасса кормового бентоса, благодаря *D. polymorpha*, достигла максимальных за последние 10 лет значений. Однако, в водохранилище наблюдается дальнейшее уменьшение биомассы «мягкого» бентоса, главным образом личинок хирономид и олигохет (табл. 3).

Для оценки состояния **ихтиофауны** проанализированы уловы промысловых бригад и уловы в научно-исследовательских целях по всей акватории Павловского водохранилища за период с 2005 по 2021 гг.

В составе ихтиофауны Павловского водохранилища, по результатам многолетних исследований отмечено 22 вида рыб. Наиболее многочисленны и широко распространены в водоеме окунь, уклея, плотва, ерш, лещ, густера, голавль, белоглазка, судак, реже встречаются жерех, щука, язь, единично отмечаются стерлядь, чехонь, сазан (каarp), сом пресноводный, гибриды карповых видов рыб. В заливах водохранилища встречаются линь, красноперка, серебряный карась, в устьях притоков обитают елец, хариус европейский, подуст. Стерлядь и европейский хариус занесены в Красную книгу Республики Башкортостан.

Основную массу промыслов на Павловском водохранилище создают лещ (15,6-40,0 т), судак (1,9-5,0 т), окунь (0,7-4,2 т), плотва (0,2-2,7 т) и уклея (0,5-1,5 т). Кроме промыслового лова на Павловском водохранилище интенсивно ведется любительское рыболовство, развит и браконьерский лов.

По данным сетных уловов, в водоеме наиболее многочисленны окунь, уклея, плотва и лещ, также значительно представлены белоглазка и судак. По численности в ихтиоценозах преобладает окунь (в разные годы от 16% до 42%), также в уловах многочисленны уклея (от 16 до 25%), плотва (9-18%) и лещ (7-22%). Основу массы в ихтиоценозе стабильно обеспечивают лещ (37-51%), окунь (7-18%), судак (6-12%) и плотва (5-13%) (табл. 4). Окунь доминировал по численности до 2015 года, но затем его доля в ихтиоценозе снизилась в два раза, также снизилась и доля ерша. С 2016 г. значительно выросла численность леща, плотвы и судака.

С 2005 по 2019 гг. в Павловском водохранилище наблюдалось снижение уловов по численности на стандартную сетепостановку (с.с.): с 6,8 экз./с.с. до 3,1 экз./с.с. (табл. 4), главным образом за счет окуня, густеры, уклеи, язя, ерша и голавля. На фоне снижения доли мелкого частика в уловах выросла доля леща. С 2020 года наблюдается увеличение относительной численности (до 4 экз./с.с.) и массы уловов (до 1,03 кг/с.с.), прежде всего – за счет судака, в меньшей степени – плотвы, белоглазки. В результате регулярных компенсационных мероприятий в Павловское водохранилище в уловах стала чаще отмечаться стерлядь, но её относительная численность и масса пока остаются невысокими (табл. 4).

**Видовая структура ихтиофауны Павловского водохранилища  
по данным сетных уловов (ячей 10–100 мм) в 2005-2021 гг.**

Виды рыб	2005-2011 гг.		2012-2015 гг.		2016-2019 гг.		2020-2021 гг.	
	N, %	B, %						
Стерлядь					0,09	0,34	0,03	0,12
Щука	0,22	1,85	0,28	1,97	0,81	2,74	0,68	2,11
Лещ	7,41	36,46	12,92	50,98	21,54	49,18	15,61	46,78
Белоглазка	3,02	2,92	1,64	1,15	4,70	3,84	7,85	4,91
Плотва	9,40	10,00	8,53	5,41	17,91	12,60	18,20	11,81
Густера	4,30	2,77	3,78	2,30	3,89	3,56	4,50	2,34
Язь	0,86	1,38	0,21	0,16	0,03	0,14	0,06	0,12
Жерех	0,69	2,46	0,31	2,79	0,55	1,92	0,58	2,92
Уклейка	25,23	9,69	15,56	3,77	20,16	3,01	23,77	3,04
Голавль	3,76	4,00	5,42	3,44	3,43	3,29	4,00	3,74
Красноперка	1,97	0,92	0,98	0,49	1,36	0,27	1,02	0,23
Судак	1,35	5,85	2,72	12,30	2,66	9,18	5,60	12,28
Окунь	34,44	18,00	41,63	10,66	17,72	6,71	16,38	8,30
Ерш	7,14	1,69	5,47	0,66	4,57	0,27	1,45	0,12
Сом пресно-водный	0,07	1,69	0,18	2,95	0,23	2,19	0,09	0,70
Прочие*	0,14	0,32	0,37	0,99	0,35	0,76	0,18	0,48
<b>Улов на с.с.**</b>	<b>6,76 экз.</b>	<b>0,65 кг</b>	<b>3,89 экз.</b>	<b>0,61 кг</b>	<b>3,09 экз.</b>	<b>0,73 кг</b>	<b>3,96 экз.</b>	<b>1,03 кг</b>

Примечание. \*В группу "Прочие" входили хариус европейский, елец, чехонь, подуст, карп (сазан), линь, карась серебряный, гибриды карповых

\*\* с.с. – стандартная сетепостановка (сеть длиной 37,5 м, высотой 2 м, время экспозиции – 24 часа)

### **Выводы**

Основу видового разнообразия альгофлоры Павловского водохранилища на протяжении ряда лет формировали зеленые, диатомовые водоросли и цианопрокариоты. Развитие фитопланктона неравномерно по акватории водохранилища. Многолетняя динамика свидетельствует об увеличении общей биомассы и численности фитопланктона и возрастании доли мелкоклеточных синезеленых водорослей.

Зоопланктон Павловского водохранилища в период исследований являлся лимнофильным, кладоцерно-копеподным, с преобладанием каляноид родов *Eudiaptomus*, *Eurytemora* и кладоцер рода *Bosmina*. По уровню развития зоопланктона Павловское водохранилище относилось к водоемам олиготрофного типа.

Анализ многолетней динамики развития макрозообентоса показал, что к настоящему времени в водоеме произошло изменение структуры донных сообществ: биоценозы, ядро которых слагали олигохеты и личинки хирономид, вновь сменились биоценозами с доминированием дрейссены. В результате, биомасса кормового бентоса, достигла максимальных за последние 10 лет значений, а тро-

фический статус водоема изменился с мезотрофного до гиперэвтрофного. Однако, в водохранилище отмечается дальнейшее уменьшение биомассы «мягкого» бентоса, главным образом личинок хирономид и олигохет.

Структура ихтиоценоза Павловского водохранилища за период исследований существенно не менялась. Отмечено только снижение численности и массы окуня, в меньшей степени – ерша, в тоже время наблюдается увеличение численности судака, плотвы и белоглазки. Численность и масса остальных видов изменяются слабо, за весь период наблюдений остаются низкими доли хищников – сома, щуки и жереха.

### Библиографический список

1. *Водоросли*. Справочник. Киев: Наук. Думка, 1989. 608 с.
2. *Китаев С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2007. 395 с.
3. *Методика* изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
4. *Ресурсы* поверхностных вод СССР. Л., 1973. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. 848 с.
5. *Сечин Ю.Т.* Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах. М., 1990. 50 с.

С.Н. Казаринов<sup>1</sup>, Л.В. Комарова<sup>1,2</sup>, С.В. Поносов<sup>1</sup>, И.Н. Мерзляков<sup>1</sup>,  
П.Б. Михеев<sup>2,3</sup>, kazarinov@permniro.ru

<sup>1</sup>Пермский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Пермь, Россия

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

<sup>3</sup>Хабаровский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Хабаровск, Россия

## **РАСЧЕТ НЕУЧТЕННОГО ВЫЛОВА РЫБЫ НА ПРИМЕРЕ СУДАКА SANDER LUCIOPERCA (LINNAEUS, 1758) КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)**

Оценка объемов неучтенного и браконьерского изъятия водных биоресурсов является одной из важнейших проблем, без решения которой не возможна корректная оценка промысловых запасов. По результатам исследований промысловых уловов на Камском водохранилище в период 2015-2017 гг., был проведен анализ возможного неучтенного изъятия рыбы на водоеме. На примере судака установлено, что объемы возможного неучтенного изъятия вида на промысле могут составлять более чем двукратную величину официально регистрируемого вылова.

*Ключевые слова:* судак, Камское водохранилище, промысловые запасы, неучтенный вылов.

S.N. Kazarinov<sup>1</sup>, L.V. Komarova<sup>1,2</sup>, S.V. Ponosov<sup>1</sup>, I.N. Merzlyakov<sup>1</sup>,  
P.B. Mikheev<sup>2</sup>, kazarinov@permniro.ru

<sup>1</sup>Perm Branch «VNIRO», Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm State University, Perm, Russia

<sup>3</sup>Khabarovsk branch “VNIRO”, Khabarovsk, Russia

## **CALCULATION OF UNACCOUNTED FISH CATCHES BY THE EXAMPLE OF PIKEPERCH SANDER LUCIOPERCA (LINNAEUS, 1758) OF THE KAMA RESERVOIR (PERM KRAI)**

One of the most important problems is estimation of unaccounted and poached volumes of withdrawal of aquatic biological resources. Correct assessment of commercial stocks is not possible without the solution of this problem. Analysis of a possible unaccounted for removal of fish in the reservoir was carried out based on the results of studies of commercial catches in the Kama reservoir in the period 2015-2017. Using the example of pikeperch, it has been established that the volume of possible unaccounted withdrawal of the species in the fishery can be more than twice the amount of the officially registered catch.

*Keywords:* pikeperch, Kama reservoir, commercial stocks, unaccounted catch.

### ***Введение***

Судак *Sander lucioperca* является важным объектом промышленного и любительского рыболовства во многих водохранилищах и озерах Европы, а также

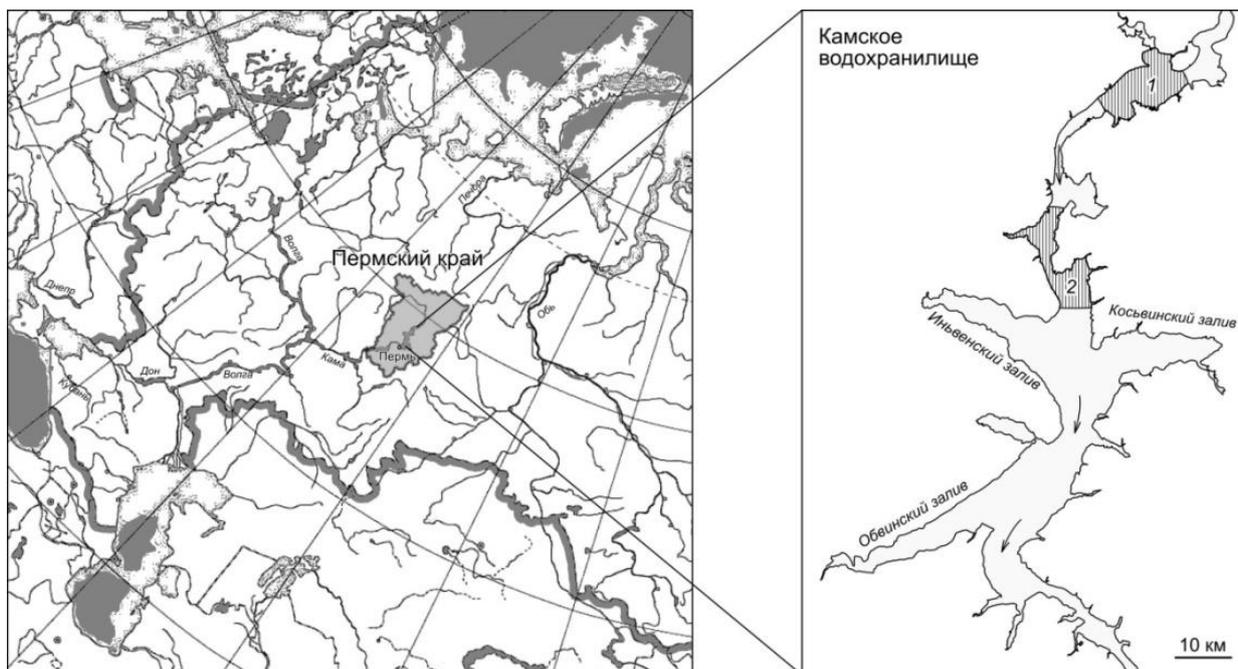
в местах его акклиматизации. В Камском водохранилище судак, являясь наиболее коммерчески ценным видом, занимает третье место по объёмам вылова после леща *Abramis brama* и плотвы *Rutilus rutilus*. Промысел судака происходит преимущественно в Камском плёсе Камского водохранилища, откуда поступают основные данные промысловой статистики. Кроме того, судак является одним из ключевых элементов ихтиофауны Сылвенско-Чусовского плёса. На отдельных участках Камского водохранилища судак зачастую составляет основу любительских уловов. Высокая коммерческая ценность вида способствует тому, что данные официальных уловов рыбы не соответствуют реальным. Проблема неконтролируемого изъятия рыбы на водоемах была характерна как для промысла на р. Каме до зарегулирования стока, так и на разных этапах существования промысла на Камском водохранилище [2; 3; 5-7]. В настоящее время неучтенный вылов на водоеме, прежде всего по наиболее востребованным и ценным видам рыб, достигает значительных размеров. По опросам рыбаков, осуществляющих промысел, в рыбоприемные пункты не поступает до половины уловов хищных видов рыб – судака, щуки, налима и жереха. Неконтролируемое изъятие рыбы на водоеме приводит к искажению оценки промысловых запасов рыбы на водоеме и расчету общих допустимых уловов рыбы на водоеме. Специфика промысла рыбы на Камском водохранилище состоит в том, что он базируется на использовании ставных сетей, траловые суда в Пермском крае отсутствуют, что делает зависимым оценку промысловых запасов видов рыб от данных официальной рыбопромысловой статистики.

Цель работы – оценка объемов возможного неучтенного вылова судака в Камском водохранилище. Полученная информация является ключевым элементом для разработки мер по регулированию промысла в соответствии с предосторожным подходом к рациональной эксплуатации объектов промысла [1].

### ***Материал и методы исследования***

Сбор ихтиологического материала осуществлялся в верхнем районе Камского плёса Камского водохранилища в период 2015-2017 гг. на рыболовных (рыбопромысловых) участках, находящихся в аренде у субъектов промысловства (рисунок). Отлов рыбы субъектами промысловства осуществлялся ставными сетями сечением ячеи от 30 до 70 мм. Основной объем материала был собран в осенние месяцы (сентябрь-октябрь) и период ледостава. На эти периоды в Камском водохранилище приходится около 90% годового вылова рыбы на водоеме.

Количество исследованного ихтиоматериала за период 2015-2017 гг. составило 11829 шт., в том числе судака 1109 шт. Количество рыбопромысловых усилий, совершенных субъектами промысловства за период проведения исследования составило 4368 стандартных сетепостановок (стандартная сетепостановка – сеть длиной 37,5 м, высотой 2,0 м, стоявшая сутки).



**Места сбора (1, 2) ихтиологического материала в верхнем районе Камского водохранилища в 2015-2017 гг.**

В качестве исходного объекта, относительно которого производился перерасчет уловов, был выбран лещ – самый массовый и коммерчески малоценный вид. Нами было принято, что официальный вылов леща соответствует фактическому. Исходя из этого, для каждого года были определены константы пересчета ( $K$ ), рассчитанные как отношение ежегодной величины официального вылова леща ( $C_{оф}$ ) к ежегодной величине научно-исследовательских данных по вылову леща ( $C_{ни}$ ), полученных нами на водоеме:

$$K = \frac{C_{оф}}{C_{ни}}$$

Путем умножения величины вылова судака, полученного по научно-исследовательским данным, на константу пересчета был восстановлен возможный реальный объем вылова вида с учетом возможного неучтенного изъятия на промысле.

### ***Анализ результатов***

При сопоставлении данных, основанных на учете рыбы в промысловых уловах с данными рыбопромысловой статистики на примере верхнего района водохранилища, нами были получены результаты, подтверждающие значительные объемы неучтенного изъятия судака. Разница, полученная при сопоставлении восстановленного возможного объема вылова вида и вылова по данным официальной промысловой статистики, составляла от 226% в 2015 г. до 401% в 2017 г. (таблица).

Полученные нами величины близки к данным о величине нелегального промысла судака в дельте Волги и Северном Каспии, которая с 2012 по 2016 гг. в среднем в 2,0 раза превышала фактический вылов [4]. Близкая ситуация складывается в Южном Каспии (Иран), где также развит нерегулируемый промысел судака и официальная статистика не отражает объемы его реального изъятия [8].

**Восстановленный возможный вылов судака в верхнем районе Камского плеса  
Камского водохранилища за период 2015-2017 гг.**

Год	Вылов судака, т		Константа пересчета	Восстановленный вылов судака, т
	По данным официальной статистики	Наши данные		
2015	7,44	0,176	95,79	16,86
2016	8,14	0,214	126,25	27,02
2017	8,22	0,492	66,95	32,93
В среднем за 2015-2017 гг.	7,93	0,29	96,33	25,60

### **Выводы**

Установлено, что объемы возможного неучтенного вылова на промысле превосходят официальные данные в 2-4 раза. Полученная информация является важным элементом для подготовки прогноза общих допустимых уловов рыбы на водоеме и разработки мер по регулированию промысла в соответствии с предосторожным подходом к рациональной эксплуатации объектов промысла.

### **Библиографический список**

1. *Бабаян В.К.* Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). Москва, 2000. 192 с.
2. *Букирев А. И., Козьмин Ю. А., Соловьева Н. С.* Рыбы и рыбный промысел Средней Камы. Рыбное хозяйство Камы, 3: 1959. С. 17–54.
3. *Костицын В. Г.* Влияние плавного лова на рыбные запасы и его регламентирование в фазе снижения популяционной численности. Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование: Материалы научно-практической конференции. Пермь, 2001. С. 73–77.
4. *Левашина Н.В.* Промыслово-биологическая характеристика популяции судака *Sander lucioperca* дельты Волги в современный период. Вопросы рыболовства, 2018. 19(3): С. 343–353.
5. *Паздерин В. П.* К рыбохозяйственному освоению Камского и Воткинского водохранилищ. Биологические ресурсы Камских водохранилищ: Ученые записки №338, вып. 1975. С. 9–15.
6. *Пушкин Ю. А.* Характеристика современного состояния ихтиофауны и промысла в водоемах Пермской области и перспективы развития рыбного хозяйства. Биологические ресурсы водоемов Западного Урала: Межвузовский сборник научных трудов. Пермь, 1980. С. 91-103
7. *Соловьева Н. С., Зиновьев Е. А.* Изменение ихтиофауны Средней Камы после зарегулирования стока. Биология рыб бассейна средней Камы: Ученые Записки Пермского Университета № 261. 1971. С. 3-16.
8. *Abdolmalaki S., Psuty I.* The effects of stock enhancement of pikeperch (*Sander lucioperca*) in Iranian coastal waters of the Caspian Sea. ICES Journal of Marine Science, 64(5). 2007. P. 973–980 <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm062>

Д.П. Карабанов<sup>1</sup>, Р.З. Сабитова<sup>1</sup>, А.А. Котов<sup>2</sup>, dk@ibiw.ru

<sup>1</sup> Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия

## **ЧУЖЕРОДНЫЕ ВИДЫ CLADOCERA (CRUSTACEA: BRANCHIOPODA) В ВОДОХРАНИЛИЩАХ РОССИИ: ЕДИНИЧНЫЕ СЛУЧАИ ИЛИ ГЛОБАЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС?**

В работе обсуждается современное распространение неаборигенных видах Cladocera (Crustacea) и их инвазивный потенциал в Волго-Камском бассейне. Установлено, что встречаемость чужеродных видов ветвистоусых ракообразных в ряде регионов выше, чем обычно предполагалось. Проанализирована вероятность естественного расширения ареала по сравнению с интродукцией, опосредованной человеком. Для Волжско-Камского бассейна имеется как минимум 13 неаборигенных таксонов Cladocera, часть из которых являются настоящими инвазивными видами (т.е. оказывающими негативное воздействие на местные экосистемы). Большинство чужеродных видов представлены зоопланктерами, способными оказать существенное влияние на пелагические пресноводные экосистемы, однако выявлен и ряд чужеродных обитателей прибрежья.

*Ключевые слова:* пресноводные экосистемы, биологические инвазии, Cladocera, чужеродные виды, Волга, Кама, распространение.

D. Karabanov<sup>1</sup>, R. Sabitova<sup>1</sup>, A. Kotov<sup>2</sup>, dk@ibiw.ru

<sup>1</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the RAS, Borok, Russia

<sup>2</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the RAS, Moscow, Russia

## **NON-INDIGENOUS SPECIES OF CLADOCERA (CRUSTACEA: BRANCHIOPODA) IN RUSSIAN RESERVOIRS: SINGLE CASES OR GLOBAL PROCESS?**

The article discusses current knowledge on non-indigenous species of the Cladocera (Crustacea) and their invasive potential in the Volga-Kama basin. The potential impacts and occurrence of cladoceran exotics may be higher than generally assumed. The probability of a natural range expansion versus a human-mediated introduction is discussed. In the Volga-Kama region, non-indigenous records are confirmed for at least 13 cladoceran taxa, of which several records are true invasions (i.e., with negative impacts on native ecosystems). The majority of non-indigenous species are zooplankters which can have a significant impact on the pelagic freshwater ecosystems, yet we also report on introductions by some littoral taxa.

*Keywords:* freshwater ecosystems, biological invasions, Cladocera, non-indigenous species, Volga, Kama, distribution range.

### ***Введение***

Задача всестороннего изучения процесса расселения видов за пределы их исторических ареалов не утратила своей актуальности в настоящее время. Растущее антропогенное воздействие, преобразующее естественную среду, осложненное глобальными климатическими сдвигами, резко активизировавшимися в

начале XXI в., вызвало ускоренную трансформацию ареалов многих видов растений и животных. Создание на крупных реках Европы системы водохранилищ привело к значительным изменениям аборигенных сообществ и сформировало благоприятные условия для расширения ареала ряда видов гидробионтов.

Определение и своевременное выявление новых видов за пределами их исторических ареалов, а также коридоров и векторов биологических инвазий, имеет важное значение для рационального природопользования и целей устойчивого развития. Основная задача при массовом скрининге биологических ресурсов состоит в быстром и качественном определении видового состава с точным вычленением адвентивных компонентов.

Особую озабоченность вызывают те водные неаборигенные виды, которые стали или становятся инвазивными непосредственно в наблюдаемый период. Среди водных беспозвоночных особый интерес представляют ветвистоусые ракообразные, Cladocera (Crustacea: Branchiopoda), являющиеся доминантами в планктонных и прибрежных экосистемах.

Одна из крупнейших водных систем Европы – Волжско-Камская, как масштабные гидрологические трансформации, связанные постройкой плотин и перераспределением стока, так и была вовлечена в глобальные проекты по интродукции и акклиматизации водных животных [4]. Инвентаризация чужеродных видов в этом регионе имеет крайне важное значение как для оценки качества среды и имеющихся биологических ресурсов, так и для прогноза возможного негативного воздействия чужеродных видов на нативные экосистемы.

В работе на основании как оригинальных, так и опубликованных данных мы стараемся провести анализ и определить причины расширения ареалов видов Cladocera.

### *Материалы и методы исследования*

Оригинальный материал был собран по всему судоходному течению рек Волга (от г. Тверь до дельты) и Кама (от г. Березняки до устья) в ходе комплексных экспедиций на НИС «Академик Топчиев» ИБВВ РАН в летне-осенний сезон 2015-2022 гг. Всего обработано 280 комплексные пробы зоопланктона из пелагиали и 372 пробы из прибрежья. Пелагические пробы отбирали сетью Джели с диаметром входного отверстия 12 см. и ситом с размером ячеей 74 мкм. Облавливали весь столб воды – от дна до поверхности водоема. В прибрежье сбор материала проводился фильтрацией 100 л. воды с последующей концентрацией планктона через сито с ячейей 74 мкм. Литературный анализ включал более 200 источников, посвящённых зоопланктону изученных водоёмов.

### *Анализ результатов*

Подробно качественной и количественной характеристике и многолетней динамике зоопланктона волжско-камского региона посвящено много работ [1; 5; 11; 14-15]. Здесь мы рассмотрим лишь несколько наиболее показательных примеров, имеющих отношение к теме биологических инвазий. В целом же можно отметить, что в настоящее время неаборигенные ракообразные формируют до

трети числа таксонов и до четверти общей биомассы зоопланктона Волго-Камского бассейна [14].

Сем. Sididae в Волжско-Камском регионе представлено несколькими чужеродными видами рода *Diaphanosoma*. Популяции дальневосточной *D. dubium* присутствуют на Нижней Волге и в настоящее время происходит её дальнейшее расселение по бассейну [10]. Имеются сведения о встречаемости южных видов *D. mongolianum* [17] и *D. orghidani* [12]. Однако, данные находки могут быть следствием как следствием расселения видов, так и артефактом изменений таксономии этой группы, поскольку ранее эти виды не могли быть надежно определены вследствие их отсутствия в соответствующих определителях [10]. Ещё один вид, встречающийся на Средней Волге – западноевропейская *Limnosida frontosa* [10].

Среди представителей сем. Daphniidae можно выделить существование в Самарской области популяции гибридной дальневосточной и местной *Daphnia* группы *curvirostris* [9]. Первый вид не найден «в чистом» виде, т.к., скорее всего, он был занесен в прошлом в регион, дал гибриды, но сам не выжил.

Мелкий представитель сем. Moinidae, *Moina micrura* впервые обнаружена в бассейне Верхней Волги в 1970-х гг. [7] и в настоящее время этот южный вид расселяется в северном направлении, причем встречается в планктоне.

Сем. Pycnosphyidae представлено только дальневосточным *Pycnosphyus spinifer* с единственной пока отмеченной точкой обитания в Ветлуге [3]. Происхождение этой популяции, вероятно, связано с деятельностью человека или естественной интродукцией эфиппиумов водоплавающими птицами (например, на их оперении).

Факты наличия инвазивных волжских популяций *Bosmina (Eubosmina) coregoni* (сем. Bosminidae) требуют уточнения, в первую очередь с использованием генетических методов. Это широко распространенный таксон, и разные морфотипы происходят в разных водоёмах в течение относительно небольшого времени независимо друг от друга [8].

Одно из самых многочисленных среди ветвистоусых ракообразных сем. Chydoridae представлено лишь одной инвазивной популяцией. Обитающий в Волге [18] вид *Pleuroxus cf. denticulatus*, возможно, имеет центральноевропейский нативный ареал. Однако окончательный статус этого таксона, описанного из Северной Америки, в Европе должен быть проверен: он может представлять собой самостоятельный вид.

Сем. Podonidae представлено тремя чужеродными видами, которые продвигаются вверх по Волге: это понто-каспийские *Cornigerius maeoticus*, *C. bicornis* и *Podonevadne trigona* [16].

Из сем. Cercopagidae вверх по Волге и Каме [13] из Каспийского моря расселяется *Cercopagis pengoi* – один из ста самых опасных чужеродных видов России [2]. Это хищное ракообразное способно изменить структуру сообщества зоопланктона, выедая его мелких представителей, что увеличивает частоту «цветения» водоёма. Кроме того, этот вид создает трудности для рыболовства засорением сетей и даже может вызывать аллергическую реакцию у людей [2].

Долговременный мониторинг и применение новых (в том числе и генетических) методов идентификации выявляют более широкое, чем ожидалось, расселение неаборигенных видов ракообразных в бассейне Волги-Камы. Но кроме реального расширения ареалов как новые находки часто выдаются либо слабо дифференцированные таксоны, либо «новые» виды, возникающие после таксономических ревизий. Для окончательного подтверждения чужеродного статуса, помимо применения генетических методов, там, где это возможно, желательно использовать палеолимнологический подход [11].

Несомненно, что воздействие человека на пресноводные экосистемы со временем будет лишь усиливаться, что будет способствовать дальнейшему распространению чужеродных видов кладоцер. На сегодняшний день можно с уверенностью заявить, что смешение пресноводных фаун в ближайшее время будет усиливаться, а шанс остановить этот процесс в антропоцене весьма низок. «Незаметное» смешение фаун уже происходит, и это чётко прослеживается при проведении популяционно-генетических исследований: иногда «местный» генотип полностью замещается «чужеродным» при, казалось бы, стабильном составе на основании морфологического определения. На данный момент мы не знаем, каковы последствия такого смешения или полной замены генотипа для нативных сообществ и ещё меньше известно о корреляции между инвазией кладоцер и биоразнообразием среды обитания в целом.

### **Выводы**

Для Волжско-Камского бассейна имеется как минимум 13 неаборигенный таксон кладоцер, часть из которых являются настоящими инвазивными видами. Встречаемость ряда чужеродных видов ветвистоусых ракообразных может быть выше, чем это обычно предполагается. Предлагается активизировать работу по выявлению чужеродных видов за счёт широкого использования генетических методов, а также проведения более подробного долговременного мониторинга в данном регионе.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00279, <https://rscf.ru/project/23-24-00279/>*

### **Библиографический список**

1. Гаврилко Д.Е., Жихарев В.С., Ручкин Д.С. и др. Ветвистоусые ракообразные зарослей высших водных растений европейской части России (на примере притоков Горьковского и Чебоксарского водохранилищ) // Зоологический журнал. 2020. Т. 99. № 2. С. 146–156.
2. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / под ред. Дгебуадзе Ю.Ю., Петросяна В.Г. и Хляп Л.А. М.: КМК, 2018. 688.
3. Жихарев В.С., Неретина А.Н., Золотарева Т.В., и др. *Plyocryptus spinifer* Herrick 1882 (Crustacea, Branchiopoda, Cladocera): первая находка вида для фауны Европы // Зоологический журнал. 2020. Т. 99. № 2. С. 138–145.

4. Карневич А.Ф., Бердический Л.С., Луконина Н.К., и др. Результаты акклиматизации рыб и кормовых организмов в водоемах СССР // Акклиматизация рыб и беспозвоночных в водоемах СССР. Известия ГосНИОРХ, Том 103. Л.: ГосНИОРХ, 1975. С. 5–19.
5. Лазарева В.И., Сабитова Р.З., Быкова С.В., и др. Распределение летнего зоопланктона в каскаде водохранилищ Волги и Камы // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2018. № 83(86). С. 62–84.
7. Столбунова В.Н., Ривьер И.К., Пидгайко М.Л. Новые для Иваньковского водохранилища виды планктонных Cladocera // Биология внутренних вод. Информ. бюлл. 1975. № 28. С. 33–36.
8. Faustova M. Phylogeny, phylogeography and taxonomy of selected members of the family Bosminidae. Ph.D. Thesis. Prague, 2017. 104 p.
9. Karabanov D.P., Garibian P.G., Bekker E.I., et al. Genetic signature of a past anthropogenic transportation of a Far-Eastern endemic Cladoceran (Crustacea: Daphniidae) to the Volga Basin // Water. 2021. Vol. 13. No. 18. P. 2589.
10. Korovchinsky N.M. Cladocera: Ctenopoda. Families Sididae, Holopediidae and Pseudopenilidae (Branchiopoda: Cladocera). Weikersheim: Backhuys, Margraf Publishers GmbH. 2018. 203 p.
11. Kotov A.A., Karabanov D.P., Van Damme K. Non-indigenous cladocera (Crustacea: Branchiopoda): from a few notorious cases to a potential global faunal mixing in aquatic ecosystems // Water. 2022. Vol. 14. No. 18. P. 2806.
12. Lazareva V.I. The distribution of species of the genus *Diaphanosoma* (Crustacea, Cladocera) in reservoirs of the Volga and Sheksna Rivers: Impact of environmental factors // Inland Water Biology. 2012. Vol. 5. No. 3. P. 257–265.
13. Lazareva V.I. New records of the Ponto-Caspian predatory Cladoceran *Cerropagis pengoi* (Ostroumov, 1891) (Crustacea, Onychopoda) in the water reservoirs of the Kama and Volga Rivers // Inland Water Biology. 2019a. Vol. 12. No. 3. P. 290–297.
14. Lazareva V.I. Spreading of alien zooplankton species of Ponto-Caspian origin in the reservoirs of the Volga and Kama Rivers // Russian Journal of Biological Invasions. 2019b. Vol. 10. No. 4. P. 328–348.
15. Lazareva V.I. Long-term changes in the composition and abundance of the zooplankton community in Kama River reservoirs // Inland Water Biology. 2020. Vol. 13. No. 2. P. 214–229.
16. Panov V.E., Rodionova N.V., Bolshagin P.V., et al. Invasion biology of Ponto-Caspian onychopod cladocerans (Crustacea: Cladocera: Onychopoda) // Hydrobiologia. 2007. Vol. 590. No. 1. P. 3–14.
17. Zhdanova S.M. *Diaphanosoma mongolianum* Ueno, 1938 (Cladocera: Sidiidae) in lakes of Yaroslavl Oblast (Russia) // Inland Water Biology. 2018. Vol. 11. No. 2. P. 145–152.
18. Zhikharev V.S., Sinev A.Y., Shurganova G.V. New data on the distribution of the alien species *Pleuroxus denticulatus* Birge, 1879 (Cladocera: Chydoridae) in European Russia // Invasion of alien species in Holarctic. Borok-VI. Book of abstr. Kazan': Buk Publ. 2021. P. 245.

А.А. Каралаш<sup>1,2</sup>, С.Н. Казаринов<sup>1</sup>, Л.В. Комарова<sup>1,2</sup>, И.Н. Мерзляков<sup>1</sup>,  
karalash.anka@yandex.ru

<sup>1</sup> Пермский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Пермь, Россия

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

## **ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛИНЕЙНОГО РОСТА СИНЦА (*BALLERUS BALLERUS*) КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

В статье рассмотрен линейный рост двух локальных стад синца, основанный на материале, собранном в мае 2022 г. в верхнем районе Камского водохранилища на пространственно удаленных нерестовых участках. Установлена значимая разница в линейном росте рассматриваемых группировок рыб.

*Ключевые слова:* синец, локальное стадо, линейный рост, Камское водохранилище.

A.Karalash<sup>1,2</sup>, S. Kazarinov<sup>1</sup>, L. Komarova<sup>1,2</sup>, I. Merzlyakov<sup>1</sup>  
karalash.anka@yandex.ru

<sup>1</sup>Perm Branch «VNIRO», Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm State University, Perm, Russia

## **INTRAPOPULATION VARIABILITY OF LINEAR GROWTH OF THE BLUE BREAM (*BALLERUS BALLERUS*) KAMA RESERVOIR**

This paper presents the research of linear growth of two local herds of blue bream, based on the material collected in the pre-spawning period of 2022 in spatially remote spawning sites in the upper region of the Kama reservoir. A significant difference in the linear growth rates of the groups under consideration has been established.

*Keywords:* blue bream, local herd, linear growth, Kama reservoir.

### ***Введение***

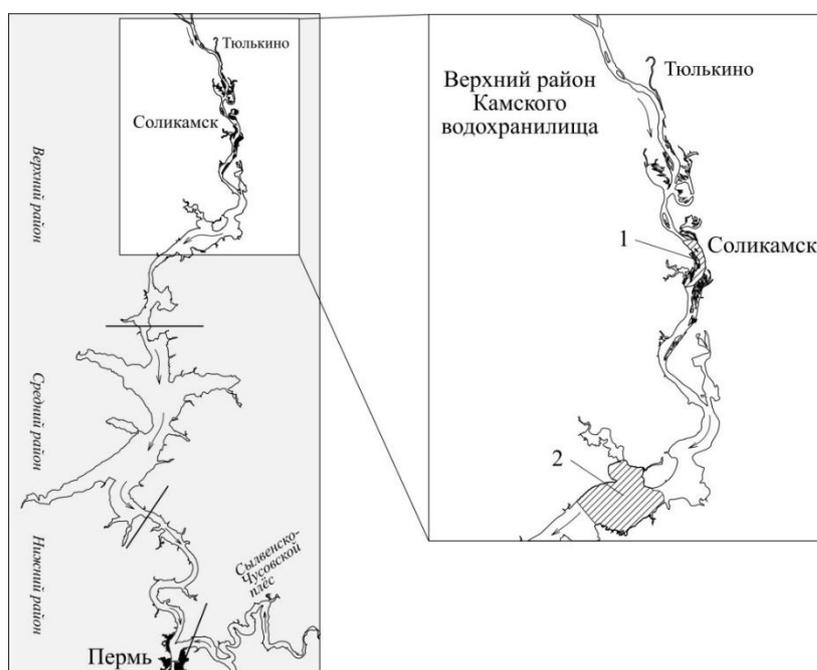
Как известно, популяции рыб в водоемах представлены отдельными группировками (локальными стадами), центры формирования которых приурочены к разным зонам размножения. В условиях озер и водохранилищ обособленность локальных стад, четко выраженная в период нереста, может сохраняться и в дальнейшем, вследствие изолированности нагульных площадей, что может приводить как к разному темпу роста рыб, так и к различиям в прочих биологических параметрах этих группировок [8; 9].

В работе проведено сравнение линейного роста двух локальных стад синца, пойманных в верхнем районе Камского водохранилища, представляющего собой водоем, вытянутый с севера на юг и имеющего сложную морфологию, выраженную в резком различии гидрологических условий [6]. Нерестилища исследуемых группировок пространственно удалены на 65–70 км [1].

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

В работе использован ихтиологический материал, собранный в преднерестовой период в мае 2022 г. в верхнем районе Камского плёса Камского водохранилища (рисунок). Рыбу отлавливали ставными сетями с ячеей 30, 35, 36, 40, 45, 50, 55 и 60 мм. Для сравнения линейного роста в локациях 1 было поймано 24 экземпляра синца длиной от 14,4 до 31,0 см, 4–12-ти годовалого возраста; в локации 2 было отобрано 210 экземпляров синца, длиной от 22,1 до 32,1 см, имеющих 6-12-ти годовалый возраст.

Сбор и обработка биологического материала осуществлялись согласно общепринятым ихтиологическим методикам [10]. Длину рыб измеряли до конца чешуйного покрова (SL) с точностью до 0,1 см. Возраст рыб определяли по чешуе с использованием стереоскопического микроскопа МБС-10.



**Места сбора ихтиологического материала в верхнем районе Камского водохранилища в 2022 г.: 1 – локация 1; 2 – локация 2**

Для оценки линейного роста выборки проверялись на нормальность распределения, оценка которого осуществлялась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Сравнение выборок, имеющих нормальное распределение, проводили с помощью t-критерия Стьюдента. Не имеющие нормальное распределение выборки сравнивали непараметрическим критерием двух независимых выборок Манна-Уитни.

При определении нормальности выборок и сравнения их статистическими критериями использовали стандартный уровень значимости  $p=0,05$ .

Статистическую обработку данных проводили по стандартным методикам [3] с использованием пакетов статистического анализа R [14].

## ***Анализ результатов***

При сравнении линейного роста двух локальных стад синца была получена значимая разница для всех сравниваемых возрастов (таблица).

Для синца, нагуливающегося в условиях водохранилища, характерно совершение нерестовых миграций, имеющих различную протяженность. Так, для синца Цимлянского водохранилища, отмечены нерестовые миграции в реку Дон на десятки километров [5]. Значимые различия в линейном росте рыб свидетельствуют о пространственной изоляции рассматриваемых локальных стад синца в нагульный период.

Замедление линейного роста группировки синца из локации 1 относительно рыб локации 2, связано, прежде всего, с гидрологическими особенностями участков водоема, расположенных вблизи мест размножения и являющихся местами нагула этих группировок рыб. Участок водохранилища в локации 1 на значительном протяжении является речным, скорость течения в зависимости от водности года в летний период варьирует от 0,36 до 1,31 м/с. Полученные нами результаты линейного роста синца, нерестилища которого находятся в локации 1, близки к линейному росту рыб, обитающих в реке Кама до зарегулирования её стока и пойманных в августе в её верхней части, географически соответствующей локации 2. Средняя длина синца, в уловах составляла в возрастах 1+ – 87 мм, 2+ – 115 мм, 3+ – 150 мм, 4+ – 181 мм, 5+ – 207 мм, 6+ – 214 мм, 7+ – 297 мм [7].

**Темп линейного роста синца в верхнем районе Камского водохранилища в мае 2022 г.**

	<i>Возраст, годы</i>				
	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>Локация 1</i>	$\frac{144 (1)}{144}$	$\frac{185 (1)}{185}$	$\frac{197.7 \pm 6.2 (3)}{190 - 210}$	$\frac{214 \pm 6.0 (6)}{205 - 239}$	$\frac{231.2 \pm 4.8 (5)}{215 - 242}$
<i>Локация 2</i>	–	–	$\frac{238.3 \pm 1.2 (49)}{221 - 260}$	$\frac{257.4 \pm 1.2 (50)}{240 - 280}$	$\frac{275.7 \pm 0.5 (56)}{265 - 290}$
<i>p</i>	–	–	<b>3.53e-03</b>	<b>7.24e-05</b>	<b>2.12e-04</b>
	<i>Возраст, годы</i>				
	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	
<i>Локация 1</i>	$\frac{255 \pm 9.4 (5)}{232 - 280}$	284 (1)	290 (1)	310 (1)	
<i>Локация 2</i>	$\frac{286.6 \pm 2.5 (11)}{267 - 295}$	$\frac{294.4 \pm 2.3 (15)}{280 - 310}$	$\frac{302.5 \pm 2.2 (12)}{293 - 320}$	$\frac{312.2 \pm 1.0 (17)}{305 - 321}$	
<i>p</i>	<b>6.16e-03</b>	–	–	–	

Примечание: над чертой – среднее арифметическое значение показателя (M), ошибка среднего (SE), под чертой пределы варьирования показателя (min–max), в скобках – число экз.

В локации 2 наблюдается водохранилищный режим, скорость течения изменяется в летний период в маловодные годы составляет 0,08 м/с, в многоводные годы варьирует от 0,08 до 0,31 м/с [4; 13]. В условия водохранилища улучшаются условия нагула синца, приводящие к ускорению темпов линейного роста рыб, что было отмечено уже в первые годы существования Камского водохранилища [11], так и в других водоемах [2; 12].

### **Выводы**

Результаты исследования линейного роста рыб показали, что рассматриваемые группировки рыб пространственно изолированы в период нагула. Гидрологический режим водоема оказывает влияние на условия нагула рыб и приводит к выраженному замедлению темпов линейного роста рыб, обитающих в условиях выраженной проточности.

## Библиографический список

1. Атлас единой глубоководной системы европейской части РФ. Река Кама. От селения Керчевский до города Чайковский / под ред. Задачаина А.А. и Новикова И. Н. Том 9. Часть 1. ФБУ «Администрация Волго-Балт». Санкт-Петербург. 2018. 32 с
2. Герасимов Ю. В. Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология // РАН, Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина. Ярославль: Филигрань, 2015. 418 с.
3. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. 302 с.
4. Китаев А. Б., Клименко Д. Е., Ларченко О.В. Скоростной режим района переменного подпора Камского водохранилища и его возможные изменения в связи с созданием хозяйственного объекта // Географический вестник. Гидрология. Выпуск 4 (15). Пермь. 2010. С. 53–63.
5. Лапицкий И.И. Направленное формирование ихтиофауны и управление численностью популяций рыб в Цимлянском водохранилище // Тр. ВО ГосНИОРХ. Т. 4. Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1970. 279 с.
6. Матарзин Ю.М., Мацкевич И.К. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ. // Вопросы формирования водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство. Пермь. 1970. С. 27–45.
7. Меньшиков М.И. О влиянии сточных вод Березниковских и Соликамских комбинатов на ихтиофауну Камы. Труды Биол. ин-та при Пермском университете. 1939. Т. 8. Вып. 3–4. С. 49–72.
8. Поддубный А.Г., Халько В.В. Современные представления о локальных стадах у рыб и экологических предпосылках их образования. // Структура локальных популяции у пресноводных рыб. Вып. 60 (63). Рыбинск. 1990. С. 3–22.
9. Поддубный А.Г., Малинин Л.К. Миграции рыб во внутренних водоёмах. М.: Агропромиздат, 1988. 223 с.
10. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
11. Пушкин Ю.А., Богданов Г.И. Синец Камского водохранилища. // Биология рыб бассейна средней Камы. Учёные записки № 195. Пермь. 1969. С. 19–32.
12. Сайфуллин Р.Р., Северов Ю.А., Шакирова Ф.М. Синец Куйбышевского водохранилища в современных условиях развития его экосистемы // Вестник ТГГПУ. Выпуск 4 (22). Томск. 2010. С. 21–29.
13. Шайдулина А. А. Двинских С.А. Режим скоростей течения в районе переменного подпора Камского водохранилища // Географический вестник. Гидрология. Выпуск 3 (42). Пермь. 2017. С. 61–70.
14. R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>.

П.Б. Михеев<sup>1,2</sup>, М.А. Бакланов<sup>1</sup>, Н.Н. Паньков<sup>1</sup>, Е.А.<sup>1</sup> Меньшикова  
pmikheev@yandex.ru

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия;

<sup>2</sup>Хабаровский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Хабаровск, Россия

## **ОЦЕНКА ТОЛЕРАНТНОСТИ ЗООБЕНТОСА И РЫБ ТЕКУЧИХ ВОД К ЗАГРЯЗНЕНИЮ КИСЛЫМИ ШАХТНЫМИ ВОДАМИ НА ПРИМЕРЕ РЕК КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА (ПЕРМСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)**

Работа посвящена оценке влияния кислых шахтных вод на разнообразие, численность и биомассу донных макробеспозвоночных и рыб реки Кизел, в которую поступают кислые шахтные воды. Биологические материалы, а также пробы воды и донных отложений, были собраны в р. Кизел, а также в рр. Вильва и Яйва, в которые поступают загрязненные воды. Результаты свидетельствуют о крайне негативном влиянии шахтных вод как на разнообразие, так и на количественные характеристики зообентоса. В условиях загрязнения основу бентоценозов составляли личинки хирономид. Рыбы отсутствовали на участках реки, подверженной интенсивному загрязнению, вновь появляясь только после ее слияния с двумя крупными притоками.

*Ключевые слова:* кислые шахтные воды, загрязнение, бореальные лотические экосистемы, бентос, рыба.

P.B. Mikheev<sup>1,2</sup>, M.A. Baklanov<sup>1</sup>, N.N. Pankov<sup>1</sup>, E.A. Menshikova<sup>1</sup>  
pmikheev@yandex.ru

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

<sup>2</sup>Khabarovsk branch of VNIRO, Khabarovsk, Russia

## **ASSESSMENT OF TOLERANCE OF ZOOBENTHOS AND FISH OF FLOWING WATERS TO POLLUTION BY ACID MINE WATERS: CASE STUDY ON THE RIVERS OF THE KIZELOVSKY COAL BASIN (PERM KRAI, RUSSIA)**

We assessed the influence of acid mine waters on the diversity, abundance and biomass of bottom macroinvertebrates and fish of the Kizel River, which receives acid mine waters. Biological materials and samples of water and sediments were collected in the Kizel River and in the Vilva and Yayva rivers, which receive contaminated waters. The results indicate an extremely negative impact of mine waters, both on the diversity and quantitative characteristics of zoobenthos. The chironomid larvae were the most abundant among benthic animals in the conditions of pollution. Fish were absent in areas of the river sections with most intense pollution, reappearing only after its confluence with two major tributaries.

*Keywords:* acid mine wastewaters, pollution, boreal lotic ecosystems, benthos, fish.

## ***Введение***

Загрязнение кислыми шахтными водами поверхностных водоемов является негативным последствием горнодобывающей деятельности. Этот тип неорганического загрязнения возникает в результате окисления сульфидов железа (пирита, марказита и пирротина) [5]. Шахтные воды, как правило, характеризуются низкими значениями pH, высокими концентрациями сульфатов, железа, алюминия, марганца. Наиболее распространенным продуктом сульфидного окисления является гидроксид железа – красно-оранжевый осадок, распространяющийся на значительное расстояние от источника загрязнения [7]. Гидроксид железа, присутствуя в толще воды и покрывая поверхность донного субстрата, приводит к деградации нерестилищ литофильной группы рыб, негативно сказывается на численности и разнообразии донных беспозвоночных [3].

Одним из примеров разлива кислых шахтных вод в естественные водоемы являются последствия добычи каменного угля в Пермском крае. После остановки эксплуатации месторождения кислые шахтные воды стали поступать в водосборы рр. Яйва, Косьва и Чусовая. Излив происходит из 19 источников в среднем объеме 25 000 м<sup>3</sup>/ч. Шахтные воды характеризуются значениями pH 2-3, высокой концентрацией сульфатов (до 15,681 mg/L), железа (до 3500 mg/L), алюминия (до 225 mg/L), марганца (до 215 mg/L) и ряда микроэлементов (Be, Co, Ni, Pb, Zn) [10].

Целью настоящей работы являлось проведение исследований влияния кислых шахтных вод на разнообразие, численность и биомассу донных макробеспозвоночных и рыб р. Кизел, а также рр. Вильва и Яйва, в которые поступают загрязнённые воды. Актуальность проведения исследований определяется значительными пробелами в знаниях о влиянии этого типа загрязнения на экосистемы текучих вод бореальной зоны.

## ***Материалы и методы***

Материалы для настоящей работы были собраны в июле 2022 г. в р. Кизел, а также в рр. Вильва и Яйва, в которые поступают загрязнённые воды р. Кизел.

Пробы макрозообентоса отбирали в соответствии со стандартными методиками [1; 2]. Отлов рыб проводили с использованием электролова и ставных сетей. Одновременно с биологическими материалами отбирали пробы воды и грунта для дальнейшего химического анализа, проводили измерение температуры, концентрации растворенного в воде кислорода, общей минерализации.

Анализ химического состава проб воды и донных отложений проводили в Центре коллективного пользования Пермского государственного университета и лаборатории гидрохимического анализа геологического факультета Пермского государственного университета. Для оценки величин плотности рыб, собранных электроловом, приводили число отловленных рыб к единице обловленной площади. Уловы ставных сетей приводились к числу рыб на величину стандартной сетепостановки. Для анализа степени загрязнения и изменений в составе гидробионтов проводили сопоставление данных с фоновыми показателями, за которые были приняты результаты обработки материалов, собранных в р. Вильве до слияния с р. Кизел и в р. Яйве до слияния с р. Вильвой. Для оценки связей между

абиотическими параметрами использовали корреляционный анализ. Данные приводили к условиям нормальности путем их  $\log(x+1)$ -трансформации. Нормальность распределения определяли по критерию Шапиро-Уилка. Использован уровень значимости  $p = 0,05$ . Статистический анализ проводили в программе R. Используются пакеты `vif`, `lm`, `correlation`, `ggplot`, `shapiro.test`.

### **Результаты и обсуждение**

*Химический состав воды и донных отложений.* Сравнение результатов химического анализа воды и донных отложений рр. Кизел и Вильвы до слияния с р. Кизел свидетельствует о высокой степени загрязнения р. Кизел шахтными водами. От г. Кизел до слияния рр. Кизел и Вильва значение pH воды составляло 3,2-3,3, концентрации сульфат-иона, взвешенных веществ и железа общего превосходили фоновые значения в 30, 60 и 600 раз соответственно. Значения температуры, концентрации растворенного кислорода и минерализации вод р. Кизел и р. Вильвы были близки к фоновым.

*Макрозообентос.* Результаты свидетельствуют о крайне негативном влиянии шахтных вод на зообентоценозы. Донные беспозвоночные в р. Кизел обнаружены не были. В месте слияния рр. Кизел и Вильвы в составе бентоса были отмечены хирономиды, олигохеты и двустворчатые моллюски. При этом в фоновых условиях были отмечены 13 групп бентоса, количественные показатели которых были выше в десятки раз. Ниже по течению от устья р. Кизел увеличения разнообразия бентоса в р. Вильве не отмечалось, но происходило повышение его численности и биомассы от 1,1 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0,7 г/м<sup>2</sup> в месте слияния рек до 1,6 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 1,5 г/м<sup>2</sup> у п. Всеволодо-Вильва. В нижнем течении р. Вильвы численность и биомасса бентоса составили 2,8 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 3,4 г/м<sup>2</sup>, число идентифицированных таксономических групп бентоса было равно трем. В р. Яйве выше места слияния с р. Вильвой было идентифицировано от 4 до 9 таксономических групп бентоса, численность и биомасса составили 1,6-2,5 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 4,1-12,2 г/м<sup>2</sup>. Ниже впадения р. Вильвы в р. Яйве было обнаружено три группы бентосных животных, численность и биомасса которых составили 2,4 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 2,3 г/м<sup>2</sup>. Связь между уровнем загрязнения и состоянием бентоса достоверна и описана с использованием линейной модели.

Наши результаты соответствуют опубликованным данным о негативном влиянии шахтных вод на разнообразие и количественные характеристики бентоса [4]. Наиболее многочисленными среди бентосных животных в условиях загрязнения были личинки хирономид. Представители этой группы являются одними из немногочисленных беспозвоночных, способных выживать при pH 0,75-2,0, что происходит благодаря активности Н<sup>+</sup>-АТФазы, способной выводить Н<sup>+</sup> ионы и поддерживать нейтральную реакцию среды внутри полости тела [6].

*Ихтиофауна.* Ихтиофауна р. Вильвы до слияния с р. Кизел была представлена европейским хариусом *Thymallus thymallus*, обыкновенным подкаменщиком *Cottus gobio*, речным гольяном *Phoxinus phoxinus*, усатым гольцом *Barbatula barbatula*, ельцом *Leuciscus leuciscus*. В р. Кизел и р. Вильве ниже впадения р. Кизела рыбы отсутствовали. Ниже по течению, после слияния рр. Вильва и Лытва были учтены единичные особи речного гольяна. Далее произошло повышение

разнообразия и числа рыб – кроме голяна были отмечены щука *Esox lucius*, елец, уклея *Alburnus alburnus* и хариус. Рыбы в пределах р. Вильвы были отмечены при значениях рН воды 6,4-7, что входит в пределы видовой толерантности отловленных рыб, хотя и находится на нижней границе устойчивости для таких, чувствительных к загрязнению видов, как голян и хариус [9]. Тоже можно сказать о концентрации взвешенных частиц, которая в р. Вильве у п. Всеволодо-Вильва составила 11 мг/л. Однако у д. Малая Вильва, где был отмечен только речной голян, концентрация взвешенных частиц составила 41 мг/л, что может говорить о большей устойчивости голяна к этому фактору по сравнению с литературными данными. Отсутствие в условиях загрязнения гольца и подкаменщика говорит об их низкой толерантности к загрязнению вод сульфат-ионом, либо высокой концентрации железа, поскольку эти виды способны переносить указанные выше значения рН и мутности воды [8].

### **Заключение**

Проведенные исследования макрозообентоса и рыб, а также химического состава воды и донных отложений р. Кизел, подверженной воздействию шахтных вод, свидетельствуют о существенной деградации пресноводной экосистемы. При движении загрязненных вод от источника загрязнения на расстояние 105 км происходит их разбавление, а также окисление и осаждение загрязняющих веществ, что приводит к частичному восстановлению среды обитания водной биоты, но далеко не полному восстановлению биоразнообразия, численности и биомассы гидробионтов. Результаты могут быть использованы для уточнения границ толерантности гидробионтов бореальных водоемов к уровню загрязнения шахтными водами, а также для прогнозирования состояния пресноводных экосистем текучих вод при воздействии этого вида загрязнения.

### **Библиографический список**

1. *Абакумов В.А.* Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 236 с.
2. *Cavanagh N., Nordin R.N., Warrington P.D.* Freshwater biological sampling manual. BC Ministry of Environment, Lands and Parks, Water Management Branch, Victoria, BC. 1997. 41 p.
3. *Jennings S.R., Neuman D.R., Blicker P.S.* Acid Mine Drainage and Effects on Fish Health and Ecology: A Review. Reclamation Research Group Publication, Bozeman, MT. 2008. 26 p.
4. *Hogsdon K.L., Harding J.S.* Consequences of acid mine drainage for the structure and function of benthic stream communities: A review *Freshwater Science*. 2012 31:1, P. 108-120.
5. *Kelly M.* Mining and the Freshwater Environment; Elsevier Applied Science: London, UK, 2008. 228 p.

6. *Kawai K., Kawaguchi K., Kodama A. et al.* Fundamental studies on acid-tolerant chironomids in Japan // *Limnology* 20, 2019. P. 101–107.
7. *Menshikova E., Osovetsky B., Blinov S. et al.* Ochre Particles in River Sediments in Coal Mining Areas (A Study of the Kizel Coal Basin, Russia) // *Mine Water Environ* 41, 2022. P. 1040–1054.
8. *Sutela T., Vehanen T., Jounela P.* Response of fish assemblages to water quality in boreal rivers // *Hydrobiologia* 641: 2010. P. 1–10.
9. *Sutela T., Vehanen T.* The effects of acidity and aluminium leached from acid-sulphate soils on riverine fish assemblages // *Boreal Environment Research*, 22, 2017. P. 385–391.
10. *Ushakova E., Menshikova E., Blinov S., Osovetsky B., Belkin P.* Environmental Assessment Impact of Acid Mine Drainage from Kizel Coal Basin on the Kosva Bay of the Kama Reservoir (Perm Krai, Russia) // *Water*, 2022, 14, 727.

О.В. Мухортова<sup>1</sup>, Р.З. Сабитова<sup>1</sup>, Н.Г. Тарасова<sup>1</sup>, Д.П. Карабанов<sup>1</sup>,  
Е.Н. Унковская<sup>2</sup>, muhortova-o@mail.ru

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия

<sup>2</sup>Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник, п. Садовый, Россия

## **ИНВАЗИЙНЫЕ ВИДЫ ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА САРАЛИНСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА (КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

Описан видовой состав инвазийных видов фито- и зоопланктона Куйбышевского водохранилища в районе акватории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. На их долю в составе фитопланктона приходилось 1,5, а в составе зоопланктона 5% от общего видового богатства.

*Ключевые слова:* фитопланктон, зоопланктон, Куйбышевское водохранилище, Волго-Камский плес, биологические инвазии, видовой состав.

O.V. Mukhortova<sup>1</sup>, R.Z. Sabitova<sup>1</sup>, N.G. Tarasova<sup>1</sup>, D.P. Karabanov<sup>1</sup>,  
E.N. Unkovskaya<sup>2</sup>, muhortova-o@mail.ru

<sup>1</sup>I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

<sup>2</sup>Volzhsko-Kamsky State Nature Biosphere Reserve, Sadovy, Russia

## **INVASIVE SPECIES OF PHYTO- AND ZOOPLANKTON OF THE SARALINSKY SITE VOLGA-KAMA STATE NATURAL BIOSPHERE RESERVE (KUIBYSHEV RESERVOIR)**

The species composition of invasive species of phyto- and zooplankton of the Kuibyshev Reservoir in the water area of the Saralinskiy section of the Volga-Kama State Natural Biosphere Reserve is described. Their share in the composition of phytoplankton accounted for 1.5%, and in the composition of zooplankton 5% of the total species richness.

*Keywords:* phytoplankton, zooplankton, Kuibyshev reservoir, Volga-Kama reach, biological invasions, species composition.

### ***Введение***

Проблема биологических инвазий, активно начавшаяся со второй половины XX в., продолжается и сегодня. Этой проблеме посвящены многочисленные публикации [1; 2; 5; 7; 8; 11; 13; 19]. Исследователи связывают процесс активного внедрения чужеродных видов в нехарактерные для них места обитания с антропогенной деятельностью, а именно сооружением ГЭС и каналов, развитием судоходства, преднамеренную интродукцию и т.д. [2; 15 и др.]. Попадая в новые водоемы виды-вселенцы успешно в них развиваются и вызывают изменения во всей биотической составляющей.

Многолетние регулярные исследования фито- и зоопланктона, регулярно проводимые на территории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного заповедника, позволяют оценить состав инвазийных видов фито- и зоопланктона на этом участке, установить динамику их межгодовых изменений и их пространственное распределение в этом районе.

Цель работы – установить состав комплекса инвазийных видов фито- и зоопланктона Куйбышевского водохранилища в районе Саралинского участка Куйбышевского водохранилища, оценить их распределение по участку, показатели количественного развития.

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

Исследования проводили в июле и августе 2010, 2017-2021 гг. на территории Саралинского участка Волжско-Камского заповедника, расположенного в районе Волго-Камского плеса Куйбышевского водохранилища, в месте слияния рр. Волга, Кама и Меша ( $\approx 55.267594, 49.307609$ ). Пробы фито- и зоопланктона были отобраны на 10 станциях в следующих районах акватории (рисунок): в Волжском отроге плеса (район «Волга») – станции 1-3 (глубина 5-6 м); в Камском отроге (район «Кама») – станции 4-6 (глубина 6,5-17 м); в заливе – станции 7, 8 и протоках – станции 9, 10 Атабаевского убежища (глубина 2-2,5 м) [3]. Пробы зоопланктона отбирали протягиванием сети Джели (газ № 70) от дна до поверхности. Усредненные пробы фитопланктона отбирали сливанием одинаковых объемов воды, отобранной с различных горизонтов, от поверхности до дна, с интервалом 1 м. Концентрацию материала проводили методом прямого фильтрования, с использованием вакуумного насоса. Фиксировали материал 40% раствором формалина. Обработывали пробы по общепринятым гидробиологическим методикам [6; 9; 20].



**Схема размещения станций отбора проб фито- и зоопланктона в акватории Саралинского участка Куйбышевского водохранилища**

## **Анализ результатов**

В летний период 2010-2021 гг. в акватории Саралинского участка было отмечено всего 196 и 93 вида фито- и зоопланктона. Инвазийные виды водорослей составили 1,5% от общего видового богатства, в составе зоопланктона – 5%.

В настоящее время известно более 50 видов фитопланктона, относимых к инвазийным [5]. За указанный период в составе фитопланктона Саралинского участка Волжско-Камского заповедника нами было зарегистрировано 2 вида водорослей, относимых к видам-вселенцам, из отдела диатомовых водорослей.

*Skeletonema subsalsum* (A. Cleve) Bethge – космополит, теплолюбивый, пресноводный, солоноватоводный, планктонный вид, развивающийся в экспериментальных условиях при солёности до 35‰, а в природных водах (реках, озёрах, внутренних морях, прибрежных морских водах и маршах) – часто в эвтрофных водах при солёности до 15‰ [5]. Впервые массовое развитие этого вида было отмечено в Северном Каспии и устье р. Волга в 50-60-х гг. XX в. [12]. После этого началась его активная экспансия в волжские водохранилища. Вид входил в состав фитопланктона все время исследования, на всех станциях.

*Actinocyclus normanii* (Greg.) Hust. – первые сведения о появлении этого вида в Волжском бассейне относятся к 80-м годам прошлого века [17]. Ежедневные наблюдения, проводимые нами в 1989-1990 гг. позволили установить, что вид развивается в водоеме с мая по ноябрь, с максимумом августе-сентябре [1]. Предполагают о существовании южного (из Каспийского моря) и северного (из Балтийского моря) путей расселения этого вида в водохранилища Волги [18]. Активное расселение этого вида ряд авторов связывают с процессом эвтрофикации [5]. Вид регистрировался нами на всех станциях.

С 2020 г. в единичных количествах на отдельных станциях встречался *Peridiniopsis kevei* Grigor. et Vasas из отдела динофитовых водорослей. В Волге вид был зарегистрирован впервые в притоках Рыбинского водохранилища в 1989 г. [5]. Вид встречается, в основном, в больших и малых озёрах и водотоках различного трофического типа – от олиго- до эвтрофных, может развиваться в широком диапазоне концентраций общего азота и фосфора, но относительно узком диапазоне температуры и щёлочности. Обычно встречается летом или ранней осенью при температуре 15,8–26,1°C. Наибольшей биомассы достигает в летний период и может вызывать «цветение» воды [16]. С 2017 г. эти виды регулярно регистрировались нами и на Саралинском участке Куйбышевского водохранилища.

В составе зоопланктона на Саралинском участке Куйбышевского водохранилища было зарегистрировано 5 инвазийных видов [2; 4; 6; 8; 10; 14] относящихся к Crustacea. Эти виды начали регистрироваться в Куйбышевском водохранилище в период 2010-2021 гг. К началу 20-х годов XXI в. они натурализовались в водоеме [8;13].

## **Выводы**

Исследования показали, что в состав фито-и зоопланктона Саралинского участка Куйбышевского водохранилища, так же, как и на всей Волге, входят ин-

вазийные виды. На их долю в составе фитопланктона приходилось 1,5, а в составе зоопланктона 5% от общего видового богатства. Основная часть зарегистрированных видов-вселенцев предпочитает повышенный уровень органических веществ в воде. В исследованном районе сбор материала проходил как на глубоководных станциях Волги, Камы, так и в мелководных рукавах, протоках и затонах. Многообразие изученных биотопов и долговременный период изучения позволяют сделать заключение о достаточно высокой степени изученности фито- и зоопланктона этого участка. Однако, сезонный исследования и использование методов метабаркодинга позволят расширить представления об общем видовом богатстве и составе комплекса инвазийных видов на этом участке Куйбышевского водохранилища.

*Исследование выполнено частично за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-24-00279 Развитие системы мониторинга биологических инвазий водных организмов на основе метабаркодирования ДНК применительно к водяным блохам (Cladocera) бассейна рек Волги и Камы).*

### Библиографический список

1. Генкал С.И., Королева Н.Л., Попченко И.И., Буркова Т.Н. Первая находка *Actinocyclus variabilis* в Волге // Биология внутренних вод. Информ. бюлл. СПб.: Наука, 1992. № 94. С. 14–17.
2. Дгебуадзе Ю.Ю., Фенёва И.Ю., Будаев С.В. Роль хищничества и конкуренции в инвазионных процессах на примере зоопланктонных сообществ // Биология внутр. вод. 2006. № 1. С. 67–73.
3. Деревенская О.Ю., Унковская Е.Н., Мингазова Н.М., Павлова Л.Р. Структура сообществ зоопланктона озер Раифского участка Волжско-Камского заповедника и его охранной зоны // Труды Волжско-Камского государственного природного заповедника / Под общ. ред. О.В.Бакина и Ю.А.Горшкова. Казань, 2002. Вып. 5. С. 53–70.
4. Истомина А.М., Беляева П.Г., Истомин С.Г., Крайнев Е.Ю., Кузнецова Е.М., Мелехин М.С. Современное состояние планктона бентоса и ихтиофауны Воткинского водохранилища // Современное состояние биоресурсов внутренних водоёмов и пути их рационального использования. Матер. докл. Всерос. конф. с междунар. участием, посвящённой 85-летию Татарского отделения Гос. науч.-исслед. ин-та озёрн. речн. рыбного хоз-ва. Казань: ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2016. С. 430–441.
5. Корнева Л.Г. Инвазии чужеродных видов планктонных водорослей в пресных водах Голарктики (обзор) // Российский журнал биологических инвазий. №1, 2014. С. 9–37.
6. Коровчинский Н.М., Котов А.Ю., Неретина А.Н., Гарибян П.Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2021. 544 с.
7. Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник) / отв. Ред. Г.С. Розенберг, Л.А. Выхристюк. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008. 123 с.

8. Лазарева В.И., Сабитова Р.З., Быкова С.В., Жданова С.М., Соколова Е.А. Распределение летнего зоопланктона в каскаде водохранилищ Волги и Камы. Труды Ин-та биологии внутр. вод РАН, 2018. 83 (86). С. 28–51.
9. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.
10. Попов А.И. Зоопланктон волжских водохранилищ в контексте проблемы биологических инвазий // Изв. Самарского научн. центра РАН. 2013. Т. 15. № 3. С. 194–202.
11. Преснова Е.В., Хулапова А.В. Структура и распределение зоопланктона в центральном районе Воткинского водохранилища // Вестник Пермского ун-та. Биология. 2015. Вып. 4. С. 366–370.
12. Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В. Водоросли планктона Каспийского моря. Л.: Наука, 1968. 295 с.
13. Романова Е.П. Многолетняя динамика видовой обилия зоопланктона Куйбышевского водохранилища. Теоретические проблемы экологии и эволюции. Теория ареалов: виды, сообщества, экосистемы (V Любичевские чтения). Тольятти: Ин-т экологии Волжского бассейна РАН, 2010. С. 159–164.
14. Селеткова Е.Б. Зоопланктон Камского водохранилища // Биоценозы рек и водохранилищ Западного Урала. СПб.: Гос. науч.-исслед. ин-т озёрн. речн. рыбного хоз-ва, 2015. С. 136–151.
15. Сухих Н.М., Лазарева В.И., Алексеев В.Р. Копепода *Eurytemora caspica* (Crustacea, Calanoida) в водохранилищах рек Волги и Камы // Биология внутренних вод, 2020, № 2, С. 129–136.
16. Grigorszky I., Vasas F., Borics G., Klee R., Schmidt A, Borbe'ly G. *Peridiniopsis kevei* sp. nov., a new freshwater dinoflagellate species (Peridiniaceae, Dinophyta) from Hungary // Acta Botanica Hungarica. 2001. Vol. 43(1–2). P. 163– 174.
17. Kiss K.T., Le Cohu R., Coste M., Genkal S.I., Houk V. *Actinocyclus normanii* (Bacillariophyceae), in some rivers and lakes in Europe. Morphological examinations and quantitative relations // Ouvrage dedie a H.Germain, Koeltz. 1990. P. 111–123.
18. Korneva L.G. Recent invasion of planktonic diatom algae in the Volga River and their causes // Inland Water Biology. 2007. № 1. P. 28–36.
19. *Phytoplankton of the Lower Volga*. Reservoirs and the Lower reaches of the River 2003 (St. Petersburg: Nauka).
20. Sukhikh, N.M., V.I. Lazareva & V.R. Alekseev. Copepod *Eurytemora caspica* Sukhikh et Alekseev, 2013 (Crustacea, Calanoida) in Volga and Kama River Reservoirs. Inland Water Biology. 13(2):198-205. APR 2020

А.О. Полева<sup>1</sup>, В.М. Мухутдинов<sup>2</sup>, hydro@ufaras.ru

<sup>1</sup>Институт геологии УФИЦ РАН, г.Уфа, Россия

<sup>2</sup>Уральский филиал Российского научно-исследовательского института комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Екатеринбург, Россия

## **ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СООБЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА Р. УФЕ ПО МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ**

Рассмотрены данные о сообществах фитопланктона Павловского водохранилища на р. Уфе на основе многолетних данных. Показаны основные тенденции развития этих сообществ для оценки качества воды в водоеме, являющегося основным запасом питьевого водоснабжения г. Уфы. Оценено влияние состояния фитопланктона на качество воды Павловского водохранилища, также являющегося крупным рекреационным объектом в регионе.

*Ключевые слова:* Павловское водохранилище, фитопланктон, качество воды.

A.O. Poleva<sup>1</sup>, V.F. Muhutdinov<sup>2</sup>, hydro@ufaras.ru

<sup>1</sup>Institute of Geology UFRC of RAS, Ufa, Russia

<sup>2</sup>Russian Research Institute for the Integrated Use and Protection of Water Resources, Ekaterinburg, Russia

## **MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF PHYTOPLANKTON COMMUNITIES IN THE PAVLOVSKOE RESERVOIR ON RIVER UFA ACCORDING TO LONG-TERM DATA**

The data on the phytoplankton communities of the Pavlovskoe reservoir on the river Ufa based on long-term data. The main trends in the development of these communities are shown to assess the quality of water in the reservoir, which is the main reserve of drinking water supply in Ufa. The influence of the state of phytoplankton on the water quality of the Pavlovskoe reservoir, which is also a major recreational facility in the region, was assessed.

*Keywords:* Pavlovskoe reservoir, phytoplankton, water quality.

### ***Введение***

Павловское водохранилище – самое крупное водохранилище в Республике Башкортостан, созданное в 1961 г. на р. Уфе, оно русловое, протяженностью 140 км, имеет объем 1,4 км<sup>3</sup>, обеспечивает работу крупных инфильтрационных водозаборов централизованного водоснабжения г. Уфы (с населением свыше 1 млн жителей) и других населенных пунктов, расположенных ниже по течению, и является важным рекреационным объектом, поэтому мониторинг экологического состояния водоема имеет важное практическое значение. Вода в водоеме сульфатно-гидрокарбонатного состава в верхнем течении ее минерализация составляет 0,41 г/дм<sup>3</sup>, снижаясь у плотины до 0,21-0,26 г/дм<sup>3</sup>, pH (7,65–7,90) [1].

Естественный химический состав воды объекта претерпевает изменения как под техногенным воздействием промышленных, сельскохозяйственных, лесопромышленных предприятий Челябинской, Свердловской областей и Башкортостана, так и от большой рекреационной нагрузки на водоем, увеличивающейся в последние годы. По берегам Павловского водохранилища расположены населенные пункты: районный центр Караидель, Павловка, Атамановка, и др., базы отдыха, спортивные лагеря, СНТ и многие другие объекты. На эстетическое и психологическое восприятие при рекреационном использовании водоема оказывают воздействие микроскопические водоросли, а именно их состав и скопления.

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

Комплексные исследования состояния фитопланктона в 2000 г. были выполнены коллективом исследователей [6]. В 2003, 2008, 2009, 2012, 2013, 2018, 2019 гг. при участии Полевой А.О. За все эти годы отбор проб воды на фитопланктон проводился по традиционным методикам [3 и др.]. В июле и сентябре 2019 г. одновременно с отбором проб фитопланктона, совместно с РосНИИВХ, проводилось измерение концентрации хлорофилла *a* с помощью погружного флуориметра (Fluoroprob) немецкой фирмы bbe Moldaenke, которое позволило еще одним методом выявить основные отделы микроскопических водорослей, их пространственное распределение, а также, определить трофический статус, разряды и качество воды отдельных участков водоема [5].

За годы исследований трофический статус и качество воды водотока оценивались по разным методикам. В том числе в 2019 г. по шестибальной шкале, разработанной в Институте водных и экологических проблем ДВО РАН, Сиротским С.Е. [7]. Индекс сапробности рассчитывался по формуле Пантле-Букка [2].

### ***Анализ результатов***

За время комплексных исследований с 2000 г. в фитопланктоне водохранилища было выявлено 82 вида и внутривидовых таксона (ввт), среди которых наибольшим видовым разнообразием отличались зеленые, диатомовые и синезеленые водоросли. Максимальное развитие фитопланктона отмечено в июле ниже села Караидель, где численность его достигала 1 920 тыс. кл./дм<sup>3</sup>, а биомасса 0,674 мг/дм<sup>3</sup>[6].

За период исследования (2003, 2008, 2009 гг.) в фитопланктоне выявлено 153 вида и ввт. Наблюдения в приплотинной части в 2003 г на одном из изученных створов показали интенсивное развитие *Xanthophyta* (26 %) с доминированием *Bumilleriopsis brevis* (Gern.) Printz. Средняя численность фитопланктона в приплотинной части (480 тыс. кл./дм<sup>3</sup>) позволила отнести Павловское водохранилище к эвтрофным водоемам. Индекс сапробности по численности в 2003 г. составил 1,78±0,05 [1].

В летних пробах 2008 г. по численности на большинстве створов доминировали *Cyanoprokaryota* (66,6%). По всей акватории водохранилища интенсивно развивался *Microcystis pulvereae* (Wood) Fotri emend. Elenk., на створах Караидель, Атамановка, Верхний бьеф – *Gomphosphaeria lacustris* Chod., на створах Караи-

дель и Атамановка – *Anabaena circinalis* (Kütz.) Hansg.. На втором месте по численности стоял отдел *Chlorophyta* (22,7%). Сквозным видом являлась *Chlorella vulgaris* Beijer. Третье место по численности фитопланктона занимал отдел *Bacillariophyta* (8,5%).

Наибольшая численность фитопланктона в вегетационный период отмечена на створе п. Караидель (15222 тыс. кл./дм<sup>3</sup>), минимальная на створе устье р. Юрюзань (408 тыс. кл./дм<sup>3</sup>). В среднем численность фитопланктона по всему водохранилищу составила 5384 тыс. кл./дм<sup>3</sup>. По классификации Цветковой [1] водоем можно отнести к мезотрофным. По биомассе в летних пробах 2008 г. на первом месте стоял отдел *Chlorophyta* (74,8%). Основное количество водорослей этого отдела было отмечено в створах п. Магинск и п. Караидель, что объясняется расположением этих поселков в верховьях водохранилища, где гидробиологический режим проявляет сходство с речным. Кроме этого здесь велика антропогенная нагрузка. На втором месте был отдел *Bacillariophyta* (18,5%). Представители этого отдела часто встречались на всех створах, за исключением створа Верхний бьеф, где в некоторых пробах они вообще отсутствовали. Третье место по биомассе занимал отдел *Cyanoprokaryota* (5,3%). Наибольшая биомасса была отмечена на створе Караидель (26,6 г/м<sup>3</sup>), минимальная в створе Верхний бьеф (0,28 г/м<sup>3</sup>). В среднем по водохранилищу биомасса фитопланктона составила 6,4 г/м<sup>3</sup>, что позволяет по шкале трофности [2] отнести водоем к эвтрофным.

Наибольшая численность фитопланктона в летний период 2009 г. зарегистрирована на створе пос. Магинск (25026 тыс. кл./дм<sup>3</sup>), минимальная – на створе Верхний бьеф (2412 тыс. кл./дм<sup>3</sup>). В среднем численность фитопланктона по всему водохранилищу составила 14377 тыс. кл./дм<sup>3</sup>. Наибольшая биомасса была отмечена на створе Магинск (37,6 г/м<sup>3</sup>), минимальная – в створе Верхний бьеф (0,42 г/м<sup>3</sup>). В среднем по водохранилищу биомасса фитопланктона составила 19,5 г/м<sup>3</sup>, что по шкале трофности [14] позволяет отнести водоем к высокотрофным.

В 2012-2013 гг. было выявлено 116 видов и ввт. Основная часть видов входила в состав *Chlorophyta* (55%), *Bacillariophyta* (22%) и *Cyanoprokaryota* (20%). Численность фитопланктона достигала 16670 тыс. кл./дм<sup>3</sup>, а биомасса 3,4 мг/дм<sup>3</sup>.

По исследованиям 2018-2019 гг. в фитопланктоне Павловского водохранилища был выявлен 81 вид и ввт и цианопрокариот из 6 отделов. Почти половина видового разнообразия принадлежала к отделу *Bacillariophyta* (48,1%), треть – отделу *Chlorophyta*, остальные отделы в сумме составили чуть более 20% видового разнообразия [4].

Более низкая продуктивность фитопланктона, согласно всем исследованиям, отмечалась в приплотинной части Павловского водохранилища во все годы исследований и обусловлена морфометрией этого участка, а также обедненностью вод биогенными веществами и практически полным отсутствием кислорода у дна [1]. Прозрачность воды по диску Секки в верхнем бьефе была самой высокой из всего водохранилища и достигала 6,0 м в середине русла. В целом, в верхнем бьефе Павловского водохранилища формируется вода хорошего качества, пригодная для питьевого водоснабжения.

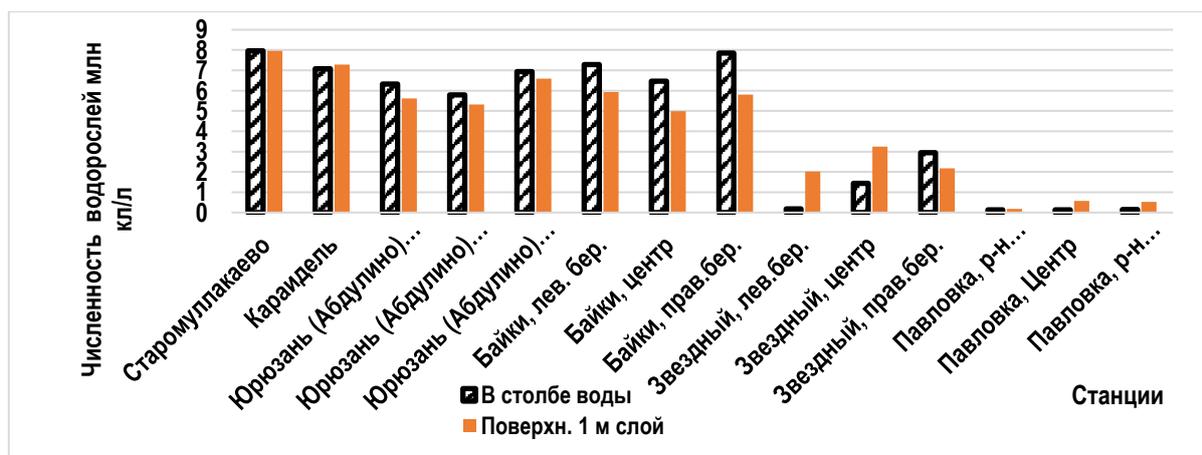
Несколько повышенная эвтрофированность участков водоема выявляется в разные годы в верховьях Павловского водохранилища (д. Старомуллакаево), в

заливе р. Байки, заливе р. Бердяшка (около пос. Магинск) и др. Это зоны мелководий, в которых легко и быстро происходят окислительные процессы и минерализация органического вещества, пополняющая запасы питательных веществ, доступных микроводорослям. Населенные пункты и хозяйственная деятельность на водосборе также вносят свою лепту в эвтрофикацию вод.

От физкультурно-оздоровительного комплекса «Звездный» и до плотины водохранилища наблюдается снижение трофического статуса от мезотрофного к олиготрофному, соответственно, улучшается разряд и качество воды, от «чистой» – II класс, до «очень чистой» – I класс.

Оценка трофического статуса и качества воды поверхностного слоя воды Павловского водохранилища позволяет дифференцированно оценить состояние водохранилища, ввиду глубоководности отдельных его частей и неравномерности распределения фитопланктона. Полученная в результате такого подхода характеристика исследований представляет практический интерес с рекреационной точки зрения.

На рисунке показана средняя численность клеток водорослей в столбе воды и в поверхностном 1 м слое всего водохранилища. Из него видно, что наибольшая численность клеток водорослей наблюдалась в верховье водохранилища (ст. Старомуллакаево) и в заливе Байки (ст. – правый берег) – до 8 млн.кл/л, а наименьшая – в районе верхнего бьефа – до 581 тыс.кл/л.



Средняя численность водорослей в столбе воды и в поверхностном 1 м слое воды Павловского водохранилища в июле 2019 г.

Важным моментом является идентификация токсичных синезеленых водорослей и недопущение их массового скопления, особенно в летний жаркий период, в июле – августе месяце. Всплески увеличения численности синезеленых водорослей в некоторые сезоны обычно связаны с температурой окружающей среды, и, чаще всего, прямо пропорциональны ее повышению и продолжительности периода тепла.

### Выводы

Проведенные исследования показывают, что большую часть видового состава фитопланктона в водном объекте составляют отделы *Bacillariophyta* и *Chlorophyta*. В верхней части водохранилища, где происходит поступление различных веществ с водосбора, а минерализация воды примерно в два раза больше,

чем у плотины, численность и биомасса фитопланктона значительно выше. Очевидно, на формирование относительного обилия водорослей в верхней части объекта оказывает фактор разнообразия условий существования и биофонд, приносимый притоками. В средней и приплотинной части гидрологические условия более стабильные, однако в местах рекреационной нагрузки в жаркое время года бывают вспышки развития фитопланктона по численности и биомассе. По мере приближения к плотине и увеличении глубины водоема, численность и биомасса фитопланктона снижаются, а у плотины на глубине свыше 4-5 м фитопланктон не обнаруживается.

Динамика трофического статуса по мере движения к верхнему бьефу, имеет вектор на снижение, качество вод – на повышение. Оценка современного состояния водохранилища, свидетельствует о нормально функционирующем сообществе фитопланктона, активно участвующем в процессах самоочищения.

*Работы выполнены по теме FMRS-2022–0013.*

### **Библиографический список**

1. 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.

2. Баринаова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. PiliesStudio. Тель-Авив, 2006. 498с.

3. 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.

4. Гуламанова Г.А., Полева А.О. Оценка качества воды Павловского водохранилища по индексам разнообразия и сапробности // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Электронные данные. Пермь, 2021. С. 499-503.

5. Мухутдинов В.Ф. Вертикальное распределение хлорофилла *a*, оценка трофического статуса и качества воды Павловского водохранилища в летнюю межень 2019 года // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Электронные данные. Пермь, 2021. С. 519-524.

6. Мухутдинов В.Ф., Павлюк Т.Е., Бердышева Г.В. Оценка трофического статуса Павловского водохранилища // Водное хозяйство России. 2002. Т. 4. № 5. С. 449–465.

7. Сиротский С.Е. Трофический статус водотоков бассейна рек Бурей, Зея, Бурейского и Зейского водохранилищ // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ. Дружининские чтения. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. Вып. 2. С. 95–99.

М.В. Рубанова, О.В. Мухортова, rubanova-ievb@mail.ru  
Самарский федеральный исследовательский центр РАН, г. Тольятти, Россия  
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия

**ИНВАЗИЯ РЕЧНОГО ОКУНЯ *PERCA FLUVIATILIS* (PERCIFORMES,  
ACTINOPTERYGII) ЧУЖЕРОДНОЙ ТРЕМАТОДОЙ *APOPHALLUS  
MUEHLINGI* (HETEROPHYIDAE, TREMATODA)  
В РЕКЕ БОЛЬШОЙ ЧЕРЕМШАН**

Исследована фауна многоклеточных паразитов *Perca fluviatilis* в р. Большой Черемшан (Куйбышевское водохранилище) в 2019, 2020 гг. Обнаружена чужеродная трематода *Apophallus muehlingi*, ассоциированная с моллюском-вселенцем *Lythoglyphus naticoides*. Паразит ранее не отмечен у речного окуня в данном водоеме. Чужеродный вид занял содоминирующее положение в фауне гельминтов *P. fluviatilis*. Отмечено влияние климатических и гидробиологических факторов на успешность реализации жизненного цикла трематоды. Получены данные о видовом и количественном составе организмов зоопланктона, возможных промежуточных хозяев паразитов. Разнообразие Crustacea и тесные трофические связи рыб с сообществом зоопланктона определяют доминирующее положение трематоды *Bunodera luciopercae* в фауне гельминтов *P. fluviatilis*.

*Ключевые слова:* *Perca fluviatilis*, *Apophallus muehlingi*, чужеродный паразит, Cladocera, Copepoda, р. Большой Черемшан.

M. Rubanova, O. Mukhortova, rubanova-ievb@mail.ru  
Samara Federal Research Center of the RAS, Togliatti, Russia  
Institute of Ecology of the Volga Basin RAS, Togliatti, Russia

**INVASION OF THE PERCH *PERCA FLUVIATILIS* (PERCIFORMES,  
ACTINOPTERYGII) WITH THE ALIEN TREMATODE *APOPHALLUS  
MUEHLINGI* (HETEROPHYIDAE, TREMATODA)  
IN THE RIVER BOLSHOY CHEREMSHAN**

The fauna of multicellular parasites *Perca fluviatilis* was studied in the river Bolshoy Cheremshan (Kuibyshev reservoir) in 2019, 2020. An alien trematode *Apophallus muehlingi* associated with the invasive mollusc *Lythoglyphus naticoides* was found. The parasite has not previously been noted in river perch in this reservoir. The alien species occupied a codominant position in the helminth fauna *P. fluviatilis*. The influence of climatic and hydrobiological factors on the success of the trematode life cycle was noted. Data were obtained on the species and quantitative composition of zooplankton organisms, possible intermediate hosts of parasites. The diversity of Crustacea and the close trophic relationships of fish with the zooplankton community determine the dominant position of the trematode *Bunodera luciopercae* in the helminth fauna of *P. fluviatilis*.

*Keywords:* *Perca fluviatilis*, *Apophallus muehlingi*, alien parasite, Cladocera, Copepoda, river Bolshoy Cheremshan.

## **Введение**

Трансформация среды под воздействием хозяйственной деятельности человека, осложненная глобальными климатическими изменениями, обусловила распространение чужеродных видов в природных и антропогенно измененных экосистемах [4]. С середины прошлого столетия количество видов гидробионтов Волги, Дона и Днепра возросло в 1,5 раза [18]. Река Большой Черемшан – левый приток Волги, после ее зарегулирования впадает в Куйбышевское водохранилище – одно из важнейших звеньев черноморско-каспийско-волжского транзитного пути распространения видов-вселенцев [4]. Речной окунь *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758 в среднем течении р. Б. Черемшан имеет статус многочисленного вида [10]. Состав паразитов рыб относительно небольших водоемов мало изучен, но именно здесь могут быть отмечены новые виды [6]. Цель работы – определение инвазивности *P. fluviatilis* чужеродными паразитами в р. Б. Черемшан. В задачи исследования входило определение характеристик фауны многоклеточных паразитов речного окуня; изучение состава зоопланктона для выявления потенциальных трофических связей с промежуточными хозяевами паразитов.

## **Материал и методы исследования**

Исследования проводили в среднем течении р. Б. Черемшан, в районе г. Дмитровграда (53°54'13.2"N 49°28'46.1"E). Отловлено крючковой снастью 16 экз. *P. fluviatilis* в мае, начале июня 2019 г. и 16 экз. в конце июня, сентябре 2020 г. Размерный состав рыб представлен особями с длиной тела 100–200 мм. Неполное паразитологическое вскрытие рыб, фиксацию, обработку материала производили общепринятыми методами [3]. Прижизненную окраску паразитов осуществляли слабым раствором нейтрального красного. Видовую идентификацию паразитов проводили по справочникам [12,13] при помощи бинокулярного микроскопа «Biolar» с микрофотонасадкой Levenhuk 5M rel. Систематика гельминтов приведена в соответствие с сайтом *Fauna Europaea* [17]. Сбор проб зоопланктона производили в июне, сентябре 2020 г. в поверхностном (0,5 м) слое. Через планктонный сачок с ячейей 64 мкм процеживали 50 л воды, фиксировали 96° этиловым спиртом. Определение беспозвоночных проведено с помощью справочника [8]. Использовали общепринятый показатель экстенсивности инвазии ЭИ (доля заражения хозяина паразитами одного вида от общего числа рыб в выборке, %). Использован метод ранговой корреляции Спирмена ( $r$ ) и U-критерии Манна-Уитни при малых выборках ( $p$ ).

## **Анализ результатов**

Первые данные о фауне многоклеточных паразитов *P. fluviatilis* в районе исследований получены в 2015 г., было обнаружено 8 видов, чужеродные паразиты не зарегистрированы [14]. В 2019, 2020 гг. отмечено 6–7 таксонов, относящихся к 4 группам. Идентифицировано до вида 5 таксонов: к Trematoda относятся 4 (*Rhipidocotyle campanula* (Dujardin, 1845), *Bunodera luciopercae* (Muller, 1776), *Ichthyocotylurus variegatus* ((Creplin, 1825)), чужеродная *Apophallus muehlingi* (Jagerskiold, 1899)); Nematoda – 1 (*Camallanus lacustris* (Zoega, 1776)); Monogenea – 1, Bivalvia – 1 (таблица).

**Видовой состав, локализация, экстенсивность инвазии ЭИ (%) паразитами *P. fluviatilis* в р. Б. Черемшан в 2019 и 2020 гг.**

Виды гельминтов	Локализация	Год / ЭИ (%)	
		2019	2020
<i>Dactylogyrus</i> sp.	жаберные лепестки	0	6.25±6.25
<i>Rh. campanula</i>	кишечник	40.0±13.09	31.25±11.97
<i>B. luciopercae</i>	кишечник	50.0±12.91	12.5±8.54
<i>I. variegatus</i> mtc	стенка плавательного пузыря, кишечника, жировая ткань, брыжейка	18.75±10.08	43.75±12.81
<i>A. muehlingi</i> mtc	плавники, жаберные крышки и лепестки, подкожная клетчатка, оболочка глаз	13.33±9.08	50.0±12.91
<i>C. lacustris</i>	кишечник	20.0±10.69	0
Unionidae sp. larvae	жаберные лепестки	53.33±13.33	50.0±12.91

Глохидии Unionidae занимают доминирующее положение в фауне гельминтов в течение периода исследований. Содоминантом Unionidae sp. (ЭИ 53,3%) в 2019 г. являлась трематода *B. luciopercae* (ЭИ 50%). Низкая экстенсивность инвазии рыб *B. luciopercae* в 2020 г. (таблица) обусловлена перерывом в поступлении новой генерации паразита в популяцию хозяина в конце июня [16]. В сентябре 2020 г. доминирующее положение (ЭИ 50,0%) занимали одновременно Unionidae sp. и чужеродная трематода *A. muehlingi*. Гельминты 4 видов (*Dactylogyrus* sp., *I. variegatus*, *A. muehlingi*, Unionidae sp.) проникают в организм окуня через покровы тела, прочие – через трофические связи хозяина. Из них *B. luciopercae* и *C. lacustris* заражают *P. fluviatilis* при питании в основном планктонными ракообразными [13]. На исследованном участке реки к массовым видам сообщества зоопланктона относятся ветвистоусые ракообразные: *Bosmina* (*Bosmina*) *longirostris* (O.F. Müller, 1776) и *B. (Eubosmina) longispina* Leydig, 1860, их численность достигала 65 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а также веслоногие *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) (90 тыс. экз./м<sup>3</sup>), *Acanthocyclops americanus* (75 тыс. экз./м<sup>3</sup>). Отмечены коловратки (*Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Brachionus quadridentatus* Herman, 1783, *B. bennini* Leissling, 1924) и водоросли (*Ceratium* sp., *Anabaena* sp.). Активное питание *P. fluviatilis* планктонными ракообразными определяет высокую зараженность рыб *B. luciopercae* (табл.). Отсутствие *C. lacustris* в выборке окуней в 2020 г. при высокой численности *M. leuckarti* (II промежуточный хозяин) может указывать на неблагоприятные условия для распространения нематоды в водоеме. Первыми промежуточными хозяевами *Rh. campanula* служат моллюски р. *Anodonta* и *Unio*, II промежуточный – карповые рыбы, окончательный – хищные рыбы [7; 15]. Жизненный цикл чужеродной трематоды *A. muehlingi* триксенный [15]. Источником паразита является чужеродный моллюск *Lithoglyphus naticoides* (Preiffer, 1828), проникновение которого в бассейн Волги связывают с созданием в 1952 г. Волго-Донского канала [2]. Второй промежуточный хозяин – рыбы, облигатными окончательными хозяевами служат чайковые птицы, факультативными – птицы, млекопитающие, в т.ч. человек [15]. Метациркуляции трематоды являются возбудителями апофаллеза, способны вызвать массовое заражение и гибель молоди рыб, представляют опас-

ность для плотоядных млекопитающих и человека [11]. По литературным данным в р. Б. Черемшан *L. naticoides* не зарегистрирован, из чужеродных видов найдены *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) и *D. bugensis* (Andrusov, 1897) [9]. В Куйбышевском водохранилище *L. naticoides* отмечен с середины 1990-х гг. [19]. Обнаружение у *P. fluviatilis* чужеродной трематоды, ассоциированной с *L. naticoides*, свидетельствует о вселении моллюска и его распространении до среднего течения реки.

Проанализировано косвенное влияние температуры воды и уровня режима на зараженность окуня *A. muehlingi*. Весной 2019 г. в Куйбышевском водохранилище зарегистрирован аномально низкий уровень воды [5]. Следствием этого стало снижение уровня воды в р. Б. Черемшан в мае 2019 г. на 1,2 м. Температурный режим водохранилища характеризовался повышенной на 2,3°C температурой воды с мая по ноябрь [5]. Мы получили статистическую зависимость ( $r = 0,64$ ,  $p \leq 0,05$ ) между температурой воды и ЭИ (%) окуня *A. muehlingi*. Также рассчитана статистическая зависимость ( $r = 0,49$ ,  $p \leq 0,05$ ) между уровнем воды и ЭИ (%) окуня *A. muehlingi*. Мы считаем, что падение уровня воды и ее быстрый прогрев могли стать причиной более тесного контакта I и II промежуточных хозяев трематоды, что способствовало заражению рыб *A. muehlingi*. Очевидно, что *L. naticoides* проник в р. Б. Черемшан раньше, чем мы обнаружили занесенную им трематоду. Это соответствует литературным данным о более позднем обнаружении *A. muehlingi* по сравнению с *L. naticoides* [1; 2]. Высокая степень инвазии рыб *A. muehlingi* в 2020 г. свидетельствует о наличии благоприятных условий для реализации жизненного цикла паразита в водоеме.

### **Выводы**

Сочетанное воздействие климатических и гидробиологических условий способствовало проникновению в экосистему реки чужеродных видов гидробионтов (моллюски, паразиты). Паразитологические данные показывают, что водоем является составной частью волжского «инвазионного коридора». Содомирующее положение *A. muehlingi* в фауне гельминтов *P. fluviatilis* свидетельствует о высокой скорости процесса натурализации моллюска *L. Naticoides* в р. Б. Черемшан.

### **Библиографический список**

1. Белявская Л.И., Вьюшкова В.П. Донная фауна Волгоградского водохранилища // Тр. Саратовского отд. ГОСНИОРХ. Саратов, 1971. Т. 10. С. 93–106.
2. Бисерова Л.И. Паразитологические аспекты инвазий чужеродных видов. Искусственное воспроизводство ценных гидробионтов, акклиматизация и аквакультура // Тр. ВНИРО. 2010. Т. 148. С. 137–141.
3. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 121 с.
4. Дгебуадзе Ю.Ю. Чужеродные виды: экологическая угроза // Наука в России. 2013. № 6. С. 95–102.

5. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды города Ульяновска в 2019 году». Ульяновск: Управление по охране окружающей среды администрации города Ульяновска, 2020. 134 с. URL: <http://ulmeria.ru/sites/default/files/subgov/files/2020/12/09/>

6. Жохов А.Е., Пугачева М.Н., Шершинева А.В., Молодожникова Н.М., Ларина С. Н. Разнообразии паразитов рыб бассейна Волги: проблемы изучения и оценки // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2014. Т. 23, № 2. С. 84–91.

7. Иванцов В.В., Черногоренко М.И. Жизненный цикл *Rhipidocotyle illense* (Trematoda: Vucephalidae) // Вестник зоологии. 1984. Т. 2. С. 66–70.

8. Коровчинский Н.М., Котов А.Ю., Неретина А.Н., Гарибян П.Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2021. 544 с.

9. Курина Е.М. Особенности распространения чужеродных видов макрозообентоса в притоках волжских водохранилищ // Экологический сборник 5: Международный науч. конф. Тольятти. 2015. С. 209–215.

10. Михеев В.А. Видовой состав и распределение позвоночных в пойме среднего течения реки Большой Черемшан // Вестник Мордовского университета. 2007. №4. С. 52–54.

11. Мошу А. Гельминты рыб водоемов Днестровско-Прутского междуречья, потенциально опасные для здоровья человека. Кишинэу: Есо-TIRAS, 2014. 88 с.

12. *Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т.2. Паразитические многоклеточные.* Л.: Наука, 1985. Вып. 143. 425 с.

13. *Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т.3. Паразитические многоклеточные.* Л.: Наука, 1987. Вып. 149. 583 с.

14. Рубанова М.В. Фауна гельминтов окуня *Perca fluviatilis* L., 1758 (Osteichthyes, Perciformes) р. Большой Черемшан (Куйбышевское водохранилище) // Изв. СамНЦ РАН. 2016. Т. 18, № 5-3. С. 489–492.

15. Судариков В.Е., Шигин А.А., Курочкин Ю.В., Ломакин В.В., Стенько Р.П., Юрлова Н.И. Метациркулярии трематод – паразиты пресноводных гидробионтов Центральной России. М.: Наука, 2002. Т. 1. 298 с.

16. Тютин А.В. Сезонная динамика зараженности окуневых рыб трематодой *Bunodera luciorpercae* в условиях Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 1996. №1. С. 73–78.

17. *Fauna Europaea* URL: <http://www.fauna-eu.org/>

18. Slynko Y.V., Dgebuadze Y.Y., Novitskiy R.A., Kchristov O. A. Invasions of alien fishes in the basins of the largest rivers of the Ponto-Caspian basin: composition, vectors, invasion routes, and rates // Russian Journal of Biological Invasions. 2011. Vol. 2, iss. 1. P. 49–59.

19. Yakovlev V.A., Akhmetzyanova N.S., Yakovleva A.V. Distributional patterns and size-weight parameters of *Lithoglyphus naticoides* (Gastropoda: Hydrobiidae) in the upper reach of the Kuibyshev reservoir // Russian Journal of Biological Invasions. 2010. Vol. 1, № 4. P. 313–322.

Н.Г. Тарасова, С.В. Быкова, М.В. Уманская, М.Ю. Горбунов, О.В. Мухортова,  
Е.С. Краснова, tnatag@mail.ru

*Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал СамНЦ РАН,  
г. Тольятти, Россия*

## **ФОРМИРОВАНИЕ СООБЩЕСТВА ПЛАНКТОННЫХ ОРГАНИЗМОВ В ПРИПЛОТИННОМ ПЛЕСЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2020 г.**

В Приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища создаются специфические условия, связанные с его морфометрией, местом расположения и режимом работы ГЭС. Влияние притока на плес связано с незначительным уменьшением минерализации воды, увеличением ее в месте впадения общей массы сестона и биомассы фитопланктона. Несмотря на то, что в осенний период по всей акватории Приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища доминировали коловратки, после впадения р. Уса произошла смена доминирующих видов. Действие притока на сообщество инфузорий проявилось в значительном увеличении после впадения притока их видового богатства, численности и биомассы.

*Ключевые слова:* гидрология, сестон, детрит, фитопланктон, зоопланктон, инфузории, река Уса.

N.G. Tarasova, S.V. Bykova, M.V. Umanskaya, M.Y. Gorbunov, O.V. Mukhortova,  
E.S. Krasnova, tnatag@mail.ru

*Institute of Ecology of the Volga river basin RAS – branch of the SamSC RAS, Togliatti, Russia*

## **FORMATION OF A COMMUNITY OF PLANKTON ORGANISMS IN THE PRIPLOTINNY REACH OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR IN AUTUMN 2020**

In the Priplotinny reach of the Kuibyshev reservoir, specific conditions are created related to its morphometry, location and operation mode of the hydroelectric plant (HPP). The influence of the inflow on the reach is associated with a slight decrease in water salinity, an increase at the confluence of the total mass of seston and phytoplankton biomass. Despite the fact that in autumn rotifers dominated throughout the water area of the Priplotinny ples of the Kuibyshev reservoir, after the confluence of the river. Usa there was a change of dominant species. The effect of the influx on the community of infusoria was manifested in a significant increase in their species richness, abundance and biomass after the inflow confluence

*Keywords:* hydrology, seston, detritus, phytoplankton, zooplankton, ciliates, Usa river.

### ***Введение***

Куйбышевское водохранилище представляет собой водоем сложной конфигурации, пересекающей в своем течении три климатических зоны. Завершающим его звеном является Приплотинный плес, принимающий сформированные воды собственно водохранилища, правого притока – р. Уса, испытывающий на себе влияние крупного промышленного узла г. Тольятти и гидроузла Жигулевской ГЭС. Все эти факторы приводят к формированию в этой части водоема

сложных гидрологических и гидрохимических условий, оказывающих влияние на формирование сообщества гидробионтов. В свою очередь, биологические факторы оказывают важное влияние на качество воды, особенно в период массового развития в них отдельных организмов (например, в период «цветения» воды).

Цель работы: выявить основные факторы, влияющие на формирование планктонного сообщества Приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища в период окончания цианобактериального «цветения» воды.

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

Куйбышевское водохранилище – самое крупное водохранилище Европы. Водоем представляет собой гетерогенную систему, состоит из 8 плесов, соединенных узкостями и трех заливов [1]. По его берегам расположено ряд крупных промышленных городов, в том числе губернских центров (Казань, Ульяновск), оказывающих значительное влияние на формирование его вод. В Куйбышевское водохранилище впадает самый крупный приток Волги – Кама и ряд других малых рек.

Конечным звеном Куйбышевского водохранилища является Приплотинный плес. Замыкающая плес плотина Жигулевской ГЭС осуществляет работу в недельном, суточном и сезонном режимах, что сказывается на гидрологических условиях (изменение скоростей и направления течения, турбулентности), что оказывает значительное воздействие на сообщество формирующихся здесь гидробионтов.

Протяженность Приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища – 35 км, максимальная ширина 12 км, площадь водного зеркала 397 км<sup>2</sup> [1].

Изучение планктонного сообщества Приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища проводили в период окончания цианобактериального «цветения», а именно в сентябре-октябре 2020 г.

Для анализа использовали данные, полученные при обработке усредненных проб воды, отобранных батометром Дьяченко на 21 станции Приплотинного плеса. Подробная характеристика мест отбора проб приведена нами ранее [6; 7].

При анализе развития фито-, протозоо- и зоопланктона использовали стандартные гидробиологические методики [2; 3]; для подсчета и определения бактериопланктона, пико-, нанодетрита и фототрофного пикопланктона использовали мембранные фильтры [5]. Содержание углерода в различных компонентах планктонного сообщества определяли расчетным методом [4].

### ***Анализ результатов***

Для Приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища, так же, как и для участков других водохранилищ, расположенных в верхнем бьефе, характерны следующие специфические условия: невысокие показатели мутности воды, высокая прозрачность, максимальные глубины, небольшие скорости течения. Влияние р. Уса, воды которой менее минерализованы, в месте ее впадения проявлялось в незначительном снижении электропроводности. Кроме того, в

приплотинных участках водохранилищ более заметно влияние ГЭС на формирование специфических гидрологических условий.

В ходе нашей работы была проведена оценка массы сестона, представляющего собой смесь детритных частиц и планктона. Как показали исследования, ее максимальные показатели регистрировались в середине плеса, напротив впадения р. Усы и составляли – 762 мкг С/л. Соотношение детрита и планктона в сестоне составило 1:1. Основная роль в формировании детрита принадлежала нанодетритным частицам.

Суммарная биомасса планктонного сообщества изменялась в широких пределах: от 35,4 мкг С/л до 297,3 мкг С/л. Влияние р. Уса на планктонное сообщество водохранилища в целом, проявлялось в увеличении общей биомассы планктона после впадения реки. Это связано с тем, что в этот период в р. Усе развивались крупноклеточные диатомовые водоросли, в то время как в самом Приплотинном плесе преобладали цианобактерии, имеющие мелкие размеры клеток. Основу биомассы зоопланктона Приплотинного плеса составляли коловратки. Однако, выше впадения Усы доминировал *Bipalpus hudsoni* (Imhof, 1891), а ниже – *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850. Среди ракообразных на всей акватории плеса активно развивались *Bosmina (Eubosmina) coregoni* Baird, 1857, *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O.F. Müller, 1785) и *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1776).

Влияние р. Уса на сообщество инфузорий проявилось больше в изменении его количественных характеристик: удельное число видов увеличилось после впадения притока почти в 4 раза, численность инфузорий – в 7,8 раз, а биомасса – в 6,3 раза, что привело к перераспределению количественных характеристик сообщества между глубоководной и мелководной частями водохранилища в целом [6].

### **Выводы**

Исследования подтвердили, что в Приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища создаются специфические условия, связанные с его морфометрией, местом расположения и режимом работы ГЭС.

Влияние притока на плес связано с незначительным уменьшением минерализации воды, увеличением ее в месте впадения общей массы сестона и биомассы фитопланктона.

Несмотря на то, что в осенний период по всей акватории Приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища доминировали коловратки, после впадения р. Уса произошла смена доминирующих видов.

Наименьшее значение приток оказал на видовой состав и распределение по акватории плеса водохранилищ инфузорий.

Влияние р. Уса на сообщество инфузорий проявилось больше в изменении его количественных характеристик.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме №122032500063-0.*

## Библиографический список

1. *Дзюбан Н.А.* О районировании Куйбышевского водохранилища // Бюл. ин-та биологии водохранилищ, 1960 №8-9.
2. *Жариков В.В.* Кадастр свободноживущих инфузорий водохранилищ Волги. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1996. 76 с.
3. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 240 с.
4. *Копылов А.И., Косолапов Д.Б.* Бактериопланктон водохранилищ Верхней и Средней Волги. М.: Изд-во СГУ. 2008. 377 с.
5. *Кузнецов С.И., Дубинина Г.А.* Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
6. *Bykova S.V., Umanskaya M.V., Tarasova N.G., Krasnova E.S., Mukhortova O.V., Mikhailov R.A.* Plankton community of the lower course of the kama river in the late autumn period // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 818. Bristol, 2021. P. 12006.
7. *Umanskaya M.V., Krasnova E.S., Gorbunov M.Yu.* Micro-scale spatial distribution of bacterioplankton in the priplotinny (near-dam) reach of the Kuibyshev reservoir in the early autumn period 2020 // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 818. Bristol, 2021. P. 12055.

Н.В. Холмогорова, О.А. Пушина, [nadjaholm@mail.ru](mailto:nadjaholm@mail.ru)  
Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАКРОЗООБЕНТОСА ИЖЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Проведен сравнительный анализ видового состава и количественного развития макрозообентоса Ижевского водохранилища за период с 1960 по 2022 гг по данным периодических исследований. Отмечено значительное упрощение структуры донных сообществ в приплотинной части водохранилища и уменьшение роли двустворчатых моллюсков в кормовой базе рыб. За период исследования зафиксированы находки двух видов-вселенцев: *Dreissena polymorpha* и *Naementeria costata*.

*Ключевые слова:* Ижевское водохранилище, Удмуртская Республика, макрозообентос, кормовая база рыб.

N. Kholmogorova, O. Pushina [nadjaholm@mail.ru](mailto:nadjaholm@mail.ru)  
Udmurt state University, Izhevsk, Russia

## LONG-TERM DYNAMICS OF THE MACROZOOBENTHOS COMMUNITY INDICATORS OF THE IZHEVSK RESERVOIR

Based on the data of periodic studies, a comparative analysis of the species composition and quantitative development of the macrozoobenthos communities of the Izhevsk reservoir for the period from 1960 to 2022 was carried out. A significant simplification of the structure of benthic communities in the pre-dam part of the reservoir and a decrease in the role of bivalve mollusks in the food supply of fish were noted. During the study period two invasive species were found, *Dreissena polymorpha* and *Naementeria costata*.

*Keywords:* Izhevsk reservoir, Udmurt Republic, macrozoobenthos, fish food supply.

### **Введение**

На протяжении многих лет качество воды Ижевского водохранилища вызывает опасения и тревогу экологов, чиновников и жителей города. За период с 2003 г., когда впервые было зафиксировано бурное цианобактерное «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», реконструкция набережной в центре города, альголизация хлореллой, зарыбление планктоноядными видами рыб и удаление фитомассы высших водных растений на мелководных и сильно зарастающих участках верхнего плеса [1].

Однако улучшения состояние водоёма до сих пор не наблюдается, «цветение» воды начинается уже в начале июня и продолжается до первых заморозков.

Ижевское водохранилище (Ижевский пруд) – антропогенный водоем плотинного типа на р. Иж, расположенный в 189 км от ее устья. Объем пруда при НПУ 99,5 м составляет 76,3 млн м<sup>3</sup>, площадь зеркала – 26,4 км<sup>2</sup>. Максимальная длина водоема составляет 11,4 км, максимальная ширина – 2,3 км. Максимальная глубина водохранилища у плотины достигает 12 м, средняя глубина – 3,2 м. Площадь мелководий с глубинами до 2 м составляет в водоеме около 7 км<sup>2</sup>, протяженность береговой линии при НПУ – 35 км [2]. Коэффициент водообмена составляет около 3,34.

Ижевское водохранилище по величине полного объема воды относится к небольшим водоемам, по максимальной глубине – к неглубоким, а по площади водного зеркала – к средним водоемам.

Первые исследования макрозообентоса Ижевского пруда проведены Варфоломеевым В.В. в 1956–64 гг. [3]. Однако списки видов макрозообентоса в его работах отсутствовали. В 1991 г. лабораторией Госкомприроды УР было проведено исследование макрозообентоса (МЗБ), выявлено 32 вида организмов [4]. В 2006 г. по заказу МУП «Ижводоканал» сотрудниками Пермского отделения ФГНУ «ГосНИОРХ» была проведена оценка экологического состояния и определен видовой состав фауны беспозвоночных гидробионтов Ижевского ВДХР [5]. Описание зарослевой фауны верхней части и Пазелинского залива приведены в работах [6-7].

Цель данной работы – оценить многолетнюю динамику видового состава и количественных показателей макрозообентоса Ижевского водохранилища.

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

Отбор проб на Ижевском водохранилище проводили с 2012 по 2013 и с 2020 по 2022 г. Отбор проб макрозообентоса производился совместно с отбором проб донных отложений с лодки с помощью дночерпателя ДАК-100 (1/100 м<sup>2</sup>) трехкратным зачерпыванием донного грунта на каждом участке. В 2012-13 гг. отобрано 88, в 2020-2022 гг – 44 пробы зообентоса (табл. 1).

В донных отложениях определяли долю органических веществ методом озоления в муфельной печи при t 900 °С.

При камеральной обработке собранных материалов определяли видовой состав макрозообентоса, рассчитывали численность, общую и кормовую биомассу.

Таблица 1

**Число видов макрозообентоса на разных участках водохранилища**

Период	Число проб макрозообентоса	Число видов и форм		
		Верхняя часть	Средняя часть	Нижняя часть
2006	60	47	37	48
2012-2013	88	26	15	-
2020-2022	44	73	21	36

## Результаты

Суммарное содержание органических веществ в донных отложениях, отобранных в 2012-2013 годах варьировало от 0,8 до 64,7 % от сухой массы [1]. Максимальное содержание органических веществ фиксировалось в верхней части водохранилища, на мелководье, зарастающем макрофитами.

В 2020-2022 гг. доля органических веществ в верхней части водоёма менялась от 2,6% на песчаных грунтах до 32,4% в прибрежных илисто-детритных отложениях. В русловой части верхнего участка доля органических веществ составляла около 24%. В приплотинной части ВДХР в песчаных отложениях содержание органических веществ составило около 6,6%, в илистых грунтах – около 19%. Возможно изменение конструкции плотины водохранилища в 2003 г. с верхнего водослива на нижний способствовало выносу органических наносов в р. Иж.

В 2006 году было зарегистрировано 70 таксонов донных беспозвоночных. Наибольшее видовое богатство отмечено для личинок двукрылых из сем. Chironomidae (33 вида и формы), малощетинковые черви представлены 19 видами, моллюски – 7 видами. В мелководной зоне зарегистрировано 69, в глубоководной – 14 видов макрозообентоса. Основную биомассу макрозообентоса формировали виды рода *Chironomus* [5].

В 2012-2013 гг. всего отмечено 28 видов и таксонов более высокого ранга макрозообентоса, при этом личинки комаров-звонцов определяли только до подсемейства. В мелководной зоне обнаружено 29 видов, в глубоководной – 11 видов и таксонов более высокого ранга.

В 2020-2022 гг. отмечено 83 вида донных беспозвоночных, из которых 22 вида моллюсков и 22 вида и формы личинок комаров-звонцов. Малощетинковые черви представлены 6 видами, жуки, ручейники и стрекозы по 5 видов. В мелководной зоне отмечено 76 видов, в глубоководной (> 2 м) – 48 видов бентоса.

За период с 2020 по 2022 г. впервые отмечены зоны обитания *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) в русловой части верхнего и среднего участка водоема с плотностью до 100 экз/м<sup>2</sup> и биомассой до 175 г/м<sup>2</sup>, ранее вид отмечался только в р. Иж ниже плотины.

Кроме того, в 2022 году обнаружен новый для Удмуртской Республики вид пиявок: *Haementeria costata* (Muller, 1846) – пиявка черепашня. Основной хозяин – болотная черепаха в Удмуртии не встречается, однако в литературе есть данные о возможном переходе на другие источники питания (птицы, амфибии, млекопитающие) данного вида пиявки [8].

В верхней части водохранилища, где проективное покрытие макрофитов достигает 50-80% на разных участках максимальные показатели плотности и биомассы фиксируются на мелководье. В средней части максимальная биомасса отмечена в русловой части, где встречаются крупные моллюски *Unio pictorum* и личинки комаров-звонцов рода *Chironomus* (табл. 2).

Таблица 2

**Количественные характеристики макрозообентоса на разных участках водохранилища**

Период	Общая биомасса, г/м <sup>2</sup>			Численность, экз./м <sup>2</sup>		
	Верхняя часть	Средняя часть	Нижняя часть	Верхняя часть	Средняя часть	Нижняя часть
2006	34,05/8,49	17,20/14,79	18,18/25,75	4926/1934	4330/4314	10633/3573
2012-2013	28,80/12,3	4,65/26,41	-	1054,5/987,6	587,1/5344,8	-
2020-2022	14,42/7,29	9,87/32,4	1,33/4,47	544/417	817/567	269/469

\* Над чертой данные по мелководью, под чертой – глубоководные.

Для оценки многолетней динамики кормовой базы, были рассчитаны биомассы основных кормовых групп бентоса по осенним пробам (табл.3). Явно прослеживается тенденция сокращения роли двустворчатых моллюсков в кормовой базе. Начиная с 2004 г., до полного исчезновения этой группы в 2012-2013 гг. Мелкие двустворчатые моллюски встречаются в небольших количествах лишь в верхней части водоёма, но в осенних сборах они отсутствовали. Биомасса олигохет заметно снизилась с 2006 г., масса хирономид немного увеличилась, масса прочих организмов и всего кормового бентоса с 2004 г. изменились не существенно.

Таблица 3

**Средние показатели осенней биомассы основных групп кормовых организмов Ижевского ВДХР в осенний период 1960, 2004, 2006 [5], 2012, 2013 гг.**

Года	Олигохеты	Моллюски	Хирономиды	Прочие	Всего
1960	1,03	5,63	3,73	0,86	11,25
2004	2,46	0,27	3,60	0,54	6,87
2006	3,26	0,15	4,76	0,16	8,33
2012	0,63	0	6,08	0,55	7,50
2013	1,81	0	4,39	0,22	6,58

### **Обсуждение**

Несмотря на нерегулярность исследований макрозообентоса Ижевского водохранилища, при сравнении полученных разными группами ученых результатов, можно отметить общие тенденции трансформации донных сообществ. Заращение верхней части и мелководных участков правого берега водными растениями способствует накоплению автохтонной органики и формированию богатых видами фитофильных сообществ бентоса. В русловой части среднего участка основу макрозообентоса по численности составляет олигохетно-хирономидный комплекс, а основу биомассы крупные Unionidae, с 2006 года эти показатели меняются незначительно. При этом данные 2006 г по приплотинной части акватории заметно отличаются от данных 2020-2022 гг., так как в этой части нами не отмечено крупных моллюсков, а значит и биомасса бентоса была минимальной. Также мелкие двустворчатые моллюски, относящиеся к кормовым, отмечались только в верхней части водохранилища и в прибрежных пробах среднего участка. Таким образом, приплотинная часть подвержена максимальной ан-

тропогенной нагрузке, что отражается на снижении всех показателей макрозообентоса (число видов, биоразнообразие, плотность, биомасса) за период с 2006 по 2022 гг.

На основании изменения биомассы кормового бентоса, можно заключить, что с 1960 года, трофический статус заметно снизился, а начиная с 2004 года менялся незначительно. Водохранилище на данный момент относится к  $\beta$ -мезотрофному типу [9].

### Библиографический список

1. *Котегов Б.Г., Аксенова Н.П., Захаров В.Ю., Холмогорова Н.В., Фефилова К.К.* Биологические и химические эффекты антропогенного эвтрофирования Ижевского водохранилища. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2013. 178 с.

2. Удмуртская Республика: энциклопедия / гл. ред. В.В. Туганаев. Ижевск: Удмуртия, 2000. 797 с.

3. *Варфоломеев В.В.* Биология промысловых рыб прудов-водохранилищ Удмуртии // Ученые записки Перм. гос. пед. ин-та. Пермь, 1967 вып.41. С.46-149.

4. *Захаров В.Ю.* Многолетняя динамика состояния гидробионтов Ижевского водохранилища // Седьмая науч.-практ. конф. преподавателей и сотрудников УдГУ, посвящ. 245-летию г. Ижевска: мат. конф. Ижевск, 2005. Ч. 2. С. 188-189.

5. *Истомина А.М., Истомин С.Г., Казакова Н.С., Поздеев И.В., Селеткова Е.Б.* Экологическое состояние Ижевского пруда // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2008. С. 46–51.

6. *Каргапольцева И.А.* Фитофильные макробеспозвоночные устьевых областей малых рек Удмуртской Республики (на примере рек Березовка и Пазелинка) // Экология: факты гипотезы, модели: материалы конф. молодых ученых. Екатеринбург: Голицкий, 2016. С. 41-47.

7. *Холмогорова Н.В., Каргапольцева И.А.* Видовой состав макробеспозвоночных Ижевского водохранилища и оценка качества воды по организмам макрозообентоса // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Пермь, 2019. Т. 3. С. 85-90

8. *Лада Г.А.* Черепашья пиявка *Haementeria costata*: новый вид фауны Тамбовской области // Вестник ТГУ, 2015. Т.20. Вып.1. С. 183-184.

9. *Китаев С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.

Г.М. Чуйко, И.И. Томилина, Л.П. Гребенюк, Р.А. Ложкина gchuiko@ibiw.ru  
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос.Борок, Россия

## **СВЯЗЬ ТЕРАТОГЕННЫХ ЭФФЕКТОВ У ЛИЧИНОК ХИРОНОМИД С УРОВНЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ В РЫБИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

Экспериментально подтверждено тератогенное воздействие донных отложений Рыбинского водохранилища на все структуры ротового аппарата личинок комара *Chironomus riparius*. Количество деформаций ротового аппарата личинок хирономид может отражать уровень загрязнения донных отложений и служить достоверным биомаркером при проведении мониторинга экологического состояния пресноводных экосистем.

*Ключевые слова:* донные отложения, хирономиды, морфологические деформации ротовых структур, загрязнение

G.M. Chuiko, I.I. Tomilina, L.P. Grebenjuk, R.A. Lozhkina  
gchuiko@ibiw.ru

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the RAS, Borok, Russia*

## **THE RELATIONSHIP OF TERATOGENIC EFFECTS IN CHIRONOMID LARVAE WITH THE LEVEL OF ANTHROPOGENIC LOAD OF POLLUTANTS IN THE RYBINSK RESERVOIR**

The teratogenic effect of bottom sediments of the Rybinsk Reservoir on the occurrence of pathomorphological changes of the all mouthpart structures of *Chironomus riparius* larvae has been experimentally confirmed. The number of deformities of the mouthparts of chironomid larvae may reflect the potential danger of contaminated sediments and serve as a good biomarker when monitoring the ecological state of freshwater ecosystems.

*Keywords:* sediments, chironomids, morphological deformities, mouthpart structures, pollution

### ***Введение***

Один из перспективных методов индикации и оценки токсического загрязнения различных водоемов – использование морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид [8]. Токсические загрязняющие вещества (ЗВ), как неорганические, так и органические, воздействуют на морфогенез животных, приводя к мальформациям структур ротового аппарата личинок комаров-звонцов р.*Chironomus*: антенн (слабохитинизированные структуры), ментума и мандибул (сильнохитинизированные структуры). Данный метод эффективнее отражает потенциальную токсичность донных отложений (ДО) в сравнении с методами химического анализа в связи с невозможностью измерить все токсиканты, присутствующие в загрязненных ДО [1]. Водоем считается чистым, если в природных условиях доля личинок хирономид с аномалиями составляет от 3–5 до 8–10%. В популяции личинок комара *Chironomus riparius*, содержащейся длительное время в лабораторной культуре и используемой при биотестировании, доля деформированных личинок выше, чем в природных популяциях, и может достигать 10–14%.

Цель работы – изучить связь токсичности донных отложений Рыбинского водохранилища с возникновением морфологических деформаций структур ротового аппарата личинок хирономид.

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

Исследования проводили на личинках комара-звонца *Chironomus riparius* Meigen, 1804, культивируемых в лаборатории на незагрязненном грунте (фоновым контролем служили ДО устья р. Сутка, притока Рыбинского водохранилища) и отстоянной артезианской воде. Личинок хирономид первой стадии на следующие сутки после вылупления в количестве 30 шт. помещали индивидуально в чашки Петри с ДО [5]. Продолжительность эксперимента ~20 сут (до достижения 80% личинок стадии IV возраста). Животных в ходе опытов кормили суспензией кормовых дрожжей из расчета 0,25 мг/личинку, корм добавляли в ДО по мере выедания.

Для оценки токсикологического состояния донных отложений по морфологическим нарушениям структур ротового аппарата личинок хирономид использовали следующие показатели: частота встречаемости деформаций, изменение соотношения деформированных структур, индекс тяжести антеннальной деформации ISAD (Index of Severity of Antennal Deformation) [10], индекс тяжести деформаций сильнохитинизированных структур ISMMD (*Index of Severity of Mandibular and Mentum Deformations*) [3].

Для сравнения доли деформированных личинок в природных популяциях и при биотестировании ДО в лабораторных условиях на некоторых станциях однократно отбирали пробы бентоса, из которых извлекали личинок *Chironomus plumosus* Linnaeus, 1758 и проводили биотестирование этих же проб с использованием личинок *Ch. riparius*.

Данные представляли в виде средних значений и их ошибок ( $x \pm SE$ ). Статистическую значимость различий оценивали методом дисперсионного анализа (ANOVA, LSD-тест) при  $p = 0,05$  [9].

### ***Анализ результатов***

При биотестировании природных ДО, отобранных из разных по содержанию ЗВ (полихлорированные бифенилы (ПХБ), тяжелые металлы (ТМ), редкоземельные элементы (РЗЭ)) участков Рыбинского водохранилища в период 2006-2012 гг., с использованием *Ch. riparius* из лабораторной культуры показано, что средние доли личинок хирономид с мальформациями по плесам составили: Моложского – 29,4, Центрального – 24,6, Волжского – 24,0, Шекснинского – 26,2 % (контроль – 6,7%). Патологии наблюдались во всех структурах ротового аппарата, но в среднем для антенн их доля была выше (29,6–71,1%), чем для ментума и мандибул (3,2–14,9%). Выраженность нарушений, рассчитанная по индексам ISAD и ISMMD, превышала таковую в контроле соответственно в 3-8 и 6,5-8 раз не зависимо от плеса водохранилища.

Мальформации, встречаемые при биотестировании ДО водохранилища на *Ch. riparius*, отмечены и у личинок *Ch. plumosus* из природных популяций в тех же местах отбора проб. Относительная численность личинок *Ch. plumosus* с деформациями колебалась от 30 до 67% (в среднем 57,5%) и была выше таковой

*Ch. riparius* при биотестировании ДО. Доля личинок с деформациями сильнохитинизированных структур *Ch. plumosus* в 5.4 раза была выше, чем у *Ch. riparius*. Значения ISAD были выше для *Ch. riparius*, а ISMMD – для *Ch. plumosus* в среднем в 107 раза.

Это можно объяснить несколькими причинами: 1) мальформации могут накапливаться у популяций хирономид, длительно живущих в условиях антропогенного загрязнения; 2) случаи возникновения деформаций среди родов подсемейства Chironomidae встречаются чаще, чем в других подсемействах [7]; 3) искусственно вызванные деформации чаще всего слабее и количество их меньше, чем в природных популяциях из загрязненных мест [4]; 4) токсичность ДО может зависеть от выбора тест-объекта, их чувствительности и характера ЗВ; 5) важную роль в индукции деформаций может играть комбинация физических, химических и биологических параметров среды [2]. Возможно, факторы, непосредственно не связанные с загрязнением (тип донных отложений, хищничество, конкуренция за пищевой ресурс), также могут влиять на возникновение мальформаций; 6) время отбора проб также может влиять на общую картину частоты обнаружения деформаций. Если пробы отбирали после вылета хирономид, количественная оценка популяции может быть занижена. Оставшиеся особи могут представлять физиологически ослабленных членов популяции с замедленным метаморфозом, или тех, которые не способны его завершить.

Корреляционный анализ показал, что повышение концентрации в ДО Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Mo и Cd влияли на возникновение мальформаций структур ротового аппарата личинок хирономид (таблица). Количество деформированных сильнохитинизированных структур (ментума и мандибул) зависело от присутствия в ДО низкохлорированных (3-ХБ, 4-ХБ) и высокохлорированных (5-ХБ, 6-ХБ) конгенеров ПХБ. Отмечено, что содержание РЗЭ в ДО влияло на прохождение метаморфоза личинками хирономид, т.е. доля личинок, достигших IV возраста, зависела от концентрации РЗЭ в ДО (таблица).

**Корреляционные зависимости морфологических параметров личинок комара *Ch. riparius* от концентраций химических элементов в донных отложениях Рыбинского водохранилища**

Параметр	Химический элемент (коэффициент корреляции по Спирмену при $p < 0,5$ )
Доля личинок с деформациями, %	Cr (-0,485), Ni (-0,511), Cu (-0,566), Zn (-0,573), Sr (-0,557), Mo (-0,570), Cd (-0,563), Pb (-0,522)
Доля деформированных сильно-хитинизированных структур (ментум, мандибулы) общего числа деформаций	3-ХБ (0,588), 4-ХБ (0,596), 5-ХБ (0,611), 6-ХБ (0,427), Се (-0,403)
ISAD	Ge (-0,609)
ISMMD	3-ХБ (0,394), 4-ХБ (0,520), 5-ХБ (0,571), 6-ХБ (0,497), Се (-0,394), U (-0,379)
Доля личинок IV возраста, %	Mn (0,537), Sm (0,388), Eu (0,396), Gd (0,380), Dy (0,406), Ho (0,387)

Механизм возникновения деформаций структур ротового аппарата личинок хирономид при загрязнении ДО изучен недостаточно. По некоторым данным, патоморфологические изменения структур, вероятно, являются следствием взаимодействия разрушающих эндокринную систему химических веществ, с гормонами, структурно связанными с эстрогеном, такими как экдизон [6]. Следовательно, “измененный” экдизон может влиять на процессы линьки в развитии личинок, и вызывать мальформации у хирономид.

### **Выводы**

Таким образом, экспериментально подтверждено тератогенное действие ДО Рыбинского водохранилища на возникновение патоморфологических изменений структур ротового аппарата личинок *Ch. riparius*. Максимальная доля личинок с мальформациями отмечена при биотестировании ДО Моложского плеса, отобранных в 2008 г. –  $52,5 \pm 9,6\%$ .

Частота встречаемости деформаций ротового аппарата личинок хирономид, их доля в общем числе мальформаций и тяжесть выявленных нарушений могут отражать потенциальную опасность загрязненных ДО и служить хорошим биомаркером антропогенной нагрузки на водный объект при проведении мониторинга экологического состояния пресноводных экосистем. При этом показатели мальформаций сильнохитинизированных структур могут рассматриваться как специфический биомаркер присутствия в окружающей среде токсических органических веществ, включая ПХБ.

*Работа выполнена в рамках плановой темы № г/р 121050500046-8 при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №08-05-00805, 12-05-00572 и приоритетного проекта Оздоровление Волги по теме № г.р. АААА-А18-118052590015-9.*

### **Библиографический список**

1. Di Veroli A., Santoro F., Pallottini M. et al. Deformities of chironomid larvae and heavy metal pollution: From laboratory to field studies // Chemosphere. 2014. Vol. 112. P. 9–17. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.053
2. Dickman M., Rygiel G. Chironomid larval deformity frequencies, mortality, and diversity in heavy-metal contaminated sediments of a Canadian riverine wetland // Environment International. 1996. Vol. 22. N 6. P. 693–703. DOI: 10.1016/S0160-4120(96)00060-8
3. Grebenjuk L.P., Tomilina I.I. Morphological deformations of hard-chitinized mouthpart structures in larvae of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) as the index of organic pollution in the index of organic pollution in freshwater ecosystems // Inland Water Biology. 2014. Vol. 7. N 3. С. 273–285.
4. Janssens de Bisthoven L.G., Timmermans K.R., Ollevier F. The concentration of cadmium, lead, copper and zinc in *Chironomus* gr. *thummi* larvae (Diptera, Chironomidae) with deformed versus normal menta // Hydrobiologia. 1992. Vol. 239. P. 141. DOI:10.1007/BF00007671

5. *Ingersoll C.G., Nelson M.K.* Testing sediment toxicity with *Hyaella azteca* (Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Diptera) // *Aquat. Toxicol. and Risk Assessment*. Philadelphia: Amer. Soc. Test. and Mater. 1990. V. 13. P. 93. DOI: 10.1520/STP20101S.
6. *He H., Xi G., Lu X.* Molecular cloning, characterization, and expression analysis of an ecdysone receptor homolog in *Teleogryllus emma* (Orthoptera: Gryllidae) // *J. Insect Sci.* 2010. Vol. 10(188). P. 1. DOI: 10.1673/031.010.18801.
7. *Ochieng H., de Ruyter van Steveninck E.D., Wanda F.M.* Mouthpart deformities in Chironomidae (Diptera) as indicators of heavy metal pollution in northern Lake Victoria, Uganda // *Afr. J. Aquat. Sci.* 2008. № 33(2). P. 135. DOI: 10.2989/AJAS.2008.33.2.4.501.
8. *Odume O. N., Muller W. J., Palmer C. G., Arimoro F. O.* Mentum deformities in Chironomidae communities as indicators of anthropogenic impacts in Swartkops River // *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C.* 2012. Vol. 50–52. P. 140–148. DOI: 10.1016/j.pce.2012.08.005.
9. *Sokal R.R., Rohlf F.J.* Biometry. The principals and practice of statistics in biological research. 1995. New York: W.H. Freeman and Co. 859 p.
10. *Warwick W.F.* Morphological abnormalities in Chironomidae (Diptera) larvae as measures of toxic stress in freshwater ecosystems: indexing antennal deformities in *Chironomus meigen* // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1985. Vol. 42. P. 1881. DOI: 10.1139/f85-236.

# КРУГЛЫЙ СТОЛ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

УДК 556

С.В. Бузмаков, А.А. Осташов, А.В. Юхно, А.С. Лубенцов, А.Д. Пнюшков  
*Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия*

## РАСЧЁТ НАИВЫСШИХ УРОВНЕЙ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ УСТЬЕВОГО УЧАСТКА РЕКИ НЕВА

Длинный ряд наблюдений за гидрологическим параметром не всегда обеспечивает наименьшую погрешность получения требуемых расчётных характеристик. Изменение соотношения факторов формирования стока, антропогенные изменения на водосборе и в русле реки приводят к формированию нескольких квазистационарных периодов. Так один из самых длинных рядов наблюдений за наивысшими уровнями воды в России на р.Неве является нестационарным в связи со строительством комплекса защитных сооружений г.Санкт-Петербурга от наводнений и в случае целостности защитной дамбы известные всей общественности по художественной литературе затопления города больше не будут происходить. В работе рассматривается алгоритм пересчёта ряда наблюдений до постройки гидротехнических сооружений к современному периоду с получением одного стационарного периода и расчётом наивысших уровней воды различной обеспеченности для Санкт-Петербурга.

*Ключевые слова:* нагонные наводнения, стационарность, гидрологические расчёты, защитная дамба, Санкт-Петербург.

S.V. Buzmakov, A.A. Ostashov, A.V. Yukhno, A.S. Lubentsov, A.D. Pnyushkov  
*State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia*

## CALCULATION OF THE HIGHEST WATER LEVELS IN THE CASE OF NON-STATIONARY SERIES OF OBSERVATIONS ON THE EXAMPLE OF THE NEVA RIVER MOUTH

A long-term series of the hydrological parameters does not always provide the lowest error in calculating of the required statistical characteristics. Changes in the flow formation factors ratio, anthropogenic changes in the catchment area and in the riverbed lead to the formation of several quasi-stationary periods. Thus, one of the longest series of observations of the highest water levels in Russia on the Neva River is non-stationary due to the construction of a complex of flood defenses in St. Petersburg. In the case of the robust operation of the protective dam, the flooding of the city, known to the widespread public from fiction, will no longer occur. The paper considers an algorithm for recalculating a number of observations before the construction of hydraulic structures to the modern period with the receipt of one stationary period and the calculation of the highest water levels of various probability for the St. Petersburg.

*Keywords:* surge floods, stationarity, hydrological calculations, flood protective dam, St. Petersburg.

## ***Введение***

Уровень воды в р.Неве определяется множеством факторов, среди которых можно выделить следующие: расход воды, нагоны и сгоны в Шлиссельбургской губе Ладожского озера, заторы и зажоры льда, стеснение русла ледяным покровом, нагоны и сгоны в Финском заливе Балтийского моря. В истоке реки основное влияние на уровень воды оказывает Ладожское озеро, но, по мере продвижения вниз по реке, влияние озера ослабевает, и к устьевой части (в пределах г.Санкт-Петербурга) уровень воды в р.Неве практически полностью зависит лишь от приливов и отливов, нагонов и сгонов, сейш и длинных волн в Финском заливе. В современных условиях на ход уровней воды накладывается воздействие комплекса защитных сооружений г.Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС), который значительно снижает естественные нагонные пики в Невской губе.

Водная поверхность Финского залива никогда не бывает горизонтальной. Поскольку Невская губа находится в глубине материка, то приливы и отливы невелики и составляют в среднем 6-10 см, наибольшие до 25 см [1]. Они могут быть зафиксированы только в безветренную погоду при отсутствии ледяного покрова. Самое большое воздействие на уровень воды в устьевой части Невы оказывают сгонно-нагонные явления. В зависимости от скорости, направления и продолжительности ветра, путей перемещения циклонов в Балтийском море формируется или длинная волна, или нагон-сгон, или сейша, или, наконец, всё вместе взятое. Именно последний вариант приводит к самым сильным наводнениям в г.Санкт-Петербурге.

Уровненный режим р.Невы изучен достаточно хорошо. В связи со строительством города Санкт-Петербург в 1703 г. все наводнения должным образом регистрировались, кроме второй половины 18 века, когда действовал царский указ, запрещающий публиковать сведения о наводнениях (чтобы... «не портить репутации столицы»). До 1878 г. (начало работы поста Горный институт) основные наводнения хорошо исследованы множеством специалистов по историческим рукописям и изложены в каталоге ленинградских наводнений [2; 3; 4]. Первые постоянные, хотя и отрывочные наблюдения начались в Кронштадте в 1806 г., с 1836 г. эти наблюдения велись уже 4-8 раз в сутки, а с 1898 г. наблюдения непрерывны и фиксируются самописцами уровня воды. Наблюдения на уровнемерном посту Горный институт начаты в 1878 г., и продолжались до 1888 г. с перерывами, а далее, с помощью самописца, непрерывно ведутся до настоящего времени. В таблице 1 представлены уровнемерные посты в устьевой части р. Нева. Все перечисленные посты до сих пор действуют.

Наводнением в г.Санкт-Петербурге является повышение уровня воды на посту Горный институт выше отметки 160 см БС [5]. Самые значительные наводнения возникают тогда, когда сформировавшийся циклон движется над Балтийским морем с юго-запада на северо-восток вызывая длинную волну (её высота не более 30-40 см, но длина сопоставима с длиной всего моря), высота которой при подходе к мелководному устью Невы возрастает, а дующий сильный попутный западный ветер значительно увеличивает этот эффект. Самое выдающееся

наводнение в истории города произошло 7 (19) ноября 1824 г. В этот день уровень воды по Горному институту поднялся до отметки 421 см БС [6], а в Кронштадте до 367 см.

Таблица 1

**Уровнемерные посты в устьевой части реки Нева**

Номер	Название пункта наблюдений	Год открытия
72827	р. Большая Нева – Горный институт	1878 (1888*)
26060	Финский залив – Кронштадт	1806 (1898*)
26062	Невская устьевая (Невская-Порт)	1920
72836	р. Малая Невка – ИЦП	1978
72824	р. Нева – Литейный мост	1941

\* – ведутся непрерывные наблюдения по самописцу уровня воды

В таблице 2 приведены самые высокие зафиксированные наводнения и их обеспеченности в естественных условиях, т.е. до создания комплекса защитных сооружений.

Таблица 2

**Самые значительные наводнения по посту Горный институт**

Год	1824	1924	1691	1777	1955	1752	1723	1726
Уровень воды, см БС	421	380	340	321	293	280	272	270
Обеспеченность, %	0,35	0,70	1,05	1,40	1,76	2,11	2,46	2,81

В среднем за год в естественных условиях происходит 1 наводнение (0,90-0,98 случаев в год) выше отметки 160 см БС у Горного института. В таблице 3 приведены обеспеченные значения наивысших уровней воды в естественных условиях по двум постам Горный институт и Кронштадт. Из этой таблицы заметно, что в Невской губе во время нагонных наводнений уклон водной поверхности увеличивается с ростом уровня воды, в связи с доминирующим влиянием ветра западного направления.

Таблица 3

**Обеспеченные значения наивысших уровней воды в естественных условиях, см БС**

Номер	Название пункта наблюдений	Обеспеченность, %			
		0.1	1	5	50
72827	р. Большая Нева – Горный институт	475	345	257	175
26060	Финский залив – Кронштадт	410	293	200	138

Сразу после разрушительного нагона 1824 г. начались разрабатываться проекты по защите города от наводнений. Первый проект был разработан инженером П. П. Базеном в 19 веке, но был признан нереализуемым при существующем уровне развития строительных технологий. К данному вопросу уже с серьёзными намерениями вернулись в 20 веке. Технический проект комплекса защитных сооружений был разработан в 1965-1977 гг. в Ленинградском отделении института Гидропроект, он прошёл государственную экспертизу Госстроя СССР,

Государственного Комитета по науке и технике СССР и был утверждён Постановлением Совета Министров СССР 29 января 1978 года. Работы по строительству начались в 1979 году. Первого октября 1980 года с северного побережья залива, по направлению к Кронштадту началась отсыпка первой дамбы. В октябре 1990 г. под влиянием общественности строительство КЗС приостанавливается и лишь в 2006 г., после прохождения большого количества экологических экспертиз строительство возобновилось. Двенадцатого августа 2011 г. все защитные сооружения были официально введены в эксплуатацию.

Комплекс защитных сооружений представляет собой сложное гидротехническое сооружение протяжённостью 25,4 км [7], включающие в себя 3 транспортные развязки, 11 каменно-земляных дамб (Д-1 – Д-11), 6 водопропускных сооружений (В-1 – В-6), 2 судопропускных сооружения (С-1 для крупных морских судов и С-2 для судов класса «река-море»), 7 мостов над водопропускными отверстиями и над судопропускным сооружением С-2, автомобильный тоннель под судопропускным сооружением С-1. В общей сложности 67 затворов отсекают Невскую губу от Финского залива и удерживают напорный фронт протяжённостью более 1,5 км.

Комплекс рассчитан на защиту Санкт-Петербурга от наводнений, возникающих с повторяемостью не менее 1 раз в 1000 лет (обеспеченность 0,1 %) с отметкой наивысшего уровня воды 4,55 м БС у защитных сооружений и 4,75 м БС у гидрологического поста Горный институт [8].

В результате строительства защитных сооружений в акватории Невской губы и устье реки Невы изменились факторы, обуславливающие формирование наивысших уровней воды. При нормальной работе сооружений (при условии отсутствия водообмена с западной частью Финского залива) образуется замкнутая ёмкость, на установление уровня в которой влияет сток реки Невы и её притоков, выпадение атмосферных осадков, а также ветровые условия, при сильном западном ветре создающие локальные ветровые нагоны. Поэтому определяющим фактором в формировании наивысшего уровня воды в Санкт-Петербурге на данный момент времени являются не величина нагона волны с Финского залива, обусловленная сильными порывами ветра западного направления, а длительность закрытия водопропускных сооружений комплекса, которая в свою очередь зависит только от общей продолжительности ветрового нагона.

Таким образом при долгосрочном закрытии гидротехнических сооружений, наличии сильного постоянного западного ветра, значительном речном стоке в Невскую губу и атмосферных осадках возникают условия для опасного подъёма уровня воды, способного вызвать так называемые остаточные наводнения [1].

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

Для принятия основных технических решений при проектировании Комплекса защитных сооружений сотрудниками Государственного гидрологического института под руководством Р.А. Нежиховского был разработан алгоритм пересчёта ряда уже произошедших наводнений к проектным условиям (остаточным наводнениям), т.е. с воссозданием условий при которых защитная дамба в устье Невы была сооружена уже к 1879 г. (год начала постоянных наблюдений

за уровнем режимом). В техническом отчёте 1975 года [1] был произведён расчёт остаточных наводнений для периода с 1879 по 1974 гг. На основании данного ряда была построена кривая обеспеченностей наивысших уровней воды в проектных условиях. В рамках данной работы было решено продлить этот ряд за счёт временного интервала с 1975 по 2022 гг. и пересчитать кривую обеспеченности с учётом нескольких уже предотвращённых КЗС наводнений. Расчёт значений остаточных наводнений с января 1975 по август 2011 года осуществлялось по нижеизложенной методике, с 2011 по 2022 гг. принимались только фактически наблюдаемые значения наивысших уровней воды по Горному институту.

Основными факторами, влияющими на формирование наивысшего уровня воды в проектных условиях в Невской губе, являются:

– объём притока в Невскую губу  $\sum Q$ , который включает в себя:

- а) сток р. Невы;
- б) боковую приточность Невы;
- в) атмосферные осадки.

– ветровые условия.

Для определения стоковой (объёмной) составляющей  $\sum Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) наивысших проектных уровней в Невской губе использовались следующие характеристики:

$Q_{\text{Нева}}$  – среднесуточный расход р. Невы в створе Новосаратовка,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_{\text{частн}}$  – расход притока с частных бассейна, связанного с различными участками формирования приточности и являющаяся суммой  $Q_{\text{частн1}}$  (осадки, выпавшие на акваторию Невской губы),  $Q_{\text{частн2}}$  (осадки, выпавшие на поверхность города) и  $Q_{\text{частн3}}$  (боковая поверхностная приточность Невы);

$n$  – продолжительность закрытия дамбы, ч;

$X$  – полусуточная сумма осадков в день нагона, мм.

Для определения ветровой составляющей подъёма уровня использовалась максимальная скорость ветра  $V_{\text{в}}$  ( $\text{м}/\text{с}$ ) и направление ветра  $\alpha$  ( $^{\circ}$ ).

Определение  $Z_{\text{ср}}$  (см) – среднего уровня Невской губы производилась по данным о  $\sum Q$  и  $n$  по кривой наполнения акватории Невской губы [1].

При этом:

$$\sum Q = Q_{\text{Нева}} + Q_{\text{частн}}, \quad (1)$$

В свою очередь:

$$Q_{\text{частн}} = Q_{\text{частн1}} + Q_{\text{частн2}} + Q_{\text{частн3}} \quad (2)$$

$$Q_{\text{частн1}} = 18X \quad (3)$$

$$Q_{\text{частн2}} = 22X \quad (4)$$

$$Q_{\text{частн3}} = M_{\text{ср}} * 1260 \quad (5)$$

где  $M_{\text{ср}}$  ( $\text{л} * \text{с}/\text{км}^2$ ) – осреднённый модуль стока р. Большая Охта – д. Новое Девяткино и р. Мга – д. Горы за часы закрытия пропускных отверстий КЗС. При отсутствии наблюдений на р. Большая Охта – д. Новое Девяткино для осреднения использовался модуль стока р. Тихвинка – д. Горелуха.

Расчёт приращения уровня состоит из двух составляющих:

$$\Delta Z = \Delta Z_{\text{ст}} + \Delta Z_{\text{ветр}} \quad (6)$$

где  $\Delta Z$  (см) – приращение уровня для середины Невской губы,  $\Delta Z_{ст}$  (см) – приращение, обусловленное стоковым течением по эмпирической зависимости от  $Z_{ст}$ ;  $\Delta Z_{ветр}$  (см) – приращение уровня, связанного с ветровой составляющей.

Определение приращения уровня  $\Delta Z_{ветр}$ , связанного с ветровой составляющей, происходило по кривой зависимости приращения уровня в Невской губе по  $V_v$  и  $Z_{ср}$  [1].

Расчётное значение максимального уровня остаточного наводнения  $Z_{гор.ост.}$  у Горного института определялось следующим образом:

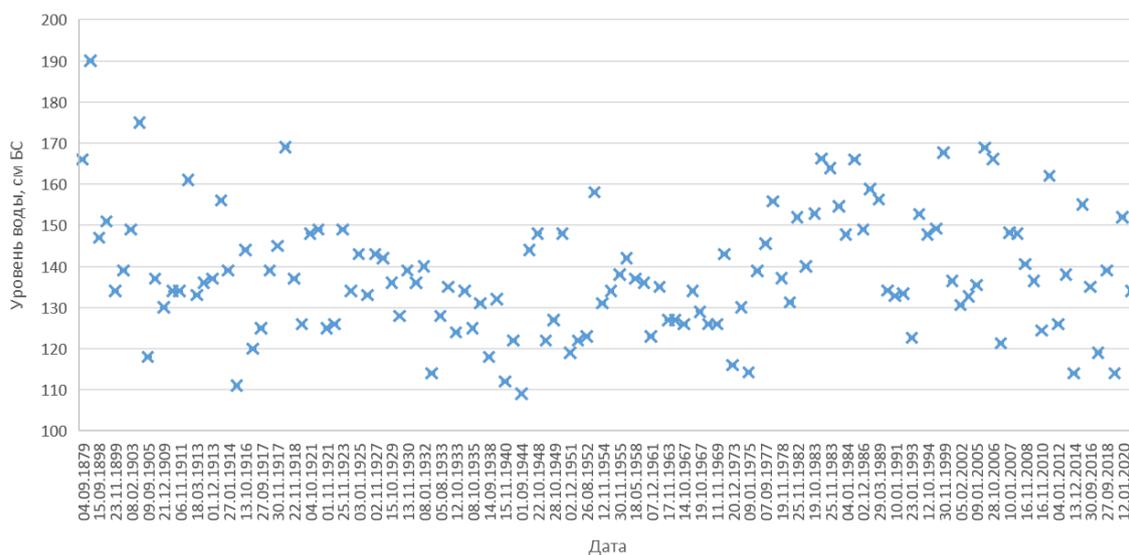
$$Z_{гор.ост.} = Z_{ср} + 0,54(\Delta Z * \text{Cos } \alpha) \quad (7)$$

Для расчёта были использованы часовые данные по уровню воды в Кронштадте, суточные расходы воды по гидрологическим постам в бассейне Невы, максимальная и средняя за трёхчасовой интервал скорость ветра, направление ветра, суточные суммы осадков. По данной методике были рассчитаны уровни 37 остаточных наводнений в створе Горного института за 1975 – 2011 гг.

### Результаты и обсуждение

Всего за период с 1878 по 2022 гг. было выделено 130 наводнений, которые приводили или могли привести, при сохранении естественных условий, к повышению уровня воды у Горного института значительно выше отметки 160 см.

На рисунке 1 представлен хронологический график распределения рассчитанных наивысших уровней воды остаточных наводнений по Горному институту. Данный ряд является однородным на основе анализа однородности по 10 критериям Диксона, двум критериям Смирнова – Граббса, критериям Стьюдента и Фишера (табл. 4).



**Рис. 1. Хронологический график наивысших уровней воды остаточных наводнений по Горному институту**

Таблица 4

Оценка однородности ряда наивысших уровней воды остаточных наводнений по Горному институту (D – оценка по критериям Диксона, Gn и G1 по критериям Смирнова – Граббса, t – по критерию Стьюдента, F – по критерию Фишера)

Критерий	D1n	D2n	D3n	D4n	D5n	D11	D21	D31	D41	D51	Gn	G1	t	F
Эмпирич.	0.185	0.19	0.266	0.269	0.259	0.025	0.03	0.045	0.05	0.037	3.482	1.955	1.18	1.13
Критич.	0.24	0.243	0.286	0.313	0.289	0.078	0.094	0.123	0.122	0.113	4.132	2.301	2.43	1.55
Неоднор.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

На рисунке 2 представлена кривая обеспеченности наивысшего уровня воды остаточных наводнений по посту Горный институт. В таблице 5 приведены значения разных обеспеченностей.

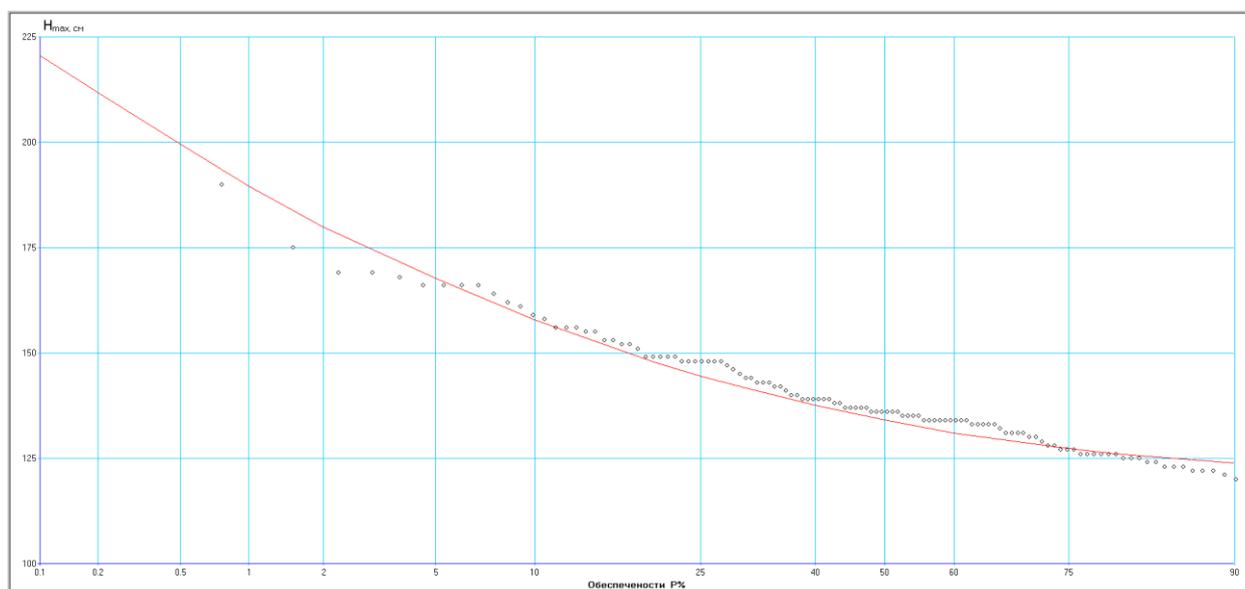


Рис. 2. Кривая обеспеченности наивысших уровней воды остаточных наводнений по Горному институту

Таблица 5

Значения обеспеченных наивысших уровней воды остаточных наводнений по Горному институту, см БС

P, %	0.1%	0.2%	0.5%	1%	5%	10%	25%	50%
По данному исследованию	221	212	199	190	168	158	145	134
По результатам [1]	223	214	198	190	165	153	142	134

### Выводы

Определение расчётных гидрологических характеристик по классическим законам математической статистики может производиться только при однородности ряда наблюдений. В некоторых частных случаях не нужно отказываться от анализа ряда наблюдений до перехода в современный стационарный режим, а постараться смоделировать текущие условия и пересчитать хронологический

ряд. Такой анализ может содержать неточности, вызванные некорректностью восстановления начальных и граничных условий, но будет обладать большей полнотой и достоверностью результатов.

Наивысший уровень воды для Санкт-Петербурга 1% обеспеченности составляет 1,90 м БС, 0,1% обеспеченности равен 2,21 м БС. С увеличением продолжительности ряда с 97 (1878-1974 гг.) до 135 лет (1878-2022 гг.) расчётные характеристики наивысшего уровня воды практически не меняются, даже с учётом включения значений из второго квазистационарного периода. Это косвенно символизирует о том, что алгоритм расчёта [1] верен и расчётные значения подтверждаются на практике.

### Библиографический список

1. Научно-технический отчёт «Расчётные уровни воды реки Невы и Невской губы в естественных и проектных условиях». Л.: ГГИ, 1975.
2. *Каратыгин П.Л.* Летопись Петербургских наводнений 1703 – 1879 гг., СПб, 1889.
3. *Крафт Л.О.* Известия и примечания о разливах Невы в Санкт-Петербурге и присовокуплением таблицы пребывания и убывания вод в Кронштадском канале каждого дня в 1777 г. // Новые ежемесячные сочинения. СПб, 1795. Ч. 109.
4. *Мордохай – Болтовской А.И.* Уровни некоторых ленинградских наводнений XVIII и начала XIX века, Л.Изд. ГГИ, 1932, №48
5. *Нежиховский Р.А.* Вопросы гидрологии реки Невы и Невской губы. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
6. *Берг В.А.* Наводнение в устье р. Невы 23 сентября 1924 г. // Исследование реки Невы и ее бассейна. Л.: Изд. ГГИ, 1929, вып. 5
7. Электронный ресурс – URL: <https://da-fish.ru/дамба-как-комплекс-защитных-сооружений-санкт-петербурга-от-наводнений.html> (Дата обращения: 20/12/2022)
8. *Михайленко Р.Р.* Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений как природно-техническая система для интегрированного управления водными ресурсами: социальная, экономическая и экологическая значимость // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера», 2015. Т. 7. № 1.

С.С. Егоркина, А.Б. Китаев, kitaevab1953@gmail.com

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

## **ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕРЕГОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ**

Представлены материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий под строительство берегозащитного сооружения у д. Приморье Частинского района Пермского края, выполненные в 2017-2020 гг. Дана оценка скоростного и ветро-волнового режима Воткинского водохранилища и его вероятного воздействия на береговой склон, отмечено влияние уровня режима и ледовых явлений на активизацию обрушения берега.

*Ключевые слова:* водохранилище, скоростной и волновой режим, уровень воды, ледовые явления, геодинамические процессы.

S.S. Egorkina, A.B. Kitaev, kitaevab1953@gmail.com

*Perm State University, Perm, Russia*

## **ENGINEERING AND HYDROMETEOROLOGICAL SURVEYS TO JUSTIFY THE CONSTRUCTION OF A COASTAL PROTECTIVE STRUCTURE**

Materials of engineering and hydrometeorological surveys are presented for the construction of the coastal protective structure at the village of Primorye of the Pomsky Territory of the Perm region, made in 2017-2020. The high-speed and wind-wave regime of the Votkinsk reservoir and its probable impact on the coastal slope are evaluated, the influence of the level regime and ice phenomena on the activation of the collapse of the coast is noted.

*Keywords:* reservoir, high -speed and wave regime, water level, ice phenomena, geodynamic processes.

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью защиты населенных пунктов и хозяйственных объектов от интенсивного проявления гидро- и геодинамических процессов, протекающих в акватории и береговой зоне водохранилищ с помощью различных защитных и берегоукрепительных сооружений. Объектом исследования выступает акватория Воткинского водохранилища и его береговая зона в районе д. Приморье (близ с.Частые) Пермского края.

Инженерно-гидрометеорологические изыскания выполнены в следующем объеме:

### *1. Подготовительные работы:*

- сбор, анализ и обобщение опубликованных и фондовых материалов гидрометеорологической и картографической изученности района изысканий;
- составление программы работы;
- составление таблиц гидрометеорологической изученности;

- сбор, анализ и обобщение материалов наблюдений по опорной репрезентативной метеостанции – Ножовка;

- организационно-подготовительные полевые работы.

2. *Полевые работы* на территории изысканий:

- выполнялось рекогносцировочное обследование береговой линии Воткинского водохранилища на участке берегоукрепления; рекогносцировка производилась методом маршрутного обследования, установлением положения меток высоких вод. Полевые работы проводятся с учетом указаний [8].

3. *Камеральные работы.*

4. *Составление технического отчета.*

В геоморфологическом отношении территория изысканий расположена в на I надпойменной террасе р. Камы (Воткинское водохранилище), подверженной размыву. Участок расположен на правом склоне реки Кама (Воткинское водохранилище). Общий уклон местности идет в восточном направлении, в сторону водохранилища (рисунок).



**Берег Воткинского водохранилища в д. Приморье**

Берег Воткинского водохранилища в д. Приморье на участке проектирования интенсивно обрушается. Обрушения происходят в мае – июне, когда оттаивает промерзший грунт и обрушается к подножию склона, а волновая абразия смывает слабый грунт (берег в основном сложен размываемыми суглинками, с прослоями песчаника) в водохранилище. Наиболее интенсивным может быть размыв берега осенью при затяжных и ливневых осадках, которые способствуют обводнению грунтов, а также при усилении волновой абразии.

При восточных направлениях ветра дрейфующий лёд может сгоняться в сторону правого берега водохранилища, но он не доходит до береговой линии и не способствует разрушению берега на участке изысканий. Средний уровень ледохода, выбранный из максимальных за каждый год величин равен 86,98 м БС, минимальный – 85,25 м БС. Единично наблюдаемым зафиксированным максимальным уровнем в 1966 г. является уровень 89,62 м БС. Такая высокая отметка уровня связана с неустановившимся режимом водохранилища в первые годы его эксплуатации. За все последующие годы отметки ледохода не превышали отметок 87–88 м БС.

Прибрежная часть на участке изысканий характеризуется достаточно пологим дном с незначительным уклоном в сторону акватории. По итогам анализа глубин, приведенных согласно карте 2033–2034 км судового хода, а также космоснимков на доступных сервисах Yandex-карты и Google, четко прослеживается отмель шириной от 18 до 35 м от бровки берега. Резкие перепады глубин в виде подводных ям до границы судового хода отсутствуют.

Берег Воткинского водохранилища на изыскиваемом участке практически отвесный, размываемый, абразионный, эрозионный, со следами обрушивающегося грунта. Высота берега изменяется от 5,45 м до 6,63 м. Согласно проведенным изысканиям берег сложен суглинистым грунтом, в нижней части у подножия встречается щебень песчаника, подмывной, абразионный. В случае абразионного подмыва берега происходит его обрушение. Возле бровки находятся продольные трещины отрыва и смещенные береговые блоки. Бровка берега зачастую нависающая. Склон отвесный, видны осыпи, обвалы грунта. Оползни на изыскиваемом участке берега отсутствуют. На участке изысканий не зафиксированы характерные для оползней морфологические элементы (вязкопластичное течение, скольжение) масс пород на склоне, происходящее без потери контакта между смещающейся массой и подстилающим неподвижным массивом.

На изыскиваемом участке прослеживается узкая полоса отмели, сложенная с поверхности щебенисто-дресвянистым грунтом, ниже суглинистым. Процесс размыва имеет техногенный характер, связанный с образованием водохранилища. Без берегоукрепительных работ процесс его размыва будет продолжаться. Признаки разгрузки подземных вод в виде мокрых пятен, сосредоточенные выходы подземных вод в виде ключей непосредственно на отвесном склоне берега (от бровки берега до подошвы) на участке изысканий отсутствуют.

На Воткинском водохранилище, где и находится участок изысканий, имеют место все виды течений, свойственные большим искусственным водоёмам: стоковые, ветровые (дрейфовые), компенсационные и др. Наиболее распространёнными из них являются стоковые и ветровые (дрейфовые). Рассматриваемый участок находится в зоне постоянного подпора от Воткинской ГЭС. Даже в случае сработки водохранилища до горизонта сработки, при уровне 85,00 м БС, глубины и площади водного сечения будут превышать бытовые в р. Каме при отсутствии подпора. Максимум проточности для центральной части водохранилища, где и находится участок изысканий, приходится на апрель – май, при переходе от конца зимней сработки к началу интенсивного наполнения водоёма, и составляет 0,20–0,35 м/с. Зимой и летом проточность снижается, значительно –

в летне-осенний период. Таким образом, условия рассматриваемого участка сильно отличаются от речных условий. Фактически наблюдаемые течения (суммарные течения) на рассматриваемом участке водохранилища будут формироваться как результат взаимодействия транзитного потока (стоковые течения) и воздействия ветра (дрейфовые и компенсационные течения). Согласно данным наблюдений на рейдовых вертикалях, преобладающие значения скорости суммарных течений в рассматриваемом районе водохранилища составляют от 0,05 до 0,22 м/с, а максимальные – 0,24÷0,45 м/с [1]. Наибольшие значения скорости отмечены в приповерхностном слое либо на глубине 10–15 м. Наименьшие значения скорости (5–9 см/с) наблюдаются обычно на глубине 2,5–5,0 м. В мелководной зоне скорость течения заметно меньше. Преобладающее направление течения, независимо от глубины, соответствует направлению стокового течения. Наибольшие скорости течения соответствуют периоду максимальной проточности (апрель – июнь). При ветрах южных румбов, направленных вверх по водохранилищу для изыскиваемого участка, может формироваться дрейфовое течение в поверхностном слое, направленное с юга на север, против транзитного потока. Именно это направление течения и является наиболее опасным для обрушения берега в районе исследований.

Расчеты элементов ветровых волн для исследуемого участка водохранилища проведены согласно СП 38.13330.2012. [2] и выполнены для нормального подпорного уровня воды (89,00 м БС) (таблица).

#### Сводные данные характеристик волнения при разных расчётных уровнях

Характеристика волнения	При уровнях Воткинского водохранилища		
	НПУ=89,00 м	$H_{3\%}=89,40$ м	$H_{0,5\%}=89,63$ м
Длина разгона волны, $L$ , м	21300	21300	21300
Средняя глубина, $d$ , м	7,8	8,2	8,43
Средний период волн $T$ , сёк	4,08	4,08	4,08
Высота волны, обеспеченностью $h_{1\%}$ , м	2,52	2,52	2,52
Высота волны, обеспеченностью $h_{2\%}$ , м	2,30	2,30	2,30
Высота волны, обеспеченностью $h_{5\%}$ , м	2,11	2,11	2,11
Высота волны, обеспеченностью $h_{10\%}$ , м	1,81	1,81	1,81

В исследовании проанализированы материалы совмещенных карт, топографических планов масштаба 1:500, результаты мониторинга Камского БВУ, результаты рекогносцировки настоящих изысканий. Сравнение карты масштаба 1:25000 (1956 г.) со снимками Яндекс.Карты (2016 г.) показал, что размыв за 60 лет составил около 55,6 м. Скорость размыва берега водохранилища в районе изысканий – жилых домов №№1, 3а, 30, 30а по ул. Приморье принята по совмещению разновременных карт практически равной 1,0 м/год. Таким образом, за расчётный период 50 лет величина размыва достигнет 50 м от бровки берега. Согласно акту обследования от 16.10.2017 г. береговая линия изрезана вклинивающимися в коренной берег участками обрушения. Склон отвесный, видны осыпи, обвалы грунта. На одном участке минимальное расстояние от бровки берега до

грунтовой дороги (проходящей вдоль берега) составляет около 3 м. Минимальное расстояние до жилых домов составляет около 20 м.

Вышеуказанные данные подтвердились результатами современного обследования. Фиксируется рост обрушения берега, так на момент современного обследования (июль 2020 г.) расстояние от бровки берега до жилой застройки составляет уже около 15 м (скорость обрушения берега составила до 2 м/год). Согласно акту опроса местных жителей скорость размыва в берега на рассматриваемом участке в среднем составляет 1,0 м/год.

Выполненное совмещение бровки берега топографических съемок 2016 г. и 2020 г. показало, что за 4 года произошел размыв берега от 1,2 до 2,0 м в год.

Мониторинг за состоянием берега Воткинского водохранилища в д. Приморье на участке планируемого объекта строительства проводится Камским БУ в рамках Государственного мониторинга водных объектов. В результате анализа имеющихся материалов по размыву берега на изыскиваемом участке принята скорость размыва берега 2,0 м/год.

### **Выводы**

1) изыскания, выполненные в 2017-2020 гг. показали, что в районе исследования основным фактором разрушения берегового склона является ветровое волнение, его воздействие наиболее существенно в фазу весеннего наполнения водохранилища при высоком стоянии уровня воды;

2) воздействие скоростного режима на обрушение берега менее существенно и также проявляется в основном в период наполнения водоема;

3) роль ледовых явлений в водоеме сказывается на обрушении берега в значительно меньшей мере;

4) установлено, что отступление бровки берега составляет 1,2- 2,0 м в год, а расстояние до жилой застройки составляет – 15-20 м, т.е. можно говорить о том, что через 10-12 лет жилые дома и хозяйственные объекты исследуемого населенного пункта окажутся разрушенными и возникает необходимость создания берегозащитных гидротехнических сооружений.

### **Библиографический список**

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 846 с.

2. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82\*. М., Министерство регионального развития РФ, 2012.

Л.В. Логинова, ll@prolicense.org

*Общество с ограниченной ответственностью «ПроЛицензия», г. Москва, Россия*

## **ЛИЦЕНЗИЯ РОСГИДРОМЕТ**

Рассматривается процесс получения лицензии Росгидромета на гидрометеорологическую деятельность. Разбираются виды деятельности в области мониторинга окружающей среды и смежных с ней, а также положение о лицензировании, требования и документы.

*Ключевые слова:* гидрометеорология, мониторинг окружающей среды, лицензия Росгидромета.

L.V. Loginova, ll@prolicense.org

*Limited Liability Company "License", Moscow, Russia*

## **LICENSE OF ROSHYDROMET**

The article discusses the process of obtaining a license of Roshydromet for hydrometeorology. The types of activities in the field of environmental monitoring and related to it, as well as the regulations on licensing, requirements and documents are described.

*Keywords:* hydrometeorology, environmental monitoring, license of Roshydromet

### ***Лицензия Росгидромет в России***

Лицензия Росгидромета позволяет юридическому лицу или индивидуальному предпринимателю право на реализацию деятельности в области гидрометеорологии. Росгидромет организует работу предприятий по следующим направлениям:

- гидрометеорология и смежные отрасли;
- противодействие гидрометеорологическим и геофизическим процессам.

Лицензия – это разрешительный документ, который выступает гарантом для:

- конкретного анализа прогноза погоды для авиационных служб,
- космических наблюдений,
- морских структур
- экологии,
- строительства зданий и построек,
- промышленной деятельности
- экономики всей страны.

Согласно законодательству России реализация гидрометеорологической деятельности невозможна без соответствующей лицензии. Легализация на гидрометеорологическую деятельность необходима поскольку связана с анализом состояния окружающей среды; является источником информации для различных направлений хозяйственных работ; воздействует на геофизические, гидрометеорологические явления, в чем проявляется на расположении воздушного пространства, вод, почвы, флоры и фауны.

Предприятия, имеющие лицензию Росгидромета имеют возможность участвовать в закрытых государственных тендерах и в перспективе заключить

соглашение на предоставление услуг государственным органам. Это даёт новых клиентов надёжными заказчиками и положительно сказывается на финансовом результате.

### ***Орган лицензирования***

Лицензирование в области гидрометеорологии и смежных видов деятельности выдаёт Росгидромет – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды РФ. На региональном уровне лицензию выдают территориальные структуры органа.

### ***Сроки оформления и действия лицензии***

Лицензия Росгидромета действует бессрочно, если соискателем пройдены все проверки органа лицензирования. Лицензирующий орган на регулярной основе проверяет предприятия, где изучается документация и проводится выезд на адреса нахождения лицензиатов. Процесс оформления документа занимает 45 рабочих дней со дня подачи заявления и пакета необходимых документов в орган лицензирования [1].

### ***Каким компаниям нужно получать лицензию Росгидромета:***

Заявление на получение лицензии Росгидромета может подать юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, которые впервые получают лицензию и те, которые имеют уже данную лицензию.

Перечень лицензируемых видов деятельности, имеет два направления:

1. Гидрометеорология, деятельность которой направлена на определение прогнозов и оценку окружающей среды.

2. Деятельность по влиянию на гидрометеорологические феномены.

Организации, деятельность которых направлена на промышленные и экологические работы, связаны с гидрометеорологической сферой [2].

Пройти процедуру лицензирования необходимо компаниям, осуществляющие:

- изучение метеорологию, климат, глубины морских и океанических вод, сельскохозяйственную область;
- контроль снежных лавин, регулировку и корректировку осадков, разработку различных действий для рассеивания облаков и тумана;
- создание способов по сокращению электрических ресурсов в атмосфере;
- работу с электромагнитными феноменами на атмосферных областях;
- формирование и применение безопасных способов для агрономических распространений от порывистых ветров, урагана и иных погодных условий;
- определение уровня загрязнённости воздушной сферы;
- анализ статистики прогнозов, оценки экологической ситуации;
- введение информационных баз по определению последовательностей и изменений на долгосрок, прогноз погодных феноменов и выявление специфики поведения воздушной сферы.

### ***Каким компаниям не нужна лицензия Росгидромет:***

- предприятия, деятельность которых направлена непосредственно на теоретические изыскания в области окружающей среды без прямого влияния и управления банков данных.
- предприятия, которые занимаются строительством и не осуществляют изыскания в сфере гидрометеорологии.

### ***Требования, предъявляемые к соискателям лицензии Росгидромет***

Определяют четыре основные условия:

1. Соискателю необходимо иметь нежилое помещение, которое находится в собственности или в долгосроке.
2. Работники должны иметь соответствующее профильное образование и опыт работы более трёх лет в данной области.
3. Есть необходимая документация с подтверждённым порядком осуществления гидрометеорологических мероприятий.
4. В наличии лицензионное контрольное, измерительное, лабораторное и прочее сопутствующее оборудование для проведения гидрометеорологических работ с необходимой литературой.

Также необходимо соблюдать требования Федерального закона «О гидрометеорологической службе» и других законодательных и нормативных актов, регламентирующих отрасль.

### ***Документы необходимые для получения лицензии на гидрометеорологию***

- Заявление
- Организационные: копии устава, учредительного договора, свидетельство о регистрации и постановке на учёт в налоговых органах, выписка из Росстата;
- Копии документов на недвижимость (копии свидетельства собственника или договора аренды).
- Копии документов на сотрудников (копии трудовых книжек, дипломов и сертификатов, подтверждающих квалификацию).
- Копии документов на технические средства и оборудования, необходимых для проведения заявленных работ, с приложением копий свидетельств (сертификатов) об их поверке (калибровке), а также копии документов на используемые в этих приборах и оборудовании программные средства;
- Описание прилагаемых документов.

### ***Получения лицензии Росгидромет: пошаговый алгоритм***

Для получения лицензии Росгидромет организации нужно пройти через ряд важных этапов, которые включают организационные программы на базе компании, формирования документации и подачу заявления [3]:

- Сбор документов на помещение.
- Набор штата и оформление работников, обучение и и переподготовка сотрудников.
- Приобретение соответствующее требованиям оборудования.

- Формирование технологических графиков трудового процесса и управления кадрами.
- Сбор документации и отправка заявления в региональную комиссию Росгидромета.

- Проверка представителем предприятия.
- Выдача заключения о проверке.
- Получение лицензии.

Примерный срок рассмотрения заявки от 1,5 месяца.

### ***Переоформление и продление лицензии Росгидромета***

Переоформить лицензию необходимо в случае её потери или приведения в неподобающий вид, смены руководства, изменения местоположения. Старую лицензию продлевают и заменяют бессрочно. В течении 10 дней можно получить новый документ. Выдача дубликата осуществляется через 3 дня с подачи заявки.

### ***Прекращение и приостановление лицензии Росгидромета***

Причин для прекращения или приостановления разрешительного документа множество. Инициатором может выступать надзорный орган, тогда решение приостановить лицензию принимается в течение суток после вынесения заключения о приостановлении деятельности, или самим лицензиатом [4]. В течении 10 рабочих дней выносится решение о прекращении действия лицензии.

### ***Наши эксперты помогут грамотно пройти все этапы лицензирования***

Подготовка соответствующей документации является серьёзным процессом, так как непосредственно от него влияет конечный результат.

Компаниям необходимо обращать внимания на действующие стандарты и требования законодательства и международных соглашений. Опыт работы в данной области нужно иметь от трех лет. Имеются и иные условия для следования при подаче заявки. Компании нужно раз в пять лет повышать квалификацию работников, иметь сертифицированные инструменты и различные средства для реализации деятельности, иметь собственную аккредитованную лабораторию.

«ПроЛицензия» поможет Вами в решении всех проблем связанные с лицензированием деятельности. Компания «ПроЛицензия» оказывает полный перечень услуг по лицензированию деятельности на гидрометеорологию.

### ***Процесс лицензирования – сложная процедура***

Есть много оснований, по которым организация, пытаюсь пройти самостоятельно процесс лицензирование, получает отказ в предоставлении лицензии. Одной из основных причин является несоответствие требованиям законодательства при проверке. Так, организации необходимо располагать помещением в собственности и специализированных сотрудников в соответствии с заявленными видами работ.

Не допускается скрывать недостоверную информацию в заявлении или поданной документации, так как это также может быть причиной для отказа. Ещё одной причиной для отказа является наличие отрицательной истории компании.



Логинова Л.В.

Руководитель договорного отдела  
ООО «ПроЛицензия»

Самостоятельно подготовить нужную документацию, чтобы отвечать лицензионным правилам очень непросто и займёт много времени. Важным обстоятельством является правильно оформленное заявление. Именно поэтому, необходимо лицо, у которого есть опыт в данной области. Организациям, которые заинтересованы в получении лицензии на гидрометеорологическую деятельность, может быть предоставлена квалифицированная юридическая помощь от «ПроЛицензия».

Наша компания окажет свою высококвалифицированную помощь в грамотной подготовке пакета документов.

### ***Наши возможности для вас:***

✓ Экономия времени. Наши специалисты возьмут на себя работу с документами и взаимодействии с контролирующим органом. Опыт и компетентность сотрудников помогут избежать ошибок и сократят сроки лицензирования.

✓ Комплексность услуг. ООО «ПроЛицензия» выполняет все работы в рамках лицензирования: готовит документы, проводит обучение и т.д.

✓ Возможность обучения. Компания предоставляет образовательные услуги: ваши сотрудники смогут пройти очные или дистанционные курсы и получить навыки, необходимые для лицензирования.

✓ Компания «ПроЛицензия» поможет в оформлении лицензии Росгидромета «под ключ». Оказываем услуги по получению лицензии с 2018 года и работаем с заказчиками из любых регионов России!

### **Библиографический список**

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.11.1997 № 1425 «Об информационных услугах в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей природной среды». // СПС «Гарант» URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71751630> (дата обращения: 24.03.2023).

2. Федеральный закон от 04.05.2011 № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности»// СПС «Гарант». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71751630> (дата обращения: 24.03.2023).

3. Федеральный закон от 19.07.1998 № 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе» //СПС «Гарант». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71751630> (дата обращения: 24.03.2023).

4. Официальный сайт Росгидромета. URL: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения 24.03.2023).

УДК 556.5

М.А. Самохин, Е.А. Смирнова, [gidromiha@mail.ru](mailto:gidromiha@mail.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

### **ОЦЕНКА ОТКЛИКА НОРМАТИВНЫХ РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НА СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

Рассмотрена проблема недоучета современных климатических изменений при выполнении инженерно-гидрологических расчетов. На примере действующей нормативной методики по определению рабочих месячных уровней воды выявлены предпосылки для нарушения условий обеспечения безопасности эксплуатации проектируемых сооружений. Предварительные расчеты показали, что максимальные месячные расходы воды могут быть определены с погрешностью 250% и более. Предложена технология актуализации расчетных гидрологических коэффициентов.

*Ключевые слова:* гидрологические расчеты, максимальные расходы воды.

М.А. Samokhin, E.A. Smirnova, [gidromiha@mail.ru](mailto:gidromiha@mail.ru)

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

### **ASSESSMENT OF THE RESPONSE OF NORMATIVE CALCULATED HYDROLOGICAL COEFFICIENTS TO MODERN CLIMATE CHANGES**

The problem of underestimation of modern climatic changes for hydrological calculations in survey is considered. On the example of the current regulatory methodology for determining the monthly water levels, the prerequisites for violating the conditions for ensuring the safety of operation of the designed structures have been identified. Preliminary calculations have shown that the maximum monthly water discharge can be determined with an error of 250% or more. The technology of updating the calculated hydrological coefficients is proposed.

*Keywords:* hydrological calculations, maximum water discharge.

#### ***Введение***

Инженерно-гидрометеорологические изыскания (ИГМИ) входят в перечень основных видов изысканий для строительства согласно Постановлению Правительства РФ от 19.01.2006 № 20 (ред. от 15.09.2020). Безопасность эксплу-

атации проектируемых в долинах рек сооружений во многом зависит от достоверности определения расчетных гидрологических характеристик. Основные положения производства изысканий регламентируются сводом правил (СП) 47.13330.2016.

Согласно СП 47.13330.2016 инженерно-гидрометеорологические изыскания должны обеспечивать определение расчетных гидрологических характеристик. Тем не менее в данном документе не указаны методы расчета всех гидрологических характеристик и не приведены ссылки на такие методы, изложенные в других действующих нормативных документах. В настоящее время выполняется актуализация СП 33.101.2003, который устанавливает общие положения и требования к организации и проведению инженерных гидрологических расчетов по определению гидрологических характеристик рек и озер для обоснования проектирования новых, реконструкции действующих предприятий, зданий и сооружений для всех видов строительства и инженерной защиты территорий. В этом своде правил даны основные методы и схемы расчета средних годовых, максимальных расходов воды и объемов стока весеннего половодья и дождевых паводков, гидрографов, внутригодового распределения стока, отметок наивысших уровней воды рек и озер и минимальных расходов воды. В то же время для проектирования объектов в долинах крупных рек (переходов трубопроводов, железно- и автодорожных мостов, ЛЭП, водозаборов) требуется определить не менее 30 расчетных гидрологических характеристик (до 110 для особо сложных объектов). Перечень этих характеристик приведен в ГОСТ 33177-2014, СП 482.1325800.2020, а также отраслевых нормативных документах.

Как следствие в практике инженерно-гидрометеорологических изысканий сформировалась ситуация, при которой ряд характеристик определяется по рекомендациям нормативно не действующих методических документов (ПМП-91 и др.). Отдельные характеристики определяются по устаревшим эмпирическим формулам. Актуализация эмпирических параметров таких формул требуется в первую очередь по причине климатических изменений. Кроме того, эмпирические коэффициенты многих расчетных формул, разработанных в середине второй половины XX в. определены по коротким рядам наблюдений. Наблюдения на гидрологических за последние 40 – 60 лет неучтенные ранее могут существенно уточнить и скорректировать значения эмпирических коэффициентов.

Следует отметить, что для определения расчетных характеристик гидрологически изученных рек (на участке действия поста с достаточной продолжительностью наблюдений) в нормативных документах приведены актуализированные на основе современных научных исследований [1; 2] методы и схемы расчета. Некоторыми проблемными гидрологическими характеристиками для неизученных рек являются:

- Средний уровень за безледоставный период;
- Уровень высокого ледохода;
- Уровень первой и высокой подвижки льда;
- Расчет размеров льдин в плане;
- Рабочие уровни воды (расчетные максимальные месячные);

- Расчетные темпы горизонтальных и вертикальных русловых деформаций;
- Расчетные значения мутности потока;
- Параметры карчехода и наледей;
- Расчетные расходы при прорыве некапитальных плотин

Данное исследование посвящено принципиальным подходам к методам актуализации эмпирических коэффициентов необходимых для определения расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрологических наблюдений.

### *Материалы и методы исследования*

Исходными данными для оценки отклика расчетных гидрологических нормативных эмпирических коэффициентов на современные изменения климата являются данные наблюдений на гидрологических постах (среднесуточные расходы и уровни воды).

Основу для предварительных расчетов составили данные Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов АИС ГМВО, а также гидрологические ежегодники из фондов Научной библиотеки МГУ им. М.В. Ломоносова. Для предварительных расчетов использованы данные гидрологических постов бассейна р. Ока. Площадь бассейна р. Ока составляет 245 тыс.км<sup>2</sup>. Средняя плотность действующих гидрологических постов с наблюдениями за стоком и продолжительностью непрерывных наблюдений не менее 30 лет составляет 1 пост примерно на 4500 км<sup>2</sup>.

В Московской области, в пределах которой сеть гидрологических наблюдений одна из наиболее плотных, количество действующих гидрологических постов – 34. Таким образом плотность гидрологических постов составляет 1 пост на 1300 км<sup>2</sup>, что в 13 раз ниже чем в Ирландии (1 пост на 100 км<sup>2</sup>), и даже ниже среднего показателя на всю территорию Китая (1 пост на 970 км<sup>2</sup>). Следует отметить, что для инженерных изысканий ключевую важность играют гидрологические посты пригодные для гидролого-географической аналогии. Таким образом из количества постов необходимо исключить посты на зарегулированных реках, крупных полизональных реках, посты с недостаточной продолжительностью непрерывных наблюдений, посты без наблюдений за расходами воды. Учитывая данные критерии, в Московской области действует всего 7 гидрологических постов-аналогов. Необходимость ранжирования постов-аналогов по морфометрическим параметрам их водосборов (площадь, уклон и длина реки, географические особенности) приводит к крайней нехватке данных для анализа. Так, в Московской области для малых рек и ручьев (с площадью водосбора до 200 км<sup>2</sup>) действует всего 3 поста-аналога, что недостаточно ни для картирования ни для районирования гидрологических параметров.

Ключевыми проблемами для актуализации эмпирических параметров являются:

- недостаточное количество гидрологических постов с достаточной продолжительностью наблюдений;

- отсутствие материалов гидрологических наблюдений в открытом для научного сообщества доступе;
- несовершенство структуры нормативно-методического обеспечения инженерно-гидрологических расчётов.

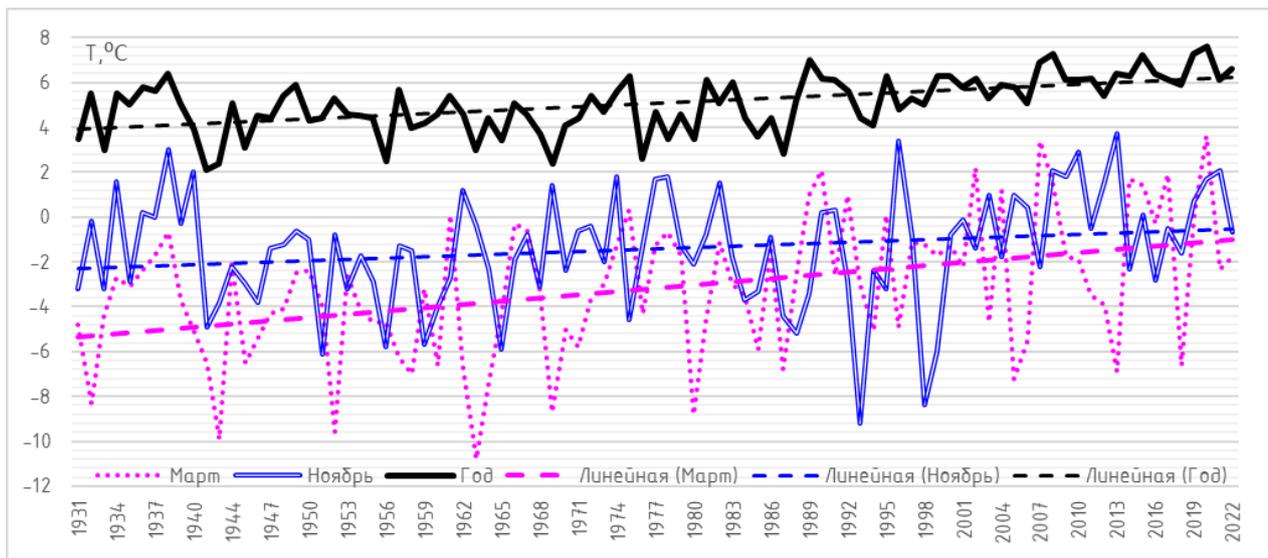
В данной работе, методы определения изменения гидрологических параметров, проиллюстрированы на примере параметра переходного коэффициента от годового максимального расхода к месячному. Данный параметр широко используется для определения рабочих месячных уровней воды неизученных рек при разработке проектов организации строительства.

Согласно единственному методическому документу, регламентирующему данный параметр, ПМП-91 п. 7.9.4 [3] график месячных рабочих уровней можно построить по расходу воды заданной вероятности превышения для каждого месяца, определяемому по формуле:  $Q_M = Q_i k_{\Pi}$  где  $Q_i$  – максимальный годовой расход воды заданной вероятности превышения;  $k_{\Pi}$  – переходный коэффициент от годового максимума с  $i\%$  к месячному расходу  $i\%$ . Рабочие уровни для каждого месяца, снимают с морфометрической кривой  $Q=f(H)$ . Расчет  $Q_i$ , а также принцип построения кривой  $Q=f(H)$  регламентирован в СП 33.101.2003.  $k_{\Pi}$  – является коэффициентом, определяемым для каждого месяца по таблице 7.6 [3] в зависимости от региона. В пределах СССР выделено 5 регионов. Так, например, регион №2 простирается от Калининградской области до бассейна оз. Балхаш.

Оценка современных значений отдельных эмпирических параметров выполнена методом статистической обработки данных фактических наблюдений. Статистическая обработка сводилась к определению однородности ряда наблюдений, определению среднего значения ряда, его коэффициенту вариации и асимметрии и получению квантилей аналитического распределения заданной обеспеченности. На основе полученных квантилей и среднего значения получены обеспеченные значения гидрологической характеристики. Отношение месячного максимального расхода воды заданной обеспеченности к максимальному годовому расходу воды той же обеспеченности позволяет определить уточненное значение  $k_{\Pi}$ .

### ***Анализ результатов***

Предварительный анализ уточненного значения  $k_{\Pi}$  выполнен для ряда гидрологических постов бассейна р. Ока. Ключевым фактором изменения гидрологического режима в целом и внутригодового распределения максимальных расходов воды в частности являются климатические изменения. Наиболее ярко здесь проявляется увеличение температуры воздуха, темпы которого повышаются в последние десятилетия (рис.1). Наиболее важным для гидрологического режима является увеличение температур в период холодное время года. На фоне учащающихся проявлений оттепелей в течение зимних месяцев увеличивается частота зимних паводков. Среднемесячные температуры ноября и марта в последние десятилетия смещаются в область положительных значений. Следует отметить, что тренд на повышение среднемесячной температуры в марте более выражен, чем годовой. Период снегонакопления сокращается, что приводит к понижению максимальных расходов воды весеннего половодья.



**Рис. 1. Средние температуры воздуха по данным м.с. Коломна**

Соотношение максимального расхода воды обеспеченностью 10% иллюстрирует таблица 1. Здесь для отдельных постов бассейна р. Ока приведены значения опубликованные в Научно прикладном справочнике [5] ( $Q_{10\%}$  НПС), определенные за период с начала действия поста до 2010 г., а также значения определенные за последние годы (2008 – 2020 гг.) по данным опубликованным в Автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов. Изменение максимальных значений определяется не только климатическими факторами, но и техногенным регулированием стока (в первую очередь при организации прудов и малых водохранилищ).

Таблица 1

**Изменение максимальных расходов воды обеспеченностью 10% определенных за период с открытия поста до 2010 г (НПС) и за период 2008 – 2022 гг. (ГМВО)**

Река – Пост	$Q_{10\%}$ НПС	$Q_{10\%}$ ГМВО	Изменение, %
Ока – г.Калуга	7370	2920	-60.4
Протва – с. Спас-Загорье	579	404	-30.2
Катыш – с. Троицкое	27.7	19.7	-28.9
Медвенка – д. Большое Сареево	11.0	5.66	-48.5
Закса – д. Большое Сареево	5.33	3.45	-35.3
Пёт – с. Потапьево	171	98.4	-42.4

В результате искомый параметр  $k_{П}$  имеет тенденцию к увеличению, как за счет снижения максимальных расходов воды весеннего половодья, так и за счет увеличения частоты и абсолютных значений максимальных расходов дождевых и снеговых паводков в течение лета, осени и зимы. Для нескольких гидрологических постов определено значение  $k_{П}$  за период 2008 – 2020 гг. Все эти посты относятся к району №2, согласно карте, рекомендуемой в нормативном документе (рисунок 7.14 [3]).

Так как ключевой риск для безопасности эксплуатации проектируемых сооружений обусловлен недоучетом максимальных месячных расходов были определены максимальные значения  $k_{П}$  по ряду гидрологических постов для каждого месяца. Сопоставление значений, рекомендуемых в ПМП-91, с полученными свидетельствует о недоучете показателя  $k_{П}$  для июля – февраля включительно. С другой стороны, рекомендованные значения в весенний период могут быть завышены, что хотя и не нарушает безопасность, но ведет к перерасходу средств на строительство проектируемых объектов.

Таблица 2

Расчетные значения  $k_{П}$  и его отклонение от рекомендуемых в [3]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ока – г.Калуга	0.24	0.27	0.55	0.77	0.36	0.28	0.24	0.15	0.14	0.15	0.20	0.24
Протва – с. Спас-Загорье	0.19	0.15	0.38	0.75	0.42	0.30	0.27	0.09	0.11	0.13	0.18	0.22
Катыш – с. Троицкое	0.12	0.06	0.32	0.74	0.36	0.22	0.13	0.09	0.12	0.13	0.21	0.08
Медвенка – д. Б. Сареево	0.11	0.19	0.40	0.73	0.35	0.22	0.29	0.22	0.24	0.20	0.28	0.22
Закза – д. Б. Сареево	0.15	0.21	0.39	0.66	0.40	0.33	0.52	0.33	0.28	0.27	0.24	0.21
Пёт – с. Потапыево	0.10	0.08	0.44	0.70	0.16	0.19	0.13	0.09	0.09	0.09	0.08	0.14
Среднее значение	0.15	0.16	0.41	0.72	0.34	0.26	0.26	0.16	0.16	0.16	0.20	0.19
Максимальное значение	0.24	0.27	0.55	0.77	0.42	0.33	0.52	0.33	0.28	0.27	0.28	0.24
Рекомендуемое значение	0.10	0.15	0.70	1.00	0.50	0.40	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Отклонение	-0.14	-0.12	0.15	0.23	0.08	0.07	-0.37	-0.23	-0.18	-0.17	-0.18	-0.14

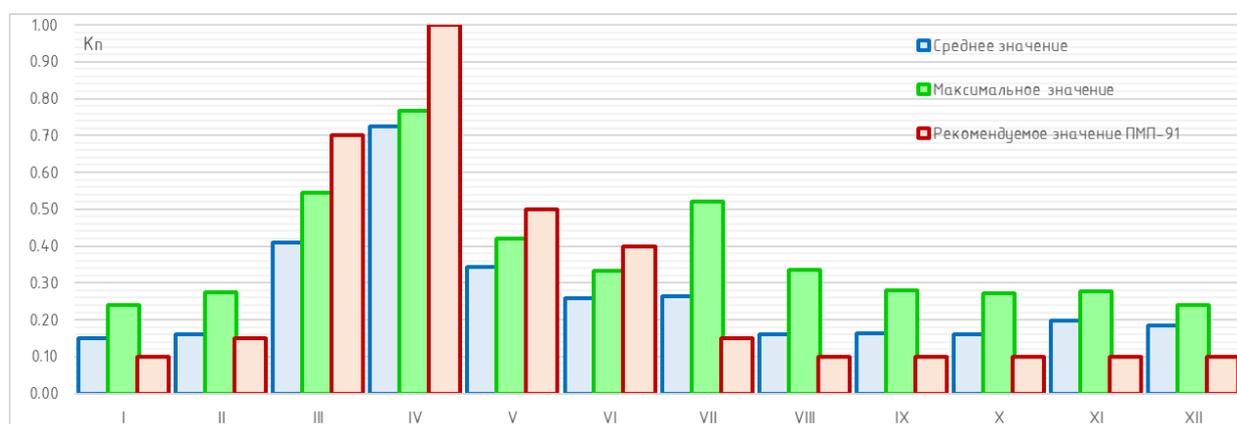


Рис.2. Внутригодовое распределение параметра  $k_{П}$  для гидрологических постов, представленных в таблице 2

Приведенные выше результаты не могут быть использованы для корректировки нормативных рекомендаций к расчету рабочих месячных уровней воды. Для актуализации расчетной методики необходимо выполнить аналогичные расчеты для всех действующих гидрологических постов за период не менее 30 лет. Далее потребуется корректировка границ гидрологического районирования типов внутригодового распределения максимального стока. Возможно, потребуется группировка рек по расчетному значению  $k_{П}$  в зависимости от категорий, выделенных на основе площади водосбора.

## **Выводы**

В работе показана необходимость актуализации ряда эмпирических гидрологических параметров, используемых в настоящее время в инженерных изысканиях на примере расчетного переходного коэффициента  $k_{П}$ . Даже предварительный анализ показывает, что параметры, приведенные в действующих нормативных и методических документах, могут критически меняться во времени. Тренд на увеличение частоты и значимости дождевых паводков и оттепелей приводит к увеличению  $k_{П}$  в отдельные месяцы на 250% и более. В то же время практика инженерных расчетов и их экспертизы показывает о недоучете современных изменений гидрологического режима при проектировании.

Несмотря на недостаточность в гидрологических данных работа по актуализации параметров по технологии описанной выше ведется на кафедре гидрологии суши МГУ им М.В. Ломоносова.

## **Библиографический список**

1. *Болгов М.В.* Оценка гидрологических и водохозяйственных характеристик в условиях неопределенности факторов формирования //Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2016. №4. С. 6-17
2. *Методические* рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений// Санкт-Петербург, ГУ ГГИ, 2005. 123 с.
3. *Пособие* к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91)// ЦНИИС, 1992, 412 с.
4. *СП 33-101-2003* Определение основных расчетных гидрологических характеристик// Санкт-Петербург, ГУ ГГИ. 2014. 73 с.
5. *Научно-прикладной* справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги [Электронный ресурс]. Коллектив авторов; под редакцией Георгиевского В.Ю.// Ливны, ГУ ГГИ, 2015.

# КРУГЛЫЙ СТОЛ «УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ»

УДК 556

А.М. Абдурашидов, abdu6@mail.ru  
*Адвокатская палата Республики Дагестан, г. Махачкала, Россия*

## ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕРЕГОВЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕСЫХАЮЩИХ ВОДОЕМОВ НА ПРИМЕРЕ ТУРАЛИНСКИХ ОЗЕР ДАГЕСТАНА

Рассмотрены проблемы актуальности сведений и их верификации в государственном водном реестре, использования методики установления береговой линии для неизученных водных объектов. Приведены примеры с озерами Большое Турали и Селитренным.

*Ключевые слова:* береговая линия, водоохранная зона, пересыхающие водоемы, государственный водный реестр, озеро Большое Турали.

A.M. Abdurashidov, abdu6@mail.ru  
*Chamber of Advocates of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia*

## PROBLEMS OF DETERMINING THE SHORELINES OF DRYING RESERVOIRS ON THE EXAMPLE OF THE TURALY LAKES OF DAGESTAN

The problems of the relevance of information and their verification in the state water register, the use of methods for establishing the coastline for unexplored water bodies are considered. Examples with lakes Bolshoe Turali and Saltpetre are given.

*Keywords:* coastline, water protection zone, drying reservoirs, state water register, Lake Bolshoe Turali.

### *Введение*

При установлении местоположения береговой линии, а, соответственно, зон с особыми условиями использования территорий для пересыхающих водных объектов возникают специфические трудности. К таким водным объектам относятся озера Большое и Малое Турали, в прошлом отчленившиеся от акватории Каспийского моря лагуны [4]. Они расположены на западном побережье Каспийского моря около южной окраины г. Каспийска. Северные побережья озер постепенно поглощаются расширяющейся Махачкалинско-Каспийской агломерацией. Потеряв связь с морем и почти не имея водной подпитки с суши, водоемы стали высыхать, сократив площадь водного зеркала в несколько раз во влажный сезон и обнажая полностью свое дно в теплое время года. Обводнение озер возможно лишь путем подачи воды с проходящего рядом коллектора К-6, в связи с этим их можно рассматривать в качестве природно-антропогенных водных объектов. Активно обводнялось оз. Большое Турали в 1930-1940-е гг. с Каспийского моря предприятием «Турал-Сульфат», добывавшим мирабилит. Ситуация схожа

с оз.Селитренным, расположенном в трех километрах от оз. Кучукское, где добывается соль и в настоящее время.

Пересыхающие озера в отличие от озер гумидной зоны существуют в условиях резкой изменчивости водного баланса, в связи с чем проблемы с установлением их границ и внесением сведений в водный реестр носят более острый и системный характер. В работе обсуждаются проблемы, с которыми сталкивается автор при водохозяйственном использовании Туралинских озер, решение которых возможно только при комплексном согласованном подходе ведомств разных уровней власти.

В работе использованы нормативно-правовые документы разных ведомств, имеющих отношение к регулированию водопользования, в том числе в целях разведения аквакультуры, а также данные геоэкологического мониторинга Туралинских озер проводимого автором с 2019 г.

### *Анализ результатов*

Главной проблемой для пересыхающих водоемов с искусственным водным режимом является отсутствие определенности в наличии физических возможностей поддержания стабильного водного режима этих водных объектов и понимание необходимости этого со стороны всех заинтересованных лиц – т.е. различных ведомств и уровней власти, водопользователей, собственников земельных участков вокруг водных объектов, часто расположенных в водоохраных и рыбоохраных зонах. К сожалению, заинтересованные лица по-разному видят развитие территорий водных объектов и вокруг них и зачастую имеют противоположенные друг с другом интересы. Приведем пример, который происходит с оз.Большое Турали. В 2014 г. Министерством имущества республики Дагестан были проведены межевые работы и был поставлен на кадастровый учет земельный участок площадью 482 га и предоставлен в долгосрочную аренду ООО «Большая Турали». Участок был сухим, категория земли, под сельскохозяйственное назначение. Затем Территориальное управление Росимущества по Республике Дагестан обратилось с иском в суд о расторжении данного договора, аргументируя иск тем, что данный участок расположен под водным объектом. На довод общества, у которого данный земельный участок находился в аренде, о том, что на земельном участке уже много лет нет воды, истец ответил тем, что данные о водном объекте содержатся в государственном водном реестре (далее ГВР) и представил соответствующую выписку из ГВР. Арбитражный суд исковое заявление удовлетворил. Договор аренды земельного участка был расторгнут. ООО, у которого находился земельный участок в аренде по согласованию с Даггидрометом заключило договор с Институтом географии РАН на выполнение работы «Научное обоснование возможности сохранения озера Большое Турали в качестве водного объекта в современных условиях хозяйственного использования его водосборной территории». По результатам было предложено несколько вариантов решения проблемы. Одни были ориентированы на искусственное обводнение озера из коллектора К-6, в случае отсутствия такой возможности рассматривался вариант исключения озера из ГВР. На момент проведения работ Управление мелиорации земель сельскохозяйственного водоснабжения по

Республике Дагестан, в чьем ведении находится коллектор, стояло на том, что воды в коллекторе для постоянного поддержания водного режима озера нет. Ситуация была предметом обсуждения в правительстве Республики Дагестан, республиканских СМИ. После чего начались попытки его обводнения. Пока рано подводить итоги этих попыток, поскольку мониторинг проводимый автором последние годы не позволяет сделать однозначных выводов о достаточности воды, подаваемой в озеро, а информации с Управления мелиорации по данному вопросу нет. Озеро, как и прежде пересыхает, если падает уровень воды в коллекторе.

Подобная несогласованность между различными управляющими организациями тормозит развитие территорий вокруг водных объектов. Муниципальные власти распоряжаются земельными участками, попадающими в зоны с особыми условиями использования территорий. Выдают разрешения на капитальное строительство в береговой полосе, поскольку видят в пересохшем водоеме земельный участок, а не водный объект. В ГВР сведения об этих зонах не внесены, также как нет информационных знаков на местности. Предоставление данных земельных участков и выдача разрешений на строительство без специальных условий, предусмотренных Водным, Земельным и Градостроительным кодексами РФ незаконна, и влечет иски в суд о сносе самовольных строений [3]. Территориальные управления федеральных органов власти напротив, настаивают, что это водный объект со всеми вытекающими отсюда ограничениями в пределах прибрежной полосы общего пользования, водоохранной зоны и т.д. Региональные органы власти занимают промежуточную, если так можно выразится, позицию.

Проблемой установления береговой линии и зон с особыми условиями использования для пересыхающих водоемов, где нет постов наблюдения и репрезентативных данных является отсутствие подходящей научной методики. Для обычных озер такая методика была предложена Догановским А.М., Угрениновым Г.Н. Она предполагает производство съемки озерной котловины, установление отметки порога слива на проточных озерах и использование данных по изученным озерам-аналогам [1]. Однако для пересыхающих водоемов эта методика без значительных корректировок не подходит, так как, во-первых, они не проточные, во-вторых, нет изученных озер-аналогов. Но использовать съемку озерной котловины и другие геоморфологические данные при установлении береговой линии пересыхающих водоемов считаем вполне целесообразным.

Министерство природных ресурсов и экологии Республики Дагестан заключило контракт (ГК № 4 от 18 июля 2016 г.) на проведение работ по установлению водоохранных зон, береговых линий и т.п. на ряд водных объектов, в том числе Туралинские озера Дагестана. Работы до сих пор не завершены, контракт постоянно пролонгируется, но в ГВР, со ссылкой на этот госконтракт, уже внесены сведения о площади озера Большое Турали, которые полностью совпадают с данными ЕГРН, которые были туда внесены при проведении межевых работ и постановке на кадастровый учет земельного участка при его предоставлении в аренду в 2014 г. Эта площадь не совпадает ни с историческими сведениями о

Туралинских озерах, которые встречаются в различных источниках, ни с площадью периодически осуществляемого искусственного обводнения. Получается, что исполнитель контракта без проведения выездных работ, взял сведения из ЕГРН и передал их для внесения в ГВР. На местности же определить береговую линию пересыхающих водных объектов порой невозможно в виду многолетнего преимущественного отсутствия воды.

Отдельной проблемой является отсутствие законодательного регулирования вопроса исключения сведений о водном объекте из ГВР.

Протицирую пример [2] относительно сухого сульфатного озера Селитренное, на базе которого в 1954 г. был создан садочный бассейн с питательным каналом для закачки рапы и последующего сброса из него маточных рассолов обратно в озеро Кучукское.

«Озеро Селитренное было включено в ГВР, а после этого в 2007, 2009, 2017, 2021 гг. проводились специальные работы по определению статуса (типа) объекта «Селитренное». Только в декабре 2018 г., после многолетней переписки, на основании обращения Верхне-Обского БВУ сведения о водном объекте озеро Селитренное были исключены из базы данных ГВР. Однако уже в январе 2019 г. Росводресурсы рекомендовали ФГБУ РосИНВХЦ восстановить сведения об озере Селитренное в ГВР с нулевыми параметрами, а июле 2021 г. были восстановлены значения этого водоема по состоянию на 1930-е гг. Разъяснений от Росводресурсов и ФГБУ РосИНВХЦ об основаниях изменения параметров озера Селитренное в адрес Верхне-Обского БВУ не поступило» [2].

Приведенные автором примеры с озерами Большое Турали и Селитренное свидетельствуют о недостоверности и неполноте данных ГВР, об отсутствии механизмов гибкой и открытой системы корректировки сведений.

Важность уточнения данных государственного водного реестра очевидна, поскольку в эпоху укрупнения агломераций и увеличения дефицита воды невозможно стратегическое планирование и прогнозирование социально-экономического развития территорий без должной информации об окружающей среде и о таком важном для жизни природном ресурсе как вода.

### ***Выводы***

Для неизученных пересыхающих водных объектов нет научной методики определения местоположения береговой линии, мы полагаем что целесообразно использовать геоморфологические данные о рельефе и по ним устанавливать береговую линию. Отсутствие объективных данных о возможности искусственного обводнения пересыхающих водоемов мешает правильному планированию территориального развития, порождает противоречивое восприятие различными ведомствами этих водных объектов, что препятствует эффективному управлению, основанному на комплексном подходе. Необъективные и неактуальные сведения ГВР, отсутствие гибкости внесения сведений и исключения сведений о водном объекте из ГВР препятствуют эффективному управлению развитием территорий;

Решение всех этих проблем и противоречий позволит максимально эффективно и комплексно решить вопрос развития территорий пересыхающих водных объектов и вокруг них.

### Библиографический список

1. *Догановский А.М., Угренинов Г.Н.* Разработка методики установления начала отсчета ширины водоохранной зоны на неизученных озерах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 34. Научно-теоретический журнал. Специальный выпуск. СПб.: РГГМУ, 2014. С.103-105.

2. *Жерелина И.В., Жоров В.А.* Правовые проблемы ведения государственного водного реестра // Организационно-правовое обеспечение устойчивого водопользования в Российской Федерации: материалы Международной научно-практической конференции / отв. ред. О. А. Романова. Москва: РГ-Пресс, 2022. С. 36-48.

3. *Стрембелев С.В., Ямщикова Д.С.* Проблемы застройки земельных участков в зонах с особыми условиями использования территорий вблизи водных объектов // Право и экономика. 2021. № 9. С. 24-34.

4. *Шапоренко С.И., Абдурашидов А.М.* Туралинские озера: проблемы и решения для пересыхающих лагун. М.: Медиа-Пресс, 2021. 182 с.

А.И. Второва<sup>1</sup>, Н.В. Мякишева<sup>2</sup>, avtorova86@mail.ru  
М.В.Панина<sup>3</sup>, И.Н.Лиходумова<sup>3</sup>

<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

<sup>3</sup>Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет,  
г. Челябинск, Россия

## СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХОВЬЯ РЕКИ УРАЛ

Проведен вероятностный анализ внутригодовой и межгодовой изменчивости речного стока бассейна р. Урал с применением теории случайных процессов. Результаты анализа обобщены в терминах вероятностной модели. Оценена регулирующая способность водосбора и техногенных сооружений. По результатам руслового баланса верховья р. Урал дана оценка использования водных ресурсов на современном этапе. Анализ гидрологического режима водохранилищ показал, значительную их роль использования в условиях ограниченности водных ресурсов.

*Ключевые слова:* водохранилища, гидрологический режим, водохозяйственный баланс, разномасштабная изменчивость, вероятностный анализ, квантильный анализ, случайный процесс.

A.I. Vtorova<sup>1</sup>, N.V. Myakisheva<sup>2</sup>, avtorova86@mail.ru  
M.V.Panina<sup>3</sup>, I.N. Lichodumova<sup>3</sup>

<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

<sup>3</sup>South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia

## MODERN FEATURES OF THE REGULATION OF RESERVOIRS OF THE UPPER URAL RIVER

Probabilistic analysis of the intra-annual and inter-annual variability of the river flow of the Urals river basin was carried out using the theory of random processes. The results of the analysis are summarized in terms of the probabilistic model. The control capacity of the watershed and man-made structures was assessed. Based on the results of the channel balance of the upper river. Ural has been assessed the use of water resources at the current stage. Analysis of the hydrological regime of reservoirs showed that their significant role is used in conditions of limited water resources.

*Keywords:* reservoirs, hydrological regime, water balance, variable-scale variability, probabilistic analysis, quantile analysis, random process.

## ***Введение***

Южный Урал – территория России еще не достаточно изучена в гидрологическом отношении. На данной территории размещены горнодобывающие, металлургические, химические, машиностроительные, энергетические предприятия и сельскохозяйственная отрасль. Экономика региона развивается на основе водоемких технологий. Проблема сохранения водных ресурсов стоит особенно остро на территории с ограниченными водными ресурсами.

Верховье р.Урал – одна из основных водных артерий Челябинской области. Река относится к группе рек с весенним половодьем Восточно-Европейского типа по классификации Б. Д. Зайкова. Питание реки происходит в основном за счет весеннего таяния снегов и в меньшей мере от выпадающих дождей в теплую часть года. Для Урала характерно: высокое весеннее половодье и очень низкая зимняя межень. Бассейн реки зарегулирован прудами и водохранилищами. Так, в верхнем ее течении между г.Верхнеуральск и с.Кизильское Челябинской области функционируют Верхнеуральское и Магнитогорское водохранилища, существенно изменяющие естественный гидрологический режим.

Для обеспечения потребностей экономики в воде, изучение гидрологического режима и получение достоверных данных руслового баланса реки для принятия управленческих решений является актуальным в условиях ограниченности водных ресурсов и изменяющегося климата.

В пределах Уральской складчатой области довольно широко развиты карстовые явления, которые связаны как с отдельными небольшими прослоями, так и с мощными толщами карбонатных пород. Особенно большое значение карстовые процессы приобретают на западном склоне Урала, где известковые породы встречаются чаще и их мощность более значительна.

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

Для анализа многолетней изменчивости использовались ряды среднегодовых расходов и ежегодные последовательности значений для всех месяцев года, которые рассматривались как случайные процессы. Привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта [3]. По водохранилищам использованы данные, предоставленные эксплуатирующими организациями гидротехнических сооружений по регулированию водохранилищ, работающих в каскаде: Верхнеуральское и Магнитогорское. Данные по гидропостам представлены в таблице 1.

Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и температуре воздуха по наблюдениям на метеостанциях г.Верхнеуральск, Магнитогорск и с.Кизильское с 1925 по 2022 г. База данных была сформирована преимущественно с помощью публикаций издательств Гидрометеиздат, «НЕДРА» и информационного ресурса [meteo.ru](http://meteo.ru).

Данные по гидропостам за указанные периоды

<i>Наименование гидропоста</i>	<i>F, водосбора в км<sup>2</sup></i>	<i>Период</i>
р. Урал – г. Верхнеуральск	3600	1935-2019
р. Урал – с. Кизильское	7660	1938-2019
Верхнеуральское водохранилище на р. Урал (объем при НПУ = 601,0 млн м <sup>3</sup> )	15100	1963-2022
Магнитогорское водохранилище на р. Урал (объем при НПУ = 174,0 млн м <sup>3</sup> )	6437	1932-2022
<i>Наименование метеостанции</i>	<i>Высота в м БС</i>	<i>Период</i>
МС Верхнеуральск, осадки	423	1936-2019
МС Верхнеуральск, температура	423	1925-2019
МС Магнитогорск, осадки	382	1936-2018
МС Магнитогорск, температура	382	1935-2022
МС с. Кизильское, осадки	316	1940-2018
МС с. Кизильское, температура	316	1940-2018

### ***Анализ результатов***

Речной сток рассматривается, как вероятностный полициклический процесс с основными энергонесущими зонами в диапазонах частот, соответствующих многолетними ( $T > 1$  года) и внутригодовыми ( $T < 1$  года) колебаниями. Для анализа многолетней изменчивости привлекались ряды среднегодовых расходов, которые рассматривались как стационарные случайные процессы. Также для анализа многолетней изменчивости речного стока использовались ежегодные последовательности значений для характерных месяцев года, которые рассматривались как стационарные случайные процессы.

Для их анализа привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта. Для установления особенностей внутригодовых колебаний использовались ряды среднемесячных расходов, которые интерпретировались как периодически коррелированные случайные процессы. Для обобщения результатов анализа использовались вероятностные модели в терминах, которых оценивалась влияние техногенных сооружений на водный режим реки.

Каждый временной ряд рассматривается как реализация случайного процесса  $x(t)$ , за основную вероятностную характеристику которого принимается функция распределения  $F(x_p)$  и ее квантили  $x_p$ .

В качестве оценки центра распределения данных в выборке можно рассматривать математическое ожидание  $m$  и трехсреднее значение  $T^*$ , а в качестве оценок масштаба распределения – дисперсию  $D$  или стандарт.

Межгодовая (многолетняя) изменчивость стока рек традиционно анализируется по рядам среднегодовых и экстремальных расходов и характеризуется наличием многоводных и маловодных лет. Среднегодовые расходы использу-

ются для характеристики «нормы» и изменчивости годового стока. Принято считать, что для получения достаточно надежной нормы стока необходимо выбирать такой период наблюдений, в который входило бы одинаковое количество маловодных и многоводных лет.

Результаты квантильного анализа многолетней изменчивости приведены в таблице 2.

Для установления многоводных и маловодных лет в стоке анализируемой реки привлекался квантильный анализ данных. В качестве основных вероятностных характеристик использовались квантили  $X_{\min}$ ,  $X_{0.25}$ ,  $X_{0.5}$ ,  $X_{0.75}$ ,  $X_{\max}$  и основанные на них другие расчетные параметры [1;3].

Разница параметров вероятностных моделей, описывающих временную изменчивость расходов воды в пункте до водохранилища и в пункте водохранилища, характеризует регулируемую способность техногенных сооружений.

Как видно из таблицы 3 параметры  $\varphi_{11}$  моделей стока рек меняются от 0,35 в период весеннего половодья (апрель) до 0,89 (октябрь) для поста Верхнеуральск, от 0,3 (март) до 0,94 (январь) для Верхнеуральского водохранилища, от 0,32 (апрель) до 0,94 (январь) для Магнитогорского водохранилища, от 0,41 (июнь) до 0,95 (январь) для с. Кизильское. Необходимо обратить внимание на то, что параметр  $\varphi_1$  для всех пунктов наблюдений превышает значение 0,6 для всех месяцев года, кроме периода весеннего половодья (март-май).

Таблица 2

**Статистические характеристики межгодовой изменчивости  
р. Урал – г. Верхнеуральск**

	$\chi_{\min}$	$\chi_{0.25}$	$\chi_{0.5}$	$\chi_{0.75}$	$\chi_{\max}$	$R$	$Q$	$T^*$	$\chi_B$	$\chi_H$	$m$	СКО	$\frac{0.74}{Q}$
<i>Ср. год</i>	1,15	4,52	6,55	9,46	17,3	16,2	4,94	6,77	16,9	-2,89	7,26	3,58	3,66
<i>II</i>	0	0,4	0,93	1,24	3,87	3,87	0,84	0,88	2,5	-0,86	0,88	0,65	0,62
<i>V</i>	2,48	11,2	22,5	41,2	65,9	63,4	30	24,4	86,2	-33,8	25,7	16,2	22,2

*р. Урал – Верхнеуральское вдр.*

<i>Ср. год</i>	1,61	6,33	9,06	13,2	24,3	22,6	6,91	9,42	23,6	-4,04	10,1	5,05	5,11
<i>II</i>	0	0,56	1,30	1,79	8,46	8,46	1,23	1,24	3,64	-1,29	1,37	1,37	0,91
<i>V</i>	3,5	17,1	31,4	57,7	92,3	88,8	40,6	34,4	119	-43,8	36,2	22,5	30,0

*р. Урал – Магнитогорское вдр.*

<i>Ср. год</i>	3,14	9,71	13,9	19,1	34,4	31,3	9,37	14,1	33,1	-4,35	15,0	7,02	6,94
<i>II</i>	0,00	1,08	1,96	2,81	9,87	9,87	1,73	1,95	5,41	-1,52	2,11	1,69	1,28
<i>V</i>	6,20	27,0	47,7	82,7	131	125	55,6	51,3	166	-56,4	55,0	33,5	41,2

*р. Урал – с. Кизильское*

<i>Ср. год</i>	4,09	14,2	22,9	35,3	71,4	67,3	21,1	23,8	66,9	-17,5	26,8	16,4	15,6
<i>II</i>	0,01	2,05	4,59	7,20	16,1	16,1	5,15	4,61	14,9	-5,68	5,22	3,90	3,81
<i>IV</i>	1,02	53,7	85,2	147	500	499	93,3	92,8	287	-86,3	117	101	69,0

Таблица 3

**Численные значения оценок математического ожидания расходов воды  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , параметров авторегрессии  $\phi_1$  внутригодового и  $\phi_2$  многолетнего хода стока**

Вероятностная характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>р. Урал-г. Верхнеуральск</i>												
$m(t), м^3/с$	1,09	0,90	1,21	27,8	28,0	10,2	8,24	6,08	3,62	4,39	3,03	1,59
$D(t), (м^3/с)^2$	0,75	0,53	1,47	326	372	63,3	100	57,3	9,89	18,4	6,28	1,30
$\phi_1$	0,85	0,75	0,38	0,35	0,54	0,72	0,54	0,71	0,83	0,89	0,70	0,88
$\phi_2$	0,44	0,38	0,33	0,38	0,22	0,06	0,13	0,18	0,35	0,29	0,13	0,24
<i>Верхнеуральское водхр.</i>												
$m(t), м^3/с$	1,50	1,30	1,60	38,3	37,1	13,9	11,1	7,8	4,8	5,8	4,1	2,1
$D(t), (м^3/с)^2$	1,70	1,90	3,80	716	704	118	184	76,9	19,4	35,3	12,1	2,6
$\phi_1$	0,94	0,93	0,30	0,37	0,56	0,73	0,63	0,79	0,83	0,90	0,73	0,86
$\phi_2$	0,50	0,51	0,44	0,35	0,25	0,08	0,13	0,23	0,38	0,32	0,17	0,32
<i>Магнитогорское водхр.</i>												
$m(t), м^3/с$	2,20	2,00	2,40	55,5	55,8	20,2	15,6	10,9	7,0	8,4	5,9	3,1
$D(t), (м^3/с)^2$	2,90	3,10	5,90	1371	1479	236	324	126	35,2	66,1	21,5	4,9
$\phi_1$	0,94	0,93	0,33	0,32	0,55	0,75	0,64	0,77	0,82	0,90	0,78	0,88
$\phi_2$	0,51	0,53	0,44	0,31	0,20	0,02	0,11	0,21	0,40	0,31	0,20	0,34
<i>р. Урал-с. Кизил</i>												
$m(t), м^3/с$	5,44	5,22	7,80	117	84,9	25,3	20,3	15,0	11,0	12,4	9,81	6,95
$D(t), (м^3/с)^2$	13,3	15,2	46,2	10189	4903	322	720	276	81,3	88,8	42,9	23,5
$\phi_1$	0,95	0,67	0,47	0,44	0,65	0,41	0,74	0,85	0,83	0,68	0,76	0,88
$\phi_2$	0,70	0,69	0,43	0,06	0,09	0,11	-0,01	0,06	0,17	0,17	0,42	0,48

Параметры авторегрессии  $\phi_1$ , описывающие внутригодовые корреляционные зависимости, увеличиваются в январе с 0,85 в г.Верхнеуральск до 0,94 в Верхнеуральском водохранилище в феврале аналогичные оценки составляют 0,75 и 0,93, соответственно. Таким образом, зарегулированность стока водохранилищем значительна в период зимней межени. В остальные месяцы существенных различий между параметрами  $\phi_1$  в этих пунктах не наблюдается.

Необходимо обратить внимание на увеличение параметров  $\phi_2$ , характеризующих межгодовую коррелированность речного стока, в селе Кизильское до 0,70 (январь, февраль) по сравнению с аналогичными значениями в Магнитогорском водохранилище (0,51). Такое увеличение параметров  $\phi_2$  возможно связано с наличием тренда на увеличение расхода воды в с. Кизильское.

Таким образом, разница между параметрами авторегрессии  $AR(1)$ , рассчитанными для расходов воды по реке Урал – характеризует регулируемую способность Верхнеуральского и Магнитогорского водохранилищ.

Результаты низкочастотной фильтрации среднегодовых расходов воды показали, что на реке Урал по данным наблюдений в с. Кизильское имеется тренд на повышение водности с середины 70-х до конца рассматриваемого периода.

Для объяснения этой тенденции были использованы данные по значениям температуры воздуха и суммам атмосферных осадков. Анализ этих данных показал, что увеличение водности в основном связано с потеплением климата преимущественно в зимний период.

### **Выводы**

Приходная часть водного баланса реки формируется за счет естественного стока. Расходная часть определяется изъятием стока на нужды объектов экономики и стоком из водохранилищ. Внутри года водный баланс бассейна неоднороден из-за разнонаправленности режимов формирования стока и водопотребления. Внутригодовой ход температуры имеет минимум в январе, а температурный максимум приходится на июль; минимум осадков выпадает в феврале, а наибольшее количество приходится на лето с абсолютным максимумом в июле.

Регулирующая роль водосбора для водохранилищ проявляется в период межени, когда реки находятся на подземном питании. Регулирующая роль водохранилищ на реке прослеживается круглый год. Колебание объема Верхнеуральского водохранилища целесообразно рассматривать как случайный процесс, представляющий собой сумму двух составляющих инерционной и сезонной.

Верхнеуральское водохранилище комплексного использования. Водные ресурсы используются для забора воды для объектов экономики. Выработки электроэнергии на малой ГЭС с двумя турбинами. Также рассматривается переброска стока из Верхнеуральского водохранилища на р. Урал в бассейн р.Тобол для горнодобывающей отрасли.

Однако ограниченность водных ресурсов реки не позволяет использовать дополнительно объемы воды из Верхнеуральского водохранилища без нарушения равновесия экосистемы.

### **Библиографический список**

1. *Второва А.И., Мякишева Н.В.* Водный режим верховья реки Урал в естественных и техногенно-нарушенных территориях // Региональные проблемы водопользования в изменяющихся климатических условиях: материалы научных докладов участников Международной научно-практической конференции. Уфа: Аэтерна, 2014. С. 117-122.

2. *Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А.* Вероятностный анализ и моделирование речного стока водосборного бассейна Балтийского моря // Режимообразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в Балтийском море. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 16-34.

3. Информационный ресурс АИС ГМВО (автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов).<https://gmvo.shniivh.ru>.

4. Основные положения правил использования водных ресурсов Верхнеуральского и Магнитогорского водохранилищ на р. Урал, 1966 г. Утверждены Министерством мелиорации и водного хозяйства РСФСР 11 августа 1966 года.).

В.С. Горячев, v.goryachev2011@yandex.ru

*Филиал по мониторингу водных объектов рек Белой и Урала «Центррегионводхоз»,  
г. Уфа, Россия*

## **ОЦЕНКА РОЛИ ВОДОХРАНИЛИЩ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН В РЕГУЛИРОВАНИИ СТОКА И ВОДООБЕСПЕЧЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ**

Рассмотрены вопросы изменения формирования стока по территории Республики Башкортостан и во времени. Оценена необходимость в регулировании стока. Определена степень зарегулированности стока водохранилищами. Проанализирована роль водохранилищ в обеспечении населения и объектов экономики водой.

*Ключевые слова:* формирование стока, регулирование водных ресурсов, зарегулированность стока, водообеспеченность, использование стока.

V.S. Goryachev, v.goryachev2011@yandex.ru

*The Department of monitoring of water bodies the Belaya River  
and the Urals Rivers "Centrregionvodhoz", Ufa, Russia*

## **ASSESSMENT OF THE ROLE OF RESERVOIRS OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN IN REGULATING THE FLOW AND WATER SUPPLY OF THE POPULATION AND ECONOMIC FACILITIES**

The issues of changes in the formation of runoff on the territory of the Republic of Bashkortostan and in time are considered. The need to regulate the flow is assessed. The degree of regulation of the flow by reservoirs is determined. The role of reservoirs in providing the population and economic facilities with water is analyzed.

*Keywords:* formation of runoff, regulation of water resources, regulation of runoff, water supply, use of runoff.

### ***Введение***

Сток водных ресурсов по территории и по временам года крайне неравномерен. Как известно на формирование стока оказывает значительное влияние выпадение осадков. Основной перенос осадков участвующих в формировании стока республики Башкортостан формируются по средствам западных более влажных Атлантических воздушных потоков. Протяженность Уральских гор с севера на юг республики задерживает осадки на западной части республики. Восточная Зауральская часть республики испытывает недостаток осадков.

Водные ресурсы республики Башкортостан приходящиеся на 1 га площади в средний по водности год, изменяются с 800 до 4000 м<sup>3</sup>. В Зауралье же эти показатели снижаются от 2000 до 500 м<sup>3</sup> [2]. От 70 до 90% годового речного стока проходит в период весеннего половодья т.е. в пределах одного-двух месяцев (апрель-май), на остальные в том числе критические для водопользования месяцы

(летняя и зимняя межень) остается не более 10-30%. Отмечено также уменьшение водности особенно в маловодные годы низкой обеспеченности. В республике самая низкая водность, а вместе с ней и ухудшение условий водопользования отмечались в 2010-2012 и в 2020-2021 гг.

В этот период отмечалось ухудшение питьевого водоснабжения в г. Уфа из-за снижения уровня воды в р.Уфа. В целях повышения надежности централизованного питьевого водоснабжения г. Уфы и увеличения притока поверхностных вод в водоносный горизонт под руслового водозабора и сохранения производительности комплекса Южного водозабора, МУП «Уфаводоканал» в 2010 г. проведены работы по декольматации русловых отложений [4]. Произошло также и ухудшение работы промышленных водозаборов. ТЭЦ 2 ООО БГК, имеющая поверхностный водозабор из р.Уфа, обеспечивающая теплом почти половину жителей г.Уфы, а также большое число предприятий, вынуждена была снизить свое производство.

Для улучшения водообеспечения населения и объектов экономики, а также для поддержания экологического состояния, в республики были разработаны ряд мероприятий. Одним из которых стало регулирование водных ресурсов за счет перераспределения стока весеннего половодья водохозяйственными комплексами, включающими водохранилищные гидроузлы – крупные Павловское и средние Юмагузинское, Нугушское и обеспечивающие водопользование из них водохозяйственные системы. В целях поддержания бесперебойной работы подрусловых и поверхностных водозаборов г. Уфы, в ущерб выработки электроэнергии, с Павловской ГЭС увеличивались попуски от проходящих критических  $80 \text{ м}^3/\text{сек}$  и до сбросных  $150-180 \text{ м}^3/\text{сек}$  (2-3 раза).

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

По роду деятельности Камское бассейновое водное управление и филиал по мониторингу водных объектов рр. Белой и Урала занимаются управлением водными ресурсами, обеспечением водными ресурсами объектов экономики и населения, регулированием режимов работы водохранилищ, располагает базой для проведения исследований в виде систематизированных данных, вносимых в государственные программы – АИС «Государственный водный реестр» – ИС «Государственный мониторинг водных объектов» – ИС «2-ТП Водхоз».

Для исследования использовались методы факторного анализа, математической статистики и др.

### ***Анализ результатов***

Республика Башкортостан обеспечена водными ресурсами недостаточно. Показатель водообеспеченности на одного жителя в 3 раза ниже, чем в среднем по России. Среднегодовой сток рек на территории республики составляет  $34,96 \text{ км}^3$ , в том числе местные водные ресурсы (формирующиеся на территории республики) –  $25,5 \text{ км}^3$ . В маловодный год (75% обеспеченности) местные водные ресурсы уменьшаются до  $19,2 \text{ км}^3$ , в очень маловодный год (95 % обеспеченности) – до  $13,4 \text{ км}^3$  [2]. При невысокой обеспеченности водными ресурсами, обладая большой численностью населения (более 4 млн человек), высокоразвитой

промышленностью и аграрным производством Республика Башкортостан потребляет в год по данным 2ТП-Водхоз 832 млн м<sup>3</sup> природной воды (данные за 2019 г.). Проведенный анализ состояния использования вод, на основании данных за маловодный 2010 г. (межень) показал, что коэффициент использования водных ресурсов на напряженных водохозяйственных участках высок и составил по р. Белая – с. Арский Камень 72,4%, р. Усень – г. Туймазы 73,3% [5].

Конечно же в этих условиях невозможно обойтись без регулирования стока водохранилищами. Хотя общая регулирующая емкость водохранилищ по республике не так велика и составляет 2,8 млрд м<sup>3</sup> (к примеру полный объем одного Братского водохранилища на р.Ангара в Иркутской области составляет 169 млрд м<sup>3</sup>), но на отдельных дефицитных водохозяйственных участках их регулирующая роль значительна.

Можно отметить особую роль в регулировании водных ресурсов и обеспечении водопользователей всего среднего течения р.Белой на участке от г.Мелеуза до г.Стерлитамак за счет совместной работы двух водохранилищ – Юмагузинского и Нугушского. Из таблицы 1 видно, что за счет регулирования стока водохранилищами, расход р.Белой удалось увеличить в разы: с 6 раз в створе нижнего бьефа Юмагузинского водохранилища до 7 раз – в створе г. Стерлитамак.

Таблица 1

**Влияние Юмагузинского и Нугушского водохранилища на водность р. Белая [1]**

Наименование створа наблюдения	Расстояние от устья реки, км	Минимальный меженный расход воды, м <sup>3</sup> /с	
		естеств.	зарегулир.
Створ плотины Юмагузинского вдхр.	957	2,92	20,1
Водозабор Кумертауской ТЭЦ	873	3,38	20,4
г. Мелеуз	870	3,44	28,2
Устье М.Нугуш	837	3,85	30,4
г. Салават	803	4,94	35,6
г. Стерлитамак	750	6,07	40,3

На рассматриваемом водохозяйственном участке расположены крупные водопользователи – гг.Кумертау, Мелеуз, Ишимбай, Салават, Стерлитамак с суммарным объемом водоотбора 160,1 млн м<sup>3</sup> год (по данным 2019 г.). Если бы не была построена водохозяйственная система включающая Юмагузинское и Нугушское водохранилища (их характеристики приведены в таблице 2) то, на участке, г.Стерлитамак с населением 275 тыс., могла бы произойти экологическая трагедия. 8 августа 2010 г. приточность р.Белая в створе Юмагузинского водохранилища составляла 3,05 м<sup>3</sup>/сек, ежесекундный водозабор всех водопользователей в г. Стерлитамака из р.Белой составлял 3 м<sup>3</sup>/сек, т.е. если бы не было зарегулированных попусков из названных водохранилищ река бы не обеспечила водопользование города [2].

Аналогичную роль в регулировании стока и обеспечении водопользования играет Павловское водохранилище на р. Уфа, обеспечивающее водоснабжение миллионного г.Уфы (табл.2).

Таблица 2

**Основные характеристики крупных и средних водохранилищ комплексного назначения**

Показатели	Размерность	Павловское	Нугушское	Юмагузинское	Кармановское
Река		Уфа	Нугуш	Белая	Буй
Назначение		Энергетика, водоснабжение судоходство, рыбоводство, рекреация	Водоснабжение, энергетика, рыбоводство рекреация	регулирование половодий, водоснабжение энергетика	Энергетика, водоснабжение рыбоводство, рекреация
Площадь зеркала при НПУ	км <sup>2</sup>	115,9	25,2	25,0	35,5
Объём воды: полный / полезный	млн м <sup>3</sup>	1411 / 951	400 / 356	456 / 453	134,0 / 19,6
Эксплуатирующая организация		ООО «БГК»	ООО «Нугушский гидроузел»	ГКУ РБ по эксплуатации ГТС	ООО «БГК»

Так, при минимальных значениях притока к Павловскому водохранилищу в 70,0 м<sup>3</sup>/сек 23-24 ноября 2010 г., удалось произвести увеличенные попуски в нижний бьеф расходов 140 м<sup>3</sup>/сек (увеличение в 2 раза). В маловодные 2020 и 2021 гг. сброс из водохранилища также был увеличен, к примеру, вместо приточных расходов 18 ноября 2021 г. в 90 м<sup>3</sup>/сек сброс составлял 183 м<sup>3</sup>/сек (в 2 раза).

Специально для питьевого водоснабжения гг.Туймазы и Октябрьский за счет Республиканской программы «Питьевого водоснабжения» были построены Туймазинское водохранилище на р.М.Нугуш, объемом 17,52 млн м<sup>3</sup> и Ермекеевское – на р.Стивензя, объемом 19,0 млн м<sup>3</sup>. За счет зарегулированного стока поверхностных вод были решены вопросы обеспечения жителей городов в необходимых объемах.

Для водоснабжения населения и ирригации в бассейне р.Таналык был построен комплекс водохранилищ – Акъярское, Бузавлыкские (2шт.), Маканское, Матраевское и Таналыкское – суммарным объемом 97,1 млн м<sup>3</sup>.

Проведенные нами расчеты по р. Урал показали, что за счет регулирования режима 29 водохранилищами суммарным объемом воды 211 млн м<sup>3</sup> и сброса вод водопользователями, удалось естественный меженный сток реки к границе с Казахстаном увеличить с 1,39 км<sup>3</sup> до 4,0 км<sup>3</sup>, т.е. в 3 раза.

Всего в республике 4 крупных и средних водохранилища комплексного назначения (Павловское, Нугушское, Юмагузинское, Кармановское), объемом 1890 млн м<sup>3</sup>, и 608 водохранилищ и прудов водохозяйственного назначения объемом более 100 тыс. м<sup>3</sup>. Всего в 2014 г. из водохранилищ и прудов забрано 46,3 млн м<sup>3</sup> воды, в том числе по бассейну р. Камы 93%, р. Урал – 7%.

## **Выводы**

В результате проведенного анализа установлено, что из-за природных особенностей естественный сток не может гарантированно обеспечивать население и объекты экономики республики Башкортостан. Изменения климата увеличивают повторяемость маловодий и ухудшают условия водопользования. В этих условиях необходимо проводить мероприятия по рациональному использованию вод и по регулированию стока по сезонам года и по территории.

## **Библиографический список**

1. *Гареев А.М., Галеева Э.М., Горячев В.С.* Особенности изменения качественных характеристик речных вод на примере среднего течения реки Белая. Доклады Башкирского университета. 2016. Т. 1. №2. С. 319-326.

2. *Горячев В.С. и Малмыгин А.С.* Управление водохозяйственными комплексами Республики Башкортостан. Уфа: Инеш, 2012. 488 с

3. *Горячев В.С.* Управление водохозяйственной деятельностью в бассейне реки (на примере бассейнов рек Белая и Урал) //Водное хозяйство России: достижения, проблемы, перспективы: сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2014.

4. *Горячев В.С.* Состояние использования и перспектива развития водохозяйственной системы промузлов и населенных пунктов на водохозяйственном участке реки Уфы от Павловского водохранилища, включая Уфимскую агломерацию: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), посвященной Международному Дню воды, Дню работников гидрометеорологической службы, Дню геолога. Уфа: РИЦ БашГУ, 2021.

5. *Горячев В.С.* Опыт регулирования режимами работы водохранилищ в условиях повторяющихся маловодных периодов на территории Республики Башкортостан // Современные проблемы водохранилищ и их водосбросов: труды Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2011. Т. 3. С. 60-64.

И.И. Лопатина, [iilopatina@gmail.com](mailto:iilopatina@gmail.com)

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

## **РОЛЬ СУДЕБНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В СУДЕБНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Представлена структура нормативных правовых актов в сфере судебной экспертизы с учетом практики деятельности судебно-экспертных учреждений и использования результатов судебной гидрологической экспертизы в судебном производстве.

*Ключевые слова:* судебная экспертиза, гражданское и арбитражное судопроизводство, экспертное заключение.

I.I. Lopatina, [iilopatina@gmail.com](mailto:iilopatina@gmail.com)

*Perm State University, Perm, Russia*

## **THE ROLE OF FORENSIC HYDROLOGICAL EXPERTISE IN COURT PROCEEDINGS**

The article presents the structure of regulatory legal acts in the field of forensic examination, taking into account the practice of forensic institutions and the use of the results of forensic hydrological examination in court proceedings.

*Keywords:* forensic examination, civil and arbitration proceedings, expert opinion.

В целях обеспечения единого научно-методического подхода к производству судебных экспертиз в федеральных бюджетных судебно-экспертных учреждениях Минюста России, а также повышения оперативности реагирования на потребности современного судопроизводства в использовании специальных знаний [11] утвержден Перечень родов (видов) судебных экспертиз и Перечень экспертных специальностей, по которым представляется право самостоятельного производства судебных экспертиз.

Судебная гидрологическая экспертиза не является самостоятельным видом судебной экспертизы. Её проведение возможно в рамках проведения землеустроительной или экологической судебных экспертиз с целью:

- Исследование экологического состояния водных объектов;
- Исследование объектов землеустройства, в том числе с определением их границ на местности.

Федеральный закон «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» [13] регламентирует возможность и процедуру проведения государственной судебной экспертизы, а также приводит основные понятия в указанной сфере, согласно которому:

- судебная экспертиза – предусмотренное законодательством Российской Федерации о судопроизводстве процессуальное действие, включающее в себя

проведение исследований и дачу заключения экспертом по вопросам, требующим специальных знаний в области науки, техники, искусства или ремесла;

- заключение эксперта – письменный документ, отражающий ход и результаты исследований, проведенных экспертом.

Законодательно закрепленного понятия о судебно-землеустроительной экспертизе не существует [10].

Наиболее часто, в т.ч. на сайтах организаций, оказывающих услуги по судебной экспертизе, дается следующее определение, что судебная землеустроительная экспертиза – это процессуальное действие, осуществляемое лицами, обладающими специальными знаниями в области землеустройства, смежных естественных, технических, экономических наук; которые дают заключение об объектах землеустройства и (или) их использовании, в том числе о состоянии земель и границах объектов землеустройства на местности.

Стоит отметить, что в области судебно-экологической экспертизы относительно недавно (в 2018 г.) все же принят стандарт, установивший термины и определений понятий, применяемых в судебно-экологической экспертизе [6]. Судебно-экологическая экспертиза – это процессуальное действие лиц, обладающих специальными знаниями, которые дают заключение, отражающее ход и результаты исследования антропогенного воздействия на объекты окружающей среды.

К специальным знаниям при производстве судебно-экологической экспертизы относятся знания в области экологии, смежных естественных, технических, экономических наук.

Взаимодействие экспертов и суда становятся темой исследования многих авторов [9].

Не так однозначно, с правовой точки зрения, складывается ситуация по судебно-гидрологической экспертизе. В законодательстве отсутствует определение судебно-гидрологической экспертизы, а также нормативный акт, регламентирующий проведение указанной экспертизы.

Попробуем разобраться в данной правовой коллизии. Большинство экспертных центров дает следующее определение гидрологической экспертизы – это исследование, которое изучает свойства и характеристики различных водных объектов, проводимое экспертом/специалистом, обладающим знаниями в области гидрологии, экологии и смежных естественных наук.

Проведение судебной гидрологической экспертизы возможно только на основании определения или постановления суда, которое принимается, в том числе, по ходатайству одной из сторон [1;5].

При этом на усмотрение суда перед экспертизой могут ставиться вопросы:

1. Исследование водных объектов, в том числе с определением ряда гидрологических характеристик, а также вида водных объектов, береговой линии (границы водного объекта) [3], а также границ зон с особым режимом использования территории [3;7]:

- водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов [3];

– зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения [3; 12].

## 2. Исследование экологического состояния водных объектов.

Проблематика, связанная с грамотной постановкой задач для экспертов, рассматривается в работах Кручина М.Н. [8] и Галинской А.Е. [4].

Анализ судебной практики за период 2019-2022 гг. показал, что основное количество судебных дел с проведением судебной гидрологической экспертизы приходится на комплексную судебную землеустроительную экспертизу (Определение СК по гражданским делам Первого кассационного суда общей юрисдикции от 09 июня 2021 г. по делу N 8Г-11338/2021).

Однако нередки случаи назначения судом самостоятельной гидрологической экспертизы. (Определения Судебных Коллегий по гражданским делам: Пятого кассационного суда общей юрисдикции от 22 июня 2021 г. по делу № 8Г-3566/2021; Третьего кассационного суда общей юрисдикции от 15 сентября 2021 г. по делу N 8Г-17265/2021 и от 20 октября 2021 г. по делу N 8Г-15953/2021).

Обратимся к практике. Для суда гидрологическая экспертиза – это анализ документации с целью выявления ее соответствия или отклонения от законодательства, действующего в период ее оформления, и выездные исследования на местности с целью определения фактических характеристик водных объектов.

Так для проверки доводов ответчиков судом апелляционной инстанции назначалось проведение комплексной судебной гидрологической и землеустроительной экспертизы для целей установления наличия водного объекта на земельном участке истца. Экспертом установлен факт наличия водного объекта и предложено два варианта установления границ земельного участка истца. Суд апелляционной инстанции установил границы земельного участка истца по варианту N 1 экспертного заключения, согласно которому сам участок является двухконтурным (с одной стороны ручья и с другой его стороны). (Определение СК по гражданским делам Первого кассационного суда общей юрисдикции от 15 декабря 2021 г. по делу N 8Г-30479/2021 [88-30180/2021]).

Необходимость в землеустроительной и гидрологической экспертизе возникает, когда нужно обеспечить соответствие землеустроительной документации исходным данным, техническим условиям и требованиям [14].

Суд апелляционной инстанции, на основании заключения комплексной землеустроительно-гидрологической экспертизы, пришел к выводу, что испрашиваемый истцом земельный участок является ограниченным в обороте, поскольку целиком расположен в границах 2 пояса зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения, что в свою очередь исключает возможность его передачи в собственность истцу. (Определение СК по гражданским делам Четвертого кассационного суда общей юрисдикции от 20 января 2022 г. по делу N 8Г-27707/2021).

Часто причиной обращения к экспертам в области гидрологии становится спор о статусе водного объекта. Например, когда для проверки доводов истца и возражений ответчика относительно статуса спорного ручья, проходящего по

принадлежащим ответчикам земельным участкам, судом апелляционной инстанции по делу была назначена судебная инженерно-гидрологическая экспертиза водного объекта.

Разрешая спор, суд апелляционной инстанции, на основе заключения судебной экспертизы, пришел к выводу, что спорный объект, расположенный в настоящее время на обоих земельных участках, представляет из себя пруд-копань (небольшой искусственный водоем в специально выкопанном углублении на поверхности земли, предназначенный для накопления и хранения воды для различных хозяйственных целей), и посчитал, что формирование участка, на котором расположен данный искусственный водный объект, и постановка этого земельного участка на кадастровый учет с последующей передачей в частную собственность, не противоречит положениям Земельного кодекса Российской Федерации, а также положениям Федерального закона от 21 декабря 2001 года N178-ФЗ «О приватизации государственного и муниципального имущества» и не нарушает охраняемые законом права истца. (Определение СК по гражданским делам Третьего кассационного суда общей юрисдикции от 15 сентября 2021 г. по делу N 8Г-17265/2021).

Следует отметить, что судебно-гидрологическая экспертиза – сравнительно новый класс экспертных исследований.

По видам гидрологические экспертизы можно разделить на судебные и внесудебные. Принципиальное отличие внесудебной экспертизы от судебной – отсутствие процессуальной формы, тогда как полученное по определению суда заключение эксперта является судебным и имеет четкий прописанный процессуальный статус.

Если есть заключения специалистов, которые не оспариваются сторонами, суд вправе отклонить ходатайство о назначении исследования в рамках спора (Кассационное определение СК по административным делам Первого кассационного суда общей юрисдикции от 30 ноября 2021 г. по делу N 8а-31155/2021[88а-29086/2021]).

Но проведение судебной гидрологической экспертизы понадобится, если стороны спора предоставили противоречивые материалы, дали различные пояснения, и отсутствуют доказательства, которые позволили бы решить спорный вопрос (Определение Четвертого кассационного суда общей юрисдикции от 27 мая 2022 г. по делу N 8Г-13007/2022[88-18431/2022]).

В соответствии с процессуальным законодательством экспертизы подразделяются на первичные, дополнительные и повторные [13].

Первичная экспертиза – это экспертиза, которая проводится впервые.

Дополнительная экспертиза назначается в случае недостаточной ясности или полноты ранее данного заключения эксперта. Основанием для назначения дополнительной экспертизы является наличие в первоначальном заключении неточностей и т.п., не требующих повторного исследования в полном объеме. Может быть поручено тому же или другому эксперту.

Повторная экспертиза назначается в случае возникновения у суда сомнений в правильности или обоснованности заключения эксперта, а также при наличии противоречий в выводах эксперта. Основанием для её назначения являются

существенные недостатки первоначального заключения, вызывающие сомнение в компетентности эксперта. В связи с этим, повторная экспертиза всегда поручается другому эксперту (или комиссии), а во-вторых, при её проведении исследование по поставленным вопросам полностью производится заново.

Например, в целях разъяснения вопросов, требующих специальных знаний, определением Щелковского городского суда Московской области по делу назначена судебная гидрологическая экспертиза. Перед экспертом поставлены следующие вопросы: является ли водный объект обособленным с замкнутой береговой линией; имеется ли у водного объекта прямая гидравлическая связь (постоянная или временная) с рекой. Экспертное заключение, установившее обособленность водного объекта от других водных объектов и полную замкнутость его береговой линии, а также отсутствие прямой гидравлической связи с рекой, легло в обоснование Решения Щелковского городского суда Московской области от 15 июля 2020 г. (Дело № 2-2371/2020).

Судебная практика показывает, что повторная и дополнительная землеустроительная и гидрологическая экспертиза назначены в целях устранения противоречий в показаниях эксперта, проводившего судебную экспертизу, с выводами данного им экспертного заключения и установления обстоятельств, имеющих значение по делу. По инициативе суда была назначена повторная и дополнительная комплексная судебная землеустроительная и гидрологическая экспертизы [5], суд апелляционной инстанции принял указанное заключение в качестве надлежащего доказательства по делу (Определение СК по гражданским делам Первого кассационного суда общей юрисдикции от 18 мая 2022 г. по делу N 8Г-9683/2022[88-12226/2022]).

Хотя заключение эксперта является лишь одним из доказательств по делу и не играет исключительной роли в процессе доказывания, суды при принятии решений всё чаще опираются на результаты экспертного исследования.

### **Библиографический список**

1. Арбитражный процессуальный кодекс РФ: Федеральный закон от 24 июля 2002 г. № 95-ФЗ // СКС «Консультант Плюс».
2. База судебных решений // СКС «Гарант».
3. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 03 июня 2006 г. № 73-ФЗ // СКС «Консультант Плюс».
4. *Галинская А.Е.* Использование специальных знаний в судопроизводстве сторонами и их представителями // Диссертация на соискание ученой степени канд. юрид. наук. М., 2017.
5. Гражданский процессуальный кодекс РФ: Федеральный закон от 14 ноября 2002 г. № 138-ФЗ // СКС «Консультант Плюс».
6. ГОСТ Р 58081-2018. Судебно-экологическая экспертиза. Термины и определения // СКС «Консультант Плюс».
7. Земельный кодекс РФ: Федеральный закон от 14 ноября 2002 г. № 138-ФЗ // СКС «Консультант Плюс».

8. *Кручин М.Н.* Актуальные проблемы обследования водных объектов при производстве судебных экспертиз // «Уголовное судопроизводство: проблемы теории и практики» №3/2017, стр. 44-45.

9. *Майорова Е.И., Гончарук Н.Ю., Адамова Э.В.* Особенности взаимодействия экспертов-экологов и суда в процессе уголовного судопроизводства // Институт судебных экспертиз и криминалистики, <https://ceur.ru/library>.

10. *Мамонтова С.А., Паркина Д.О., Колпакова О.П., Кобаненко Т.И.* Проблема понятийного аппарата землеустройственной экспертизы // Финансы и управление, №2/2020, стр.45-53.

11. Приказ Минюста России от 27.12.2012 N 237 (в действующей редакции) «Об утверждении Перечня родов (видов) судебных экспертиз, выполняемых в федеральных бюджетных судебно-экспертных учреждениях Минюста России, и Перечня экспертных специальностей, по которым представляется право самостоятельного производства судебных экспертиз в федеральных бюджетных судебно-экспертных учреждениях Минюста России».

12. СанПиН 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения // СКС «Консультант Плюс».

13. Федеральный закон от 31 мая 2001 г. N 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации» // СКС «Консультант Плюс».

14. Федеральный закон от 18 июня 2001 № 78-ФЗ «О землеустройстве» // СКС «Консультант Плюс».

## УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В МИРЕ

Сделан обзор существующих подходов к управлению водными ресурсами на международном уровне. Рассмотрена система интегрированного управления водными бассейнами в странах Европейского Союза. Комплексный анализ системы управления водными ресурсами на международном уровне позволяет наиболее целостно оценить состояние мировых водных ресурсов.

*Ключевые слова:* мировые водные ресурсы, интегрированное управление водными ресурсами.

T. Frolova, bibikova@igras.ru  
Institute of Geography of RAS, Moscow, Russia

## WORLD WATER MANAGEMENT

The article provides an overview of existing approaches to water resources management at the international level. The system of the integrated management of river basins in the countries of the European Union has been considered. The comprehensive analysis of the water resources management system at the international level enables the most integrated evaluation of the state of the world's water resources.

*Keywords:* world water resources, integrated water resources management.

### *Введение*

Система управления водными ресурсами отдельной страны во многом определяется ее культурно-историческим потенциалом. Традиционно в мире не было предусмотрено самостоятельной управляющей структуры или закона, регулирующих использование водных ресурсов. При этом в настоящее время в развитых странах современный подход к управлению постепенно заменил устаревшие законы и политику, что не всегда можно сказать о развивающихся странах, где культурные, религиозные и различные научные течения, обусловленные колонизацией, во многом сыграли и продолжают играть решающую роль [4; 6; 12]. Это значит, что управление водными ресурсами в таких странах сосредоточено лишь на водопользовании и разделении водных ресурсов, практически игнорируя вопросы их охраны и рационального использования. Во многих странах водное законодательство осталось на уровне тех времен, когда вода считалась неисчерпаемым ресурсом, что полностью перестало соответствовать современным реалиям [3; 12-15].

### *Материалы и методы исследования*

Рассмотрены основные предпосылки формирования государственного регулирования в водной сфере в отдельных государствах. Показана специфика

управления водными ресурсами в развитых и развивающихся странах мира. Проанализированы особенности внедрения интегрированного управления водными ресурсами в странах мира. Рассмотрены основные структуры, осуществляющие мониторинг и контроль за состоянием трансграничных водных объектов. В работе сделан обзор международных речных бассейновых комиссий и их полномочий относительно водных объектов и отдельных видов водопользования. Проанализированы основные особенности внедрения Водной рамочной директивы в новых странах-членах ЕС.

### *Анализ результатов*

Среди сложившихся подходов к управлению водными ресурсами можно выделить традиционный подход (основанный на сложившихся традициях отдельной страны. Например, датский подход, преобразованный в итоге в законодательство, определяющее общественное владение и пользование ресурсами); римское право (подразумевает разделение водных ресурсов на общие, муниципальные и частные), которое оказало влияние на формирование водного законодательства части континентальной и островной Европы; гражданское право, которое разделило ресурсы на две категории: частные и общие (при этом пользуются водными ресурсами те, в чьей собственности они находятся. Такой подход частично характерен для Испании, Португалии, Франции, Бельгии и Нидерландов и их бывших колоний, Центральной и Южной Америки и Филиппин); общее право – взяло свое начало в Великобритании и распространилось на колонии (в основе лежит прибрежное водопользование); мусульманский подход, в котором вода является божественным даром, и не может принадлежать частным лицам, однако они не освобождены от платы за пользование водными ресурсами (некоторые мусульманские страны, например Турция и Иран, приняли закон о национализации воды, подразумевающий обязательное получение права на ее использование. Также в Иордане, Алжире и Иране вода была признана собственностью государства, однако в большинстве мусульманских стран вода условно остается собственностью народа и регулируется Шариатом); коммунистический подход подразумевает, что вода находится в собственности государства (характерно для стран пост-советского пространства и Китая); индуистское водное право (сохранилось только на Бали, в Бутане и Непале), которое поддерживает идею о том, что вода не может кому-то принадлежать, а правом пользования обладает община [3-4; 6; 10-15].

В большинстве стран право на воду определяется в количественных показателях в единицу времени. Однако в некоторых странах и регионах это право определяется как доля в водном объекте. Такой подход характерен для древних ирригационных систем, таких, например, как система ирригации «Субак» на о. Бали, локализованное орошение через резервуары в Шри-Ланке, система плотин и каналов в Непале, «канатное» орошение в Иране и Мексике. Также долевое право на воду сохранилось в некоторых регионах Испании, как следствие мусульманской оккупации на рубеже первого тысячелетия. Долевое право на воду часто возникало в тех местах, где инвестиции в водный объект были высокими.

Вклад в эти инвестиции определял индивидуальную долю в распределении водных ресурсов. Примечательно, что в Чили права на воду определяются в абсолютных единицах объема в единицу времени, при этом правом на воду можно торговать. Однако, в случае нехватки воды право на воду уменьшается пропорционально дефициту, возникающему в бассейне реки или источнике воды. Пропорциональные права могут также продаваться на рынке воды. В некоторых странах, например, в Колумбии, все источники воды являются собственностью государства, при этом частная собственность на воду возможна, если источник воды естественным образом испаряется и возвращается в землю, находящуюся в частном владении. Однако, закон устанавливает утерю собственности на воду после трех лет неиспользования земли [3-7; 12].

В настоящее время многие развивающиеся страны пытаются внедрить интегрированное управление водными ресурсами, однако даже разработка и внедрение соответствующего законодательства не означает последовательное его исполнение. В развитых странах интегрированное управление водными ресурсами внедряется быстрее благодаря более чуткому реагированию экономики на инструменты регулирования, хорошей мониторинговой базе, относительно равномерному уровню жизни населения, политике, направленной на устойчивое развитие. Однако в развитых странах не все институциональные системы поддерживают интеграцию, что часто мешает эффективному внедрению инструментов разумного управления ресурсами, а также ослабляет их связь с национальной политикой государств [1; 8].

Одним из органов, призванных решать водные проблемы на международном уровне, являются международные речные бассейновые комиссии. Такие комиссии существуют практически везде, где есть трансграничные водные объекты, однако их решения почти всегда носят рекомендательный характер.

Помимо международных бассейновых комиссий на территории Европы с 2000 года действует система интегрированного управления водными бассейнами. Она призвана поддерживать поверхностные и подземные воды Европейского союза в хорошем состоянии. Директива предполагает полное изменение водного законодательства в части бассейнового управления и мониторинга состояния поверхностных и подземных водных ресурсов. Водная рамочная директива оценивается как наиболее значимый юридический инструмент, который является максимально прозрачным и понятным для успешного управления качеством и количеством воды. Однако некоторые вещи остаются неясными до сих пор, например, степень контроля за состоянием водных объектов, а также сам термин «хорошее состояние». Возникают некоторые задержки с отчетами о состоянии водных ресурсов стран ЕС, неточное или неполное внедрение основ Директивы в местные законодательства. Кроме того, большинство стран не владеет соответствующими средствами и методами оценки биологического состояния водных объектов. Более того, как показывают исследования, страны по-разному интерпретируют положения Водной Директивы [2; 9].

## **Выводы**

Анализ системы управления водными ресурсами на международном уровне позволяет более комплексно оценивать состояние мировых водных ресурсов, учитывая то, что в зарубежной практике в основном используется бассейновый подход к управлению водными ресурсами.

Интегрированный подход к управлению водными ресурсами необходим из-за их ограниченности, постепенного загрязнения, сложной взаимосвязи ресурсов между собой, для разумного распределения между нуждами общества и экосистем, рационального использования гидротехнических сооружений во избежание нежелательных последствий.

Разделение водных ресурсов и распределение территории речных бассейнов между различными странами нередко приводит к межнациональным конфликтам. Одним из органов, призванных решать водные проблемы на международном уровне, являются международные речные бассейновые комиссии. Однако решения большинства комиссий носят рекомендательный характер и не имеют юридической силы.

Водная рамочная директива оценивается как наиболее значимый юридический инструмент, который является максимально прозрачным и понятным для успешного управления качеством и количеством воды. Однако остается невыясненным ряд вопросов, касающихся ее внедрения в законодательную систему новых стран-членов ЕС.

*Исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).*

## **Библиографический список**

1. *Boutkan E., Sticker A.* Enhanced Water Resources Base for Sustainable Integrated Water Resources Management. Natural Resources Forum, Blackwell Publishing, vol. 28 (2). 2004. P. 150-154.
2. *Bruin E.F.L.M. de, Jaspers G.W., Gupta, J.* The EU Water Framework Directive: challenges for institutional implementation. In J. Vermaat (ed.). Challenges in Coastal Zone Management in the EU. Springer. 2005. P. 153-169.
3. *Caponera D. Nanni M.* Principles of water law and administration. London, Routledge. 2019. 398 p.
4. *Dellapenna J.W. Gupta J.* (Eds). The evolution of the law and politics of water. Springer. 2009. 416 p.
5. *Donoso G., Melo O.* Water Quality Management in Chile: Use of Economic Instruments. In: Biswas A.K., Braga B., Tortajada C., Rodriguez D.J. (eds) Water Quality Management in the Americas. Water Resources Development and Management. Springer, Berlin, Heidelberg. 2006. P. 229-251.
6. *Gupta J.* (Inter)national Water Law and Governance: Paradigm Lost or Gained? Inaugural address as professor of policy and law on water resources and the

environment, Department of Management and Institutions at the UNESCO-IHE, Institute for Water Education in Delft. 2004. 22.03.2004. ISBN: 90-73445-11-6.

7. *Hearne R. R.* Evolving Water Management Institutions in Mexico. *Water Resources Research*. 2004. vol. 40 (12).

8. *Hooper B.* Integrated River Basin Governance: Learning from International Experience. London: International Water Association Publishing. 2005. 306 p.

9. *Kelly M., Bennett C., Coste M., Delgado C., Delmas F., Denys L., Ector L., Fauville C., Ferréol M., Golub M., Jarlman A., Kahlert M., Lucey J., Ní Chatháin B., Pardo I., Pfister P., Picinska-Faltynowicz J., Rosebery J., Schranz C., Schaumburg C., van Dam H., Vilbaste S.* A comparison of national approaches to setting ecological status boundaries in phytobenthos assessment for the European Water Framework Directive: results of an intercalibration exercise. *Hydrobiologia*, vol. 621, no.1. 2009. P. 169-182.

10. *Liu B., Speed R.* Water Resources Management in the People's Republic of China. *Water Resources Development*, vol. 25 (2). 2009. P. 193-208.

11. *Mostert E.* Integrated Water Resources Management in the Netherlands: How Concepts Function. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, issue 135. 2006. P. 19-27.

12. *Naff T.* Islamic Law and the Politics of Water. *The Evolution of the Law and Politics of Water*. Springer. 2009. P. 37-52.

13. *Ramazzotti M.* Readings in Customary African Water Law. FAO Legislative Study, 58. Rome, Italy. 1996.

14. *Singh C.* Water rights and principles of water resources management. Indian Law Institute. New Delhi. 1991. 158 p.

15. *Teclaff L.A.* Water law in historical perspective. William S. Hein Company, Buffalo, USA. 1985. 369 p.

Т.С. Фролова, Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева,  
bibikova@igras.ru

*Институт географии РАН, г. Москва, Россия*

## **ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО СТРАН БРИКС**

В статье показано положение в мире стран БРИКС – Бразилии, России, Индии, Китая, ЮАР, по водообеспеченности и характеру использования водных ресурсов на основании гидрологических и водохозяйственных характеристик.

*Ключевые слова:* БРИКС, водные ресурсы, водообеспеченность, эффективность водопользования.

T. Frolova, N. Koronkevich, E. Barabanova, I. Zajtseva, bibikova@igras.ru

*Institute of Geography of RAS, Moscow, Russia*

## **ANTHROPOGENIC IMPACT ON WATER RESOURCES IN THE BRICS COUNTRIES**

The article shows the position of the BRICS countries – Brazil, Russia, India, China, South Africa on world water map in terms of water availability and the nature of the use of water resources based on hydrological and water management characteristics.

*Keywords:* BRICS, water resources management, water use effectiveness.

### ***Введение***

Водные ресурсы, основу которых составляют ресурсы речного стока, – один из главных факторов экономического и социального развития любой страны. Соответственно велика и роль водного хозяйства. Цель статьи – показать положение стран БРИКС в мире по водообеспеченности, размерам и характеру использования водных ресурсов на основании анализа гидрологической и водохозяйственной статистики. Этот анализ показывает, что общий вклад стран БРИКС в мировые водные ресурсы и их использование весьма велик, хотя вклад отдельных стран этого сообщества весьма существенно отличается.

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

В работе проанализировано 5 стран, занимающих 29% суши земного шара и 42% мирового населения [10]. В числе показателей обеспеченности территории и населения водными ресурсами рассмотрены речной, подземный сток и атмосферные осадки. Помимо этого, использованы удельные показатели – количество водных ресурсов на единицу площади и населения.

Для анализа водопотребления использованы данные о водозаборах, объемах сточных вод, безвозвратном расходе воды, а также оценена кратность разбавления сточных вод речным стоком.

Проведено сравнение эффективности использования воды – сопоставление стран по количеству продукции, произведенной на единицу расходуемой воды, и по обратному соотношению – количеству воды, затраченной на производство единицы продукции.

### *Анализ результатов*

Рассматриваемые государства по-разному обеспечены водными ресурсами. Средние многолетние ресурсы речного стока представлены в таблице [4; 10; 13]. Средний многолетний сток стран БРИКС оценивается почти в 14,5 тыс. км<sup>3</sup>/год, что составляет более 33% мирового стока, немногим выше доли в площади (29%) и ниже доли населения (42%). Отметим, что решающий вклад в величину показателей БРИКС вносит Бразилия. На Россию приходится от 21 до 28% абсолютных значений (км<sup>3</sup>/год) элементов водного баланса пяти стран. На Китай приходится около 19% полного речного стока, далее следуют Индия – 10% и ЮАР – всего 0,3%. Слой полного речного стока стран БРИКС (374 мм) в целом выше среднемирового (317 мм). Самый высокий слой стока в Бразилии – 728 мм, далее следуют Индия (443 мм), Китай (281 мм), Россия (237 мм), ЮАР (37 мм). Также выше общемирового у стран БРИКС и слой естественно-зарегулированного подземного стока – соответственно, 106 и 91 мм. Наименьшим слоем подземного стока располагают Россия (52 мм) и особенно ЮАР (11 мм), что предполагает повышенную потребность в гидротехническом регулировании водных ресурсов. Обеспеченность стран БРИКС полным речным стоком в расчете на душу населения (4,5 тыс. м<sup>3</sup>/чел.) ниже среднемировых показателей (5,6 тыс. м<sup>3</sup>/чел.). В Индии – 1,1 тыс. м<sup>3</sup>/чел., Китае – 1,9, в ЮАР – 0,8, тогда как в России – 27,8, а в Бразилии – 29,9 тыс. м<sup>3</sup>/чел.

#### **Обеспеченность водными ресурсами**

Страна	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Население, млн чел.	Полный речной сток, км <sup>3</sup>	Подземный сток, км <sup>3</sup>	Полный речной сток, тыс. м <sup>3</sup> /чел.	Подземный сток, тыс. м <sup>3</sup> /чел.
Бразилия	8547	208	6220	1874	29,9	9,0
Индия	3288	1339	1456	376	1,1	0,3
Китай	9597	1453	2700	960	1,9	0,7
Россия	17098	146	4053	882	27,8	6,0
ЮАР	1219	57	43	5	0,8	0,1
<b>Итого страны БРИКС</b>	<b>39749</b>	<b>3203</b>	<b>14472</b>	<b>4097</b>	<b>4,5</b>	<b>1,3</b>
<b>Мир в целом</b>	<b>135000</b>	<b>7676</b>	<b>42780</b>	<b>12285</b>	<b>5,6</b>	<b>1,6</b>

В целом, показатели, характеризующие Россию с точки зрения количества водных ресурсов на фоне других стран БРИКС и мировых достаточно высоки. Особенно велика доля России в водообеспеченности населения полным речным и подземным стоком – почти в 5 раз по сравнению со средними мировыми показателями и в 6 раз больше, чем группа стран в части речного стока, и в 3-5 раз в

части подземного стока, что частично является следствием относительно невысокой заселенности территории.

Во всем мире на различные хозяйственные нужды тратится примерно 4000 км<sup>3</sup> воды в год, из которых почти 36% в странах БРИКС. Данные по водопотреблению стран БРИКС почерпнуты из профильных Интернет-ресурсов, а также из ряда опубликованных статей и изданий [10; 14-17]. Использование воды внутри группы распределяется следующим образом. Примерно половина объема воды (47%) приходится на Индию, 43% – на Китай, менее 10% на остальные страны БРИКС, причем на Россию и Бразилию по 4,5%, на ЮАР около 1%.

В странах БРИКС на водопотребление используется немногим более ресурсов речного стока (9,6%), чем в мире (9,1%). При этом в Индии и ЮАР используется около 45% ресурсов речного стока, в Китае почти 22%, в России и Бразилии – порядка 1-1,5%. Во всех пяти странах основным источником водозабора являются поверхностные воды. Самый большой процент использования подземной воды наблюдается в Индии (почти 39%).

Основной водопотребитель в России – промышленность, на долю которой приходится почти 45% используемой воды, в других странах – сельское хозяйство, главным образом орошаемое земледелие, причем в Бразилии, Китае, ЮАР на долю сельского хозяйства приходится 55-65% используемой воды, а в Индии – 90%. Таким образом основная масса воды пяти стран используется в сельском хозяйстве (более 75%, это выше, чем общемировой показатель в 70%).

Общий безвозвратный расход воды в странах БРИКС составляет почти 1000 км<sup>3</sup> (около 62% от мирового). В данном случае безвозвратный расход воды определен по разнице водозабора и количества сточных вод. Наибольших значений он достигает в Китае и Индии и обусловлен наличием огромных площадей орошаемого земледелия. В результате общий речной сток стран БРИКС уменьшился почти на 7,5% (в мире почти на 4%), в Индии – на 41%, в Китае – на 24%, в ЮАР – на 18%, а в России и Бразилии – примерно на 0,5%. Безвозвратные расходы воды могут зависеть от природных условий, состояния оросительных систем и систем водоснабжения и водоотведения, технологии полива и состава культур посевных площадей, степени внедрения систем оборотного водоснабжения и структуры промышленных производств.

Объем сточных и коллекторно-дренажных вод в БРИКС близок к 400 км<sup>3</sup> (17% мирового объема). Почти 90% из них приходятся на возвратные воды с орошаемых земель. В разных странах существенно различается и уровень очистки сточных вод. Учет различий для разных стран в данном случае не представляется возможным из-за отсутствия соответствующей информации. В качестве показателя оценки воздействия на качество вод предложен показатель кратности разбавления сточных вод остаточным после безвозвратных изъятий стоком. Чем он ниже, тем больше вероятность загрязнения водных объектов. Кратность разбавления возвращающихся после использования вод БРИКС остаточным речным стоком – почти 35 раз (эта цифра для мира составляет немногим более 18 раз). В ЮАР – почти 3 раза, в Индии – более 4 раз, Китай – 31 раз, тогда как в России – 95 раз, а в Бразилии – более 180 раз.

Если судить об эффективности использования воды, которая часто определяется соотношением затрат воды в м<sup>3</sup> к ВВП (по ППС), то в БРИКС соответствующий показатель (72,5) выше, чем в мире в целом (57,8), т.е. вода используется менее эффективно. Особенно это относится к Индии (почти 250), что обусловлено ведущей ролью в водном хозяйстве орошаемого земледелия. В ЮАР и Китае этот показатель значительно ниже – (порядка 56 и 47 соответственно). Еще ниже он в России (40,7) и Бразилии (31,8).

Если оценивать количество воды, используемой в расчете на одного жителя, то этот показатель сравним с общемировым (432,3 м<sup>3</sup> и 505,6 м<sup>3</sup> соответственно). Самый низкий он в Бразилии (303 м<sup>3</sup>) и ЮАР (340,4 м<sup>3</sup>). Самый высокий в Индии – 483,6 м<sup>3</sup>.

Изложенное выше относится к странам в целом. Внутри каждой из них водохозяйственная ситуация очень различается. В каждой из них водообеспеченность хозяйства и населения наиболее высока в относительно малоосвоенных районах, а основные водные проблемы связаны с наиболее густонаселенными районами, где эта водообеспеченность значительно ниже. Достаточно сравнить горные и равнинные районы Китая и Индии, европейскую и азиатскую части России. На европейскую часть России, занимающую 23% общей площади РФ и располагающую таким же процентом ресурсов речного стока, приходится 77% водозабора и объема сточных вод. Кратность разбавления сточных вод в азиатской части страны на порядок выше, чем в европейской, составляя соответственно более 300 и около 30 раз.

### **Выводы**

В заключение следует отметить, что обеспеченность водными ресурсами территории стран БРИКС в целом несколько выше среднемировой, а населения – ниже. Доля используемой воды примерно соответствует доле располагаемых мировых водных ресурсов. Вместе с тем, выделяются две группы стран. Одна – Индия, Китай, ЮАР с гораздо более напряженным водохозяйственным балансом, и вторая – в составе Бразилии и России, в которой сосредоточена значительная часть сравнительно слабо затронутых деятельностью человека мировых водных ресурсов, хотя и в их пределах имеются районы, требующие решения острых водохозяйственных и гидроэкологических проблем.

*Исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).*

### **Библиографический список**

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. Москва, Наука. 2003. 367 с.
2. Библикова Т.С. Динамика водопотребления в России, Украине и Белоруссии в постсоветский период // Вопросы географии. Сб. 133: Географо-гидрологические исследования. М., Издательский дом «Кодекс», 2012. С. 274-288.

3. Бибикова Т.С. Изменения водохозяйственных характеристик России, Белоруссии и Украины в постсоветский период // Изв. РАН. Сер. геогр. 2007 №5. С. 98-106.
4. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008.
5. Глазовский Н.Ф. Глобальные закономерности распределения ресурсоемкости экономики // Изв. РАН. Сер. Геогр. 1992. № 3. С. 12-22.
6. Глазовский Н.Ф. Эффективность использования природных ресурсов и возможные пороги развития // Проблемы природопользования и экономическая ситуация в Европейской России и сопредельных государствах. Белгород: 2004. С. 9-15.
7. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
8. Демин А.П. Современная водоемкость экономик стран мира // Изв. РАН, сер. географ. 2012. № 5.
9. Демин А.П. Экономические проблемы водопользования // Экономические и территориальные аспекты управления водохозяйственным комплексом России. М., РАСХН, 2013. С. 240-273.
10. Интернет ресурсы: [gks.ru](http://gks.ru), [www.oecd-ilibrary.org](http://www.oecd-ilibrary.org), <https://stats.oecd.org/>, <https://www.unep.org>, <https://www.unwater.org>, <http://www.fao.org>, <https://www.chinawaterrisk.org>, <https://www.worldbank.org>, <https://www.indiaspend.com>.
11. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бибикова Т.С., Зайцева И.С. Водобесеченность и антропогенная нагрузка на водные ресурсы России в сравнении с другими странами // Вестник РФФИ. 2013. №78. том 2.
12. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бибикова Т.С., Зайцева И.С. Россия на водохозяйственной карте мира // Изв. РАН, сер. Географ. 2014. №1.
13. Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М., Мысль, 1974. 448 с.
14. Ao XuYin-Hu, Wu Zhuo, Chen Guangxue, Wu Qianyuan, Wu Fangqiong, Ling Wei E., Huang Hong-Ying Hu. Towards the new era of wastewater treatment of China: Development history, current status, and future directions. *Water Cycle* 1 (2020) 80–87.
15. Jones E. R., van Vliet M. T. H., Qadir M., Bierkens M. F. P.: Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse, *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 237–254, <https://doi.org/10.5194/essd-13-237-2021>, 2021
16. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2017. The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO.
17. Stepping K. M. K. Urban sewage in Brazil: drivers of and obstacles to wastewater treatment and reuse. *Governing the Water-Energy-Food Nexus Series*. Bonn, 2016.

# ГИДРОЛОГИЯ ДЛЯ ДУШИ

УДК 911

И.В. Фролова, i@irina-frolova.ru

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

## «ГИДРОГРАФИЯ» ЛИТЕРАТУРНЫХ ПЕЙЗАЖЕЙ В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ ПЕРМСКИХ ПОЭТОВ

Описание рек в стихах пермских поэтов является своеобразной «гидрографией» литературных поэтических пейзажей. Совмещение знания географических особенностей рек Пермского края и поэтических описаний в произведениях пермских авторов создает особенную, литературную «гидрографию». Первичный литературный анализ стихотворного наследия Василия Каменского выявил описания рек Кавказа, Волги и пермских рек (Кама, Сылва, Каменка). Для современных поэтов Прикамья (2000-е гг.) реки являются частью проживаемого пространства и не имеют яркого описания и очерченного положения.

*Ключевые слова:* литературный пейзаж, река, Василий Каменский, гидрография.

I.V. Frolova, i@irina-frolova.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## "HYDROGRAPHY" OF LITERARY PAYSAGE IN THE POETRY OF PERM POETS

The description of rivers in the poetry of Perm poets is a "hydrography" of literary poetic paysages. The combination of knowledge of the geographical features of the rivers of the Perm region and poetic descriptions in the perm poetry creates a special, literary "hydrography". The primary literary analysis of the poetic heritage of Vasily Kamensky revealed descriptions of the rivers of the Caucasus, the Volga and the Permian rivers (Kama, Sylva, Kamenka). For modern poets of the Kama region (2000s), rivers are part of the living space and do not have a description and position.

*Keywords:* river, literary paysage, Vasily Kamensky, hydrography.

Приведем две цитаты из авторских книг Аркадия Михайловича Комлева, профессора кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского университета, создававшего историю кафедры и гидрологию рек.

Первая цитата: «Жизнь человеческую часто сравнивают с рекой. ... На пути по течению реки-жизни были и межень, и половодье, и плесы, и перекаты. ... Итак, в путь по течению реки.» [5, с.3]. Так автор сравнивал свою жизнь с рекой и процессами в ней, нанизывая на течение реки события своей жизни. Очень символичная метафора, жизнеустойчивая. Специалисты-гидрологи обладают уникальным знанием, позволяющим формулировать наиболее характерные черты «гидрологических процессов» в жизни.

Вторая цитата: «В течение многих лет я брал на заметку и частично использовал при чтении лекций по гидрологии, показавшиеся мне интересными высказывания ученых, мудрые слова писателей, яркие строки поэтов о воде и реках, их роли в нашей жизни» [3, с. 6]. Это слова А.М. Комлева как составителя

сборника образных, философских, мудрых высказываний и цитат из прозы и поэзии о воде и водных объектах. Автор отмечал высокую роль художественного образа в представлении рек и их особенностей.

Поэтическое описание водных объектов можно сравнить с гидрографическим описанием и выделить литературные пейзажи с их особенной гидрографией [6].

Материалами в данном локальном исследовании послужили стихи поэта-классика Василия Каменского, запечатленного на литературной карте Пермского края и Уральского региона, и стихотворения пермских поэтов-современников 2000-х гг. В качестве основного метода применялся литературный анализ.

Под «гидрографией» литературного пейзажа понимается изображение рек как места действия в произведении, формирующее образное и эстетическое восприятие и атмосферу места.

Первоначально обратимся к наследию В. Каменского. Василий Каменский (1884–1961) – революционер, борец, один из первых русских авиаторов, актер, незаурядный художник, но в первую очередь, поэт «со своим лицом». Его поэтическое наследие проверено временем и до настоящего времени остается актуальным и для литературоведов, и для краеведов, и для географов. Из всех пермских поэтов В. Каменский наиболее близок к наукам о воде потому, что родился он на речном пароходе, шедшем из Перми вниз по Каме [4].

Тема воды, реки и их движения проявляется во многих стихотворениях автора и выражает чувственно-эмоциональную сторону, в первую очередь, радость, легкость, свет, жизнь.

*Росинки – радостинки!* [4, с. 28]

*Пить захочешь –*

*Тут журчеек чурлит –* [4, с. 28]

*... Жизнь у каждого одна,*

*Лучезарная, бегущая волна.* [4, с. 31]

Самые «речные» стихи, песнь реке, речушке – это «Серебряные стрелки» (1910). «Река течения снова / спокойно стала гладить / зеленые волосы дна» [4, с. 35].

Основу «гидрографии» литературных поэтических пейзажей В. Каменского составляют реки Кавказа, Волга, пермские реки (Кама, Сылва, Каменка).

*О кавказских реках.*

*Здесь всё – взнесенно, крыловейно.*

*Как друг –*

*Стремительная Кура*

*Поет поэту мне песню лилейно,*

*Что быть стремительным пора.* [4, с. 44]

*Пусть кубок,*

*Полный кахетинским,*

*В руках моих – орла Урала –*

*Звенит кинжалом кабардинским*

*И льется Тереком Дарьяла.* [4, с. 45]

О пермских реках. Самая «камская» – это «Поэма о Каме» (1934). «Вижу: Кама в половодье / Поднялась из берегов, / Это радость – новогодье / Жизни трепетных лугов.» [4, с. 257].

*Эх, Кама, Кама, Камушка,  
Крутые берега,  
Спасибо тебе, мамушка,  
Сердечная река.* [4, с. 256]

*А если да – отличная погода. На Сылву!  
Сылва-река –  
Посыл рыбака.*

*Так бы и жить в шалаше.* [4, с. 86]

Река Волга является и местом действия, и персонажем поэмы В. Каменского «Степан Разин» (1914–1918, 1927–1928).

В качестве литературных «гидрографических» особенностей рек в стихах В. Каменского отмечены положение, протяженность реки, характер течения и глубина, орография берегов. Дополнительным литературным качеством является «персонификация» реки.

По результатам литературного анализа стихотворений пермских поэтов из сборника новой поэзии Прикамья [1] не выделено речных литературных пейзажей. Можно указать погодные явления, связанные с реками, и сравнение жизненных перипетий авторов с реками, т.е. применение сравнения, эпитетов и символов, связанных с водой и водными объектами.

В большинстве случаев река является частью проживаемого пространства и территории. Как например, в стихах чувовского поэта Леонида Грибеля [2].

*Здесь речка моя, Чусовая,  
Ласкает зарю при луне.* [2, с. 8].

А за Усьвою, / Да за речкою, / Где ветра поют / На окраине, / В ярких сполохах / Небо млечное / Будто северное сияние. [2, с. 13].

Литературная «гидрография» как часть литературной географии является вспомогательным учебным инструментом в изучении реального и литературного пространств и территорий, позволяет формировать яркие образы рек и иных водных объектов, а также гидрологических процессов.

### **Библиографический список**

1. *Антология тишины*. Новая поэзия Прикамья. Березники, 2008. 208 с.
2. *Грибель Л.* Линия горизонта. Книга стихов. Пермь, 2007. 144 с.
3. *Журчащий минерал*. О воде и реках в стихах и прозе / сост. А.М. Комлев. Пермь, 2008. 68 с.
4. *Каменский В.В.* Стихи. М.: Художественная литература, 1977. 270 с.
5. *Комлев А.М.* Река жизни. Пермь, 2006. 72 с.
6. *Фролова И.В.* Литературные пейзажи водных геосистем (по стихам Сергея Есенина) // Тридцать седьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Рязань, 2022. С. 163–165.

**Оргкомитет выражает искреннюю благодарность руководству филиала ПАО «РусГидро» – Камская ГЭС, ООО «ЭГФ», ООО «ЦВР», ООО «ПроЛицензия», Пермскому отделению РГО за оказание помощи в организации и проведении IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов»**

**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.



**ЭГФ**  
ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ  
Ф И Р М А

**ООО «Эколого-географическая фирма»** осуществляет деятельность на рынке услуг в сфере экологической безопасности. Мы выполняем различного рода экологические проекты, гидрологические работы, инженерные изыскания, оказываем услуги по разработке проектов рекультивации земель и пр.

Мы располагаем необходимой разрешительной документацией (лицензия Росгидромет, лицензия на осуществление геодезической и картографической деятельности, аттестат и область аккредитации испытательной лаборатории, СРО на проектные и изыскательские работы и др.), а также сформированной материальной базой, позволяющей нам в полной мере оказывать данные услуги.

Более подробная информация на нашем сайте: <https://ecoegf.ru>.

**ООО «Центр водохозяйственных решений»** выполняет консалтинговые услуги в области водного законодательства;

- гидрологическое обследование территории;
- гидрологические расчеты любой сложности;
- определение береговых линий водных объектов и ЗОУИТ;
- гидравлические расчеты для ГТС, мостовых переходов, малых водопропускных сооружений, лотков, дождеприемных решеток;
- воднобалансовые и водохозяйственные расчеты;
- комплексные инженерные изыскания;
- проектирование гидротехнических сооружений.



**ООО "ЦВР"**  
Центр водохозяйственных решений  
129085, г. Москва, пр-кт Мира, д 101 стр.1  
centrvr101@mail.ru

**Компания ООО «ПроЛицензия»** оказывает профессиональную юридическую помощь в получении лицензий.



С уважением,  
Логина Лидия Владимировна,  
Руководитель договорного отдела  
юридической компании "ПроЛицензия"  
Тел.: + 7 (495) 108-15-98/ + 7 (929) 673-64-00  
E-mail: [ll@prolicense.org](mailto:ll@prolicense.org)  
Сайт: [www.prolicense.org](http://www.prolicense.org)

Компания ООО «ПроЛицензия» уже длительное время на юридическом рынке и оказывает услуги сопровождения клиентов по вопросам регистрации, сертификации и лицензирования. За 7 лет успешной работы мы объединили настоящих профессионалов, консолидировали их опыт и знания и тем самым помогли десяткам предприятий получить разрешительные документы для законного ведения бизнеса.

Цель – помогать компаниям развивать свой бизнес в полном соответствии с действующим законодательством. Предлагаются оптимальные решения для конкретных задач, открытое и честное сотрудничество, достижение поставленных целей и колоссальную выгоду.

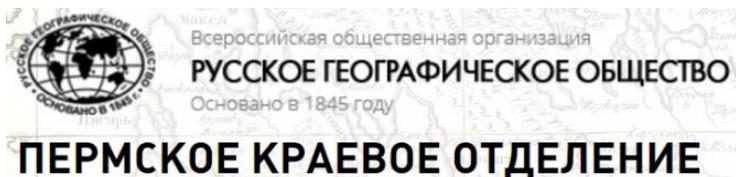
Факты о компании ООО «ПроЛицензия»:

- ✓ Работа по всей России;
- ✓ Более 100 надежных партнеров и агентов для помощи организации бизнеса «под ключ»;
- ✓ Сертификация от ведущих международных центров;
- ✓ Собственный товарный знак;
- ✓ Свой образовательный центр;
- ✓ Работа без посредников;
- ✓ На рынке более 10 лет;
- ✓ Осуществлена помощь в оформлении более 500 лицензий;
- ✓ Сотрудников в компании 20 человек;
- ✓ 2 офиса (Москва, Санкт-Петербург);
- ✓ Более 800 клиентов;

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛУГ

- ✓ Услуги лицензирования (более 20 видов лицензий)
- ✓ Сертификация и стандартизация.
- ✓ Повышение квалификации (собственный образовательный центр).

Более подробная информация на нашем сайте: [www.prolicense.org](http://www.prolicense.org).



Основное направление деятельности **Русского географического общества** – географическое и культурно-историческое изучение края,

популяризация географических знаний среди населения, организация и проведение научных исследований. Члены отделения принимают активное участие в географических совещаниях по природному и экономическому районированию, проводят межрегиональные школьные и студенческие конференции, участвуют в грантовых программах. Более подробная информация на сайте: <https://www.rgo.ru/ru/permskoe-kraevoe-otdelenie>

*Научное издание*

## **Современные проблемы водохранилищ и их водосборов**

Труды IX Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием  
(г. Пермь, 25–28 мая 2023 г.)

### **Том 2**

Издается в авторской редакции  
Вёрстка *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 7,05 Мб  
Подписано к использованию 23.05.2023

---

Размещено в открытом доступе  
на сайте [www.psu.ru](http://www.psu.ru)  
в разделе НАУКА / Электронные публикации  
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Управление издательской деятельности  
Пермского государственного  
национального исследовательского университета  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15