

ISSN 1999-4508

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ:

ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ

WATER SECTOR OF RUSSIA:

PROBLEMS, TECHNOLOGIES, MANAGEMENT

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC/PRACTICAL JOURNAL

№ 5, 2019



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Н.Б. Прохорова, д-р экон. наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Екатеринбург, Россия)

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

М.В. Болгов, д-р техн. наук, профессор, Институт водных проблем Российской академии наук (Москва, Россия)

Г.Г. Борисова, д-р биол. наук, профессор, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)

А.М. Гареев, д-р геогр. наук, профессор, Башкирский государственный университет (Уфа, Россия)

В.Н. Заслоновский, д-р техн. наук, профессор, Забайкальский государственный университет (Чита, Россия)

Д.В. Козлов, д-р техн. наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва, Россия)

А.Е. Косолапов, д-р техн., наук, профессор, Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (Ростов-на-Дону, Россия)

А.П. Лепихин, д-р геогр. наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Пермь, Россия)

А.Ф. Никифоров, д-р хим. наук, профессор, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)

А.Н. Попов, д-р техн. наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Екатеринбург, Россия)

В.А. Румянцев, д-р геогр. наук, профессор, академик Российской академии наук, Институт озероведения Российской академии наук (Санкт-Петербург, Россия)

В.А. Селезнев, д-р техн. наук, профессор, Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук (Тольятти, Россия)

А.Р. Хафизов, д-р техн. наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Уфа, Россия)

А.В. Шевчук, д-р экон. наук, профессор, Совет по изучению производительных сил Всероссийской академии внешней торговли Минэкономразвития России (Москва, Россия)

С.В. Ясинский, д-р геогр. наук, Институт географии Российской академии наук (Москва, Россия)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ

М.Ж. Бурлибаев, д-р техн. наук, профессор, Казахстанское агентство прикладной экологии (Алматы, Республика Казахстан)

Б.К. Габриелян, д-р биол. наук, профессор, Научный центр зоологии и гидроэкологии

отделения естественных наук Национальной академии наук Армении (Ереван, Республика Армения)

В.А. Духовный, д-р техн. наук, профессор, Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия Центральной Азии по проблемам регулирования, рационального использования и охраны водных ресурсов межгосударственных источников (Ташкент, Республика Узбекистан)

Карло Гуальтери, профессор, Университет Неаполя Федерико II (Неаполь, Италия)

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РЕДАКТОР

Н.А. Валек, канд. филолог. наук, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (Екатеринбург, Россия)

Издание зарегистрировано в Государственном комитете
Российской Федерации по печати 21 мая 1999 г. Рег. номер 018825

Выходит с 1999 года 6 раз в год.

Подготовлено к печати в издательстве РосНИИВХ (лицензия ЛР № 020570 от 30 сентября 1997 г.)

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23
Тел. главного редактора (343) 374-03-97. E-mail: info@waterjournal.ru, www.waterjournal.ru

© ФГБУ РосНИИВХ

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ:

ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ

WATER SECTOR OF RUSSIA:

PROBLEMS, TECHNOLOGIES, MANAGEMENT

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC/PRACTICAL JOURNAL

№ 5, 2019

ЕКАТЕРИНБУРГ
YEKATERINBURG

FOUNDERS OF THE JOURNAL



FEDERAL AGENCY
OF WATER
RESOURCES



RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE
FOR INTEGRATED WATER MANAGEMENT
AND PROTECTION (RosNIIVKh)

«WATER SECTOR OF RUSSIA» JOURNAL EDITORIAL BOARD

CHIEF EDITOR

N.B. Prokhorova, Dr. of Economics, Professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Ekaterinburg, Russia)

EDITORIAL BOARD MEMBERS

M.V. Bolgov, Dr. of Technical Sciences, Professor, Russian Academy of Sciences Institute of Water Problems (Moscow, Russia)

G.G. Borisova, Dr. of Biology, First President of Russia B.N. Yeltsin Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)

A.M. Gareyev, Dr. of Geography, Professor, Bashkir State University (Ufa, Russia)

V.N. Zaslonskiy, Dr. of Technical Sciences, Professor, Transbaikalian State University (Chita, Russia)

D.V. Kozlov, Dr. of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russia)

A.Y. Kosolapov, Dr. of Technical Sciences, Professor, Russian Information/analytical and research Water Center (Rostov-na-Donu, Russia)

A.P. Lepikhin, Dr. of Geography, Professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Perm, Russia)

A.F. Nikiforov, Dr. of Chemistry, Professor, First President of Russia B.N. Yeltsin Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)

A.N. Popov, Dr. of Technical Sciences, Professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Ekaterinburg, Russia)

V.A. Rumyantsev, Dr. of Geography, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Academy of Sciences Institute of Limnology (St. Petersburg, Russia)

V.A. Seleznev, Dr. of Technical Sciences, Professor, Russian Academy of Sciences Institute of the Volga Basin Ecology (Togliatti, Russia)

A.R. Khafizov, Dr. of Technical Sciences, Professor, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Ufa, Russia)

A.V. Shevchuk, Dr. of Economics, Professor, Council for the study of productive forces of Russian Academy of Foreign Trade (Moscow, Russia)

S.V. Yasinskiy, Dr. of Geography, Russian Academy of Sciences Institute of Geography (Moscow, Russia)

MEZHDUNARODNIY SOVYET

M.Z. Burlibayev, Dr. of Technical Sciences, Professor, Kazakhstan Agency of Applied Ecology (Almaty, Republic of Kazakhstan)

B.K. Gabrielyan, Dr. of Biology, Professor, Armenian Academy of Sciences Department of Natural Sciences Scientific Center of Zoology and Hydro/ecology (Yerevan, Republic of Armenia)

V.A. Dukhovniy, Dr. of Technical Sciences, Professor, Central Asia Interstate Coordination Water Economy Commission on Problems of International Sources Water Resources Regulation, Rational Use and Protection (Tashkent, Republic of Uzbekistan)

Carlo Gualtieri, Professor, University of Naples «Federico II» (Naples, Italy)

EXECUTIVE EDITOR

N.A. Valek, Cand. of Philology, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (Ekaterinburg, Russia)

The title is registered in the State Committee of the Russian Federation for Press on May 21, 1999. Registration Number 018825

The journal is issued since 1999 6 times a year.

The journal has been prepared for printing in the RosNIIVKh publishing house (license LR No 020570 of September 30, 1997)

Address of the Editorial Office: Ul. Mira, 23, Ekaterinburg 620049 Russia
Chief Editor (343) 374-03-97. E-mail: info@waterjournal.ru, www.waterjournal.ru

© FGBU RosNIIVKh

The journal is included into the List of the scientific journals and editions subject to peer-review where the main scientific outcomes of the thesis for academic degrees of doctors and candidates of sciences are to be published

СОДЕРЖАНИЕ

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Удельная водообеспеченность и озерный фонд регионов водного дефицита <i>А.В. Измайлова</i>	6
Водный и ледовый режим реки Майма в условиях современных изменений климата (Горный Алтай) <i>В.В. Зуев, Е.М. Короткова, В.А. Уйманова</i>	25
Состав родниковых вод Кабардино-Балкарской Республики <i>Л.З. Жинжакова, Т.И. Воробьева, Е.А. Чередник</i>	40
Геохимическое воздействие Холоднинского свинцово-цинкового месторождения на аквальные ландшафты Северного Прибайкалья <i>Т.С. Кошовский, А.Ю. Санин, Т.А. Пузанова, О.В. Ткаченко</i>	49

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Расчет распространения загрязнений в Клязьминском водохранилище от береговых источников диффузного характера <i>Е.В. Веницианов, Н.В. Кирпичникова, А.А. Тиунов</i>	64
К вопросу оценки качества поверхностных вод Узбекистана <i>Б.Т. Курбанов</i>	80

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Влияние температуры морской воды на развитие гидроида <i>Gonothyrax loveni</i> (Allman) на искусственных субстратах в бухте Севастопольской (Черное море) <i>Л.Б. Далёкая</i>	98
Применение композитных сорбентов на основе ферроцианида никеля при определении содержания радионуклидов цезия в пробах природных вод <i>В.С. Семенищев, С.М. Титова, А.В. Воронина, А.Ф. Никифоров, М.О. Блинова</i>	108
Очистка сточных вод гальванических цехов от ионов меди модифицированным карбонатным шламом <i>Л.А. Николаева, М.Н. Котляр</i>	124
Требования к оформлению материалов.....	133

CONTENT

WATER RESOURCES, WATER BODIES

Water availability and lake fund of water deficit regions <i>A.V. Izmailova</i>	6
Water and ice regime of the Mayma River (the Altay Mountains) in the context of the current climate change <i>V.V. Zuyev, E.M. Korotkova, V.A. Uymanova</i>	25
Composition of spring waters of the Kabardin-Balkar Republic <i>L.Z. Zhinzhakova, T.I. Vorobyeva, E.A. Cherednik</i>	40
Geochemical impact of kholodninsk lead-zinc deposit on aquatic landscapes of Northern part of the Baikal region <i>T.S. Koshovskiy, A.Y. Sanin, T.A. Puzanova, O.V. Tkachenko</i>	49

WATER RESOURCES MANAGEMENT

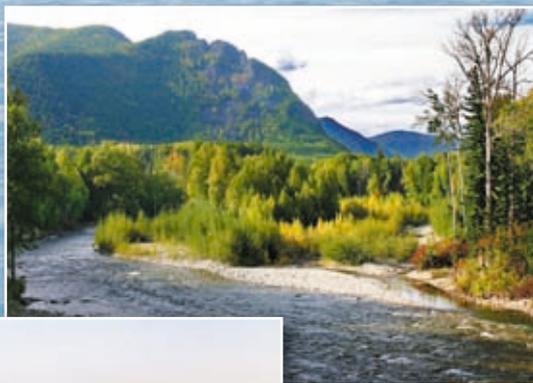
The calculation of the pollution distribution in the Klyazma Reservoir from diffuse bank sources <i>Y.V. Venitsianov, N.V. Kirpichnikova, A.A. Tiunov</i>	64
On the issue of the Uzbekistan surface water quality assessment <i>B.T. Kurbanov</i>	80

ECOLOGICAL ASPECTS OF WATER/ECONOMIC ACTIVITIES

The sea water temperature impact upon <i>Gonothyraea loveni</i> (Allman) hydroid development on the artificial substrates in the Sevastopol Bay (the Black Sea) <i>L.B. Dalyokaya</i>	98
The use of composite sorbents based on nickel ferrocyanide in determination of cesium radionuclides in natural water samples <i>V.S. Semenishchev, S.M. Titova, A.V. Voronina, A.F. Nikiforov, M.O. Blinova</i>	108
Electroplating plants' wastewater treatment from copper ions with a modified carbonaceous slurry <i>L.A. Nikolaeva, M.N. Kotlyar</i>	124
Requirements to the material arrangement.....	133

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

WATER RESOURCES, WATER BODIES



УДЕЛЬНАЯ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ И ОЗЕРНЫЙ ФОНД РЕГИОНОВ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА*

А.В. Измайлова

E-mail: ianna64@mail.ru

*ФГБУН «Институт озераедения Российской академии наук»,
г. Санкт-Петербург, Россия*

АННОТАЦИЯ: Для России, несмотря на значительный объем водных ресурсов, характерна неравномерность их распределения по территории. Поэтому целый ряд регионов характеризуется низкой водообеспеченностью, обусловленной как физико-географическими факторами, так и спецификой расселения и хозяйственного освоения территории. В статье представлены результаты оценки удельной водообеспеченности, рассчитанной по всем субъектам Российской Федерации с учетом ресурсов речных и озерных вод. Расчет водообеспеченности за счет озерных вод базируется на данных новой оценки водных ресурсов озер, проведенной в Институте озераедения РАН. На основе полученных значений водообеспеченности определены регионы наибольшего водного дефицита и оценен их озерный фонд.

В настоящее время в регионах с низкой и средней душевой водообеспеченностью проживает почти 60 % населения России, в т. ч. около 20 % – в регионах с очень низкой и катастрофически низкой водообеспеченностью. Большая часть этих регионов относится к зоне недостаточного увлажнения, однако ряд регионов зоны достаточного увлажнения в силу высокой населенности также испытывает чрезмерную нагрузку на водные ресурсы. Большинство регионов с низкой и средней душевой водообеспеченностью обладают значительными запасами вод, содержащихся в искусственных водоемах, суммарный объем которых превышает 100 км³. Кроме того, ряд регионов имеет и значимые запасы озерных вод. В озерах регионов, расположенных в зоне недостаточного увлажнения и характеризующихся пониженной водообеспеченностью, суммарно содержится ~37 км³ воды, в т. ч. ~20 км³ – пресной. В зоне достаточного увлажнения в озерах регионов с пониженной водообеспеченностью содержится ~2,4 км³ пресной воды.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по темам № 0154-2019-0004 «Закономерности распределения озер по территории Евразии и оценка их водных ресурсов» и № 0154-2018-0005 «Пространственная структура озерных и речных водных ресурсов России и ее изменение во времени»

© Измайлова А.В., 2019

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водные ресурсы, водообеспеченность, озерный фонд, зона недостаточного увлажнения, регионы водного дефицита.

По объемам водных ресурсов Российская Федерация считается одной из наиболее обеспеченных стран мира, причем как по речному стоку, так и по запасам озерных вод. Согласно [1], возобновляемые водные ресурсы страны (включающие речной сток с его подземной составляющей) составляют 4 324 км³/год. Наряду с этим в озерах содержится ~25 855 км³ пресной воды [2], т. е. более четверти от общих мировых запасов пресных озерных вод (91 000 км³), если ориентироваться на [3]. Без учета российской части акватории Каспийского моря еще ~55 км³ озерных вод имеют повышенную минерализацию. Однако, несмотря на огромные суммарные водные ресурсы, для России характерна значительная неравномерность их распределения по территории. Как результат, целый ряд регионов характеризуется низкой водообеспеченностью, обусловленной как физико-географическими факторами, так и спецификой расселения и хозяйственного освоения территории страны.

Несмотря на то что проблемы водоснабжения, прежде всего, решаются за счет ресурсов речного стока, озерные воды широко используются в целом ряде регионов, от северных территорий, где они являются основным источником питьевого водоснабжения, до аридных областей, где при дефиците поверхностного стока изымаются на сельскохозяйственные и промышленные нужды. При этом, в силу своей замедленной возобновляемости, озерные воды оказываются более чувствительными к нарушениям естественного гидрологического цикла, вызываемым активной антропогенной деятельностью, их чрезмерная эксплуатация быстро сказывается как на качестве, так и на объемах водных ресурсов. В рамках данной работы проанализирована водообеспеченность Российской Федерации за счет ресурсов речных и озерных вод. На основе полученных данных выделены регионы наибольшего водного дефицита, а также оценен их озерный фонд.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Важной характеристикой, используемой при анализе распределения водных ресурсов по территории, является удельная душевая водообеспеченность, под которой принимают количество водных ресурсов, приходящихся на одного жителя. В отличие от суммарного значения водных ресурсов, значения водообеспеченности, полученные с учетом количества проживающего в регионе населения, позволяют лучше характеризовать наличие водного дефицита. Поскольку среди всех видов мировых водных ресурсов наиболее удобными для хозяйственного использования являются возобновляемые (ресурсы речного стока), изначально понятие удельной

водообеспеченности было разработано для их характеристики. Различными авторами расчет водообеспеченности административных территорий за счет возобновляемых водных ресурсов производился либо для величин местного, либо для величин суммарного стока (местный сток + приток из пограничных территорий). В первом случае очевидно занижение величин водообеспеченности, поскольку практически всегда, хотя бы частично, используется вода, поступающая с соседних территорий, во втором случае явно ее завышение, т. к. притекающая вода принадлежит и соседним территориям. Альтернативный вариант был предложен в работе [4], где расчет удельной водообеспеченности ориентирован на величину местных водных ресурсов, суммированную с половиной притока пресной воды, поступающей из соседних территорий. В дальнейшем такой подход получил широкое распространение как для региональных [1], так и глобальных [3, 5, 6] оценок. В рамках данной статьи при оценке современной водообеспеченности административных образований Российской Федерации применен именно такой подход. Однако представляет интерес также рассчитать и удельную водообеспеченность регионов, полученную исключительно за счет ресурсов стока местного формирования, величина которой в большей степени обусловлена физико-географическими условиями.

В ситуации значительного водозабора на хозяйственные нужды выделяется потенциальная и реальная удельная водообеспеченность, при расчете последней учитываются безвозвратные изъятия части речного стока. Российская Федерация, в сравнении с другими экономически развитыми странами, характеризуется относительно низкими значениями общего и безвозвратного водозабора. Согласно [7], общий безвозвратный расход в России составляет лишь 0,3 % остаточного полного речного стока и 0,8 % остаточного устойчивого стока. В связи с этим величины потенциальной и реальной удельной водообеспеченности для большинства субъектов Федерации почти совпадают.

Наряду с удельной водообеспеченностью возобновляемыми водными ресурсами на основе аналогичного подхода в рамках данного исследования рассмотрена и удельная водообеспеченность территории страны за счет статических поверхностных водных ресурсов, содержащихся в озерах и водохранилищах. Для расчетов удельной душевой водообеспеченности использовались данные по водным ресурсам озер, полученные в ИНОЗ РАН [2], тогда как по ресурсам речного стока (как местного, так и притока из пограничных территорий) они были заимствованы из работы Государственного гидрологического института [1]. Сведения по численности населения взяты из материалов Федеральной службы государственной статистики за 2018 г. [8]. Для сопоставимости данных удельная душе-

вая водообеспеченность ресурсами вод озер и водохранилищ приведена в тыс. м³/чел., тыс. м³/км², аналогичных душевой водообеспеченности, рассчитанной с учетом возобновляемых водных ресурсов (тыс. м³/чел. год, тыс. м³/км² год). Озерные водные ресурсы вычислялись как осредненные за начало XXI в. объемы воды, заключенной во все водоемы естественного и искусственного происхождения. Возобновляемые водные ресурсы оценивались как осредненные за определенный промежуток времени (с 1930 по 2005 гг.) объемы воды [1], протекающей по русловой сети за годовой интервал времени. Градации водообеспеченности приняты согласно [4]:

- удельная водообеспеченность выше 20 тыс. м³/чел. год – очень высокая;
- удельная водообеспеченность от 10 до 20 тыс. м³/чел. год – высокая;
- удельная водообеспеченность от 5 до 10 тыс. м³/чел. год – средняя;
- удельная водообеспеченность от 2 до 5 тыс. м³/чел. – низкая;
- удельная водообеспеченность от 1 до 2 тыс. м³/чел. год – очень низкая;
- удельная водообеспеченность < 1 тыс. м³/чел. год считается катастрофически низкой.

ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Согласно проведенной оценке, в конце 2010-х годов удельная водообеспеченность за счет ресурсов речного стока в среднем по стране составляла ~27,6 тыс. м³/чел. год и относилась к категории «очень высокая». Если ориентироваться на оценку возобновляемых водных ресурсов мира [3], она почти в пять раз превышала среднюю по планете Земля. На каждого жителя России также приходится ~176 тыс. м³ озерных вод. Однако, при высоких средних значениях, целый ряд регионов ощущает значительные проблемы с водоснабжением.

По данным Атласа мирового водного баланса [9], почти 1/5 площади Российской Федерации занимает зона недостаточного увлажнения, в пределах которой величина испаряемости (E) в среднем за год превышает количество выпадающих атмосферных осадков (R), т. е. коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову ($K_y = \frac{R}{E}$) не превышает 1,0 [10]. В силу низкой увлажненности такие регионы характеризуются и ограниченными ресурсами речного стока местного формирования. Коэффициенты стока (отношение величины слоя стока с данной площади за определенный промежуток времени к величине атмосферных осадков, выпадающих на нее за тот же период), обычно не превышают здесь 0,2, причем сток чаще всего привязан к периоду весеннего половодья или периодическим паводкам. Для регионов недостаточного увлажнения количество выпадающих за год атмосферных осадков приблизительно равно величине испаряемости ($K_y \approx 1$), коэффициенты

стока составляют 0,2–0,4. Превышение выпадающих атмосферных осадков над величиной испаряемости ($K_y > 1$) наблюдается в регионах избыточного увлажнения (тундра, лесотундра, тайга), где коэффициенты стока достаточно высокие – $> 0,4$.

В Российской Федерации в пределах зоны недостаточного увлажнения проживает более 40 % населения, большая часть которого сконцентрирована на юге европейской части России, где дефицит водных ресурсов наиболее выражен. Значительная часть зоны недостаточного увлажнения приходится и на слабо населенную азиатскую часть страны. Наибольшая плотность населения в пределах азиатской части России наблюдается на юге Западной Сибири, а также в Байкальском регионе, где проблемы водообеспечения существенно обостряются в маловодные периоды. Засушливые регионы Среднесибирского плоскогорья заселены слабо, так что даже при ограниченных водных ресурсах нагрузка на них небольшая.

Высокая плотность населения характерна для центральной части Русской равнины, расположенной преимущественно в зоне достаточного увлажнения. Антропогенный пресс на ее водные ресурсы велик, и обеспеченность водой жителей целого ряда субъектов Федерации не превышает 5 тыс. м³/чел. год (т. е. относится к категории «низкая»), даже при расчете удельной душевой водообеспеченности с учетом половины притекающих вод. Таким образом, по значениям удельной водообеспеченности целый ряд регионов центра европейской части России приближается к странам Центральной Европы, в которых в силу высокой плотности населения, она или «низкая» или «очень низкая» [3], несмотря на то что страны расположены в зоне достаточного увлажнения.

Результаты оценки удельной душевой водообеспеченности, проведенной по всем субъектам Российской Федерации, как с учетом ресурсов речного стока, так и за счет вод озер и водохранилищ, приведены в таблице.

Для большинства регионов, расположенных в пределах зоны недостаточного увлажнения, характерны низкие коэффициенты удельной душевой водообеспеченности, рассчитанные с учетом стока рек местного формирования. При этом многие из этих регионов характеризуются значительными величинами транзитного стока (рис. 1). В этом случае, с учетом половины притока, удельная водообеспеченность таких территорий, особенно при их слабой населенности, может быть выше на порядок и даже более (рис. 2). К примеру, в пределах российской Азии лишь два субъекта Федерации на юге Западной Сибири характеризуются «низкой водообеспеченностью» (2–5 тыс. м³/чел. год), рассчитанной с учетом половины притока, один субъект – «средней» (5–10 тыс. м³/чел. год), в то время как с учетом только вод местного формирования – четыре и три субъекта Федерации соответствен-

Таблица. Удельная водообеспеченность Российской Федерации, конец 2010-х гг.

Table. Water availability of the Russian Federation, late 2010 s

Субъект Российской Федерации	Удельная душевая водообеспеченность (м ³ /тыс. чел. год) за счет ресурсов			
	стока местного формирования	местного стока и половины притока*	озерных вод	вод озер и водохрани- лищ
Мурманская область	73,9	82,2	74,8	83,7
Республика Карелия	82,8	84,8	1442	1451
Архангельская обл.	126	213	9,54	9,63
Ненецкий авт. округ	1352	3157	230	230
Республика Коми	186	194	5,41	5,44
Санкт-Петербург и Ленинградская обл.	3,29	8,11	46,9	47,2
Псковская обл.	18,4	19,1	28,0	28,3
Новгородская обл.	22,7	30,2	10,1	10,3
Вологодская обл.	33,1	37,4	13,5	24,4
Калининградская обл.	2,34	12,6	0,33	0,38
Тверская обл.	13,6	16,8	3,55	5,68
Ярославская обл.	5,46	17,0	0,55	16,1
Костромская обл.	25,3	55,3 (55,2)	0,32	3,69
Ивановская обл.	4,37	31,2	0,06	3,26
Владимирская обл.	3,50	15,2	0,09	0,15
Москва и Московская обл.	0,43	0,71 (0,67)	0,01	0,08
Смоленская обл.	10,8	13,0 (12,9)	0,30	1,45
Калужская обл.	5,27	8,40	0,02	0,11
Тульская обл.	2,59	4,93 (4,87)	0,002	0,17
Рязанская обл.	4,91	14,4	0,20	0,38
Тамбовская обл.	3,53	3,79 (3,75)	0,01	0,38
Липецкая обл.	2,33	3,90 (3,85)	0,01	0,24
Орловская обл.	4,60	5,05 (5,02)	0,002	0,13
Брянская обл.	4,40	5,32 (5,30)	0,02	0,15
Курская обл.	3,21	3,23 (3,13)	0,02	0,41
Белгородская обл.	1,62	1,68 (1,60)	0,001	0,20
Воронежская обл.	1,41	3,62 (3,56)	0,02	0,24

Продолжение таблицы

Субъект Российской Федерации	Удельная душевая водообеспеченность (м ³ /тыс. чел. год) за счет ресурсов			
	стока местного формирования	местного стока и половины притока*	озерных вод	вод озер и водохранилищ
Республика Башкортостан	6,47	7,75 (7,67)	0,21	0,79
Кировская обл.	22,5	27,9	0,09	0,32
Республика Марий Эл	5,75	86,9	0,20	13,2
Республика Мордовия	4,03	5,19 (5,16)	0,04	0,16
Нижегородская обл.	3,73	18,8	0,08	0,80
Оренбургская обл.	3,70	5,17 (5,11)	0,04	1,92
Пензенская обл.	3,88	4,14	0,01	0,57
Пермский край	18,9	20,6	0,06	8,43
Самарская обл.	1,44	39,3 (39,2)	0,06	4,12
Саратовская обл.	2,21	51,9 (51,8)	0,02	8,83
Республика Татарстан	2,19	31,9	0,04	7,45
Республика Удмуртия	5,88	24,9 (24,8)	0,01	0,47
Ульяновская обл.	3,97	98,2	0,01	16,7
Республика Чувашия	2,44	50,6	0,004	1,71
Ростовская обл.	0,81	3,39 (3,17)	0,06	2,38
Республика Адыгея	5,78	18,4	0,01	6,74
Краснодарский край	2,87	3,61	0,02	0,18
Волгоградская обл.	1,90	52,8 (52,7)	0,05	14,6
Республика Калмыкия	5,08	5,49 (4,55)	0,07	7,92
Астраханская обл.	0,01	121	0,46	0,49
Севастополь и Республика Крым	0,43	0,43 (0,37)	0,001	0,17
Ставропольский край	0,28	1,17 (0,74)	0,002	0,55
Республика Дагестан	2,74	4,94 (4,36)	0,005	1,18
Чеченская Республика	1,51	4,48 (4,20)	0,04	0,05
Республика Ингушетия	1,25	2,54 (2,32)	0,000	0,004
Республика Северная Осетия	5,47	8,14 (8,12)	0,0001	0,05
Кабардино-Балкарская Республика	3,35	5,98 (5,58)	0,01	0,06
Республика Карачаево-Черкесская Республика	13,5	13,5 (13,4)	0,02	1,03

Продолжение таблицы

Субъект Российской Федерации	Удельная душевая водообеспеченность (м ³ /тыс. чел. год) за счет ресурсов			
	стока местного формирования	местного стока и половины притока*	озерных вод	вод озер и водохрани- лищ
Ямало-Ненецкий АО	381	736	108	108
Ханты-Мансийский АО	77,8	155 (153)	21,6	21,6
Тюменская обл. (собственно)	8,12	90,3	2,78	2,79
Свердловская обл.	7,37	7,52	0,48	0,89
Челябинская обл.	2,04	2,16	1,97	2,88
Курганская обл.	1,22	2,82	4,45	4,58
Омская обл.	2,86	11,2	0,87	0,89
Новосибирская обл.	2,07	11,9	0,51	3,48
Алтайский край	8,24	15,6	0,40	0,97
Томская обл.	53,6	107	2,89	2,91
Кемеровская обл.	14,9	15,3	0,08	0,32
Республика Алтай	155	155	188	188
Республика Хакасия	37,4	110	1,77	32,9
Республика Тыва	124	137	42,7	54,9
Иркутская обл.	73,1	102	3308	3407
Красноярский край	256	293	150	226
Республика Бурятия	77,4	89,0	15922	15922
Забайкальский край	64,7	69,5	3,99	4,08
Амурская обл.	106	158	0,51	98,4
Еврейская АО	44,2	668	0,55	0,61
Приморский край	21,5	22,9	7,64	7,75
Сахалинская обл.	119	119	8,62	8,82
Хабаровский край	183	276	6,23	14,4
Магаданская обл.	817	828	19,2	120
Камчатский край	842	847	120	120
Чукотский АО	3625	3760	697	697
Республика Саха	588	761	141	183

Примечание: * – в скобках приведены значения реальной водообеспеченности в тех регионах, где ее значения с учетом точности до третьего знака отличаются от потенциальной.

но. При этом локальные проблемы с водообеспечением экономики юга Западной Сибири хорошо известны. Кроме того, все субъекты Федерации, расположенные на юге Восточной Сибири, в силу относительно низкой населенности территорий и значительных ресурсов речного стока характеризуются как высоко обеспеченные водными ресурсами. Однако проблемы водоснабжения здесь не только присутствуют, но и в годы низкой водности требуют своего решения на государственном уровне.

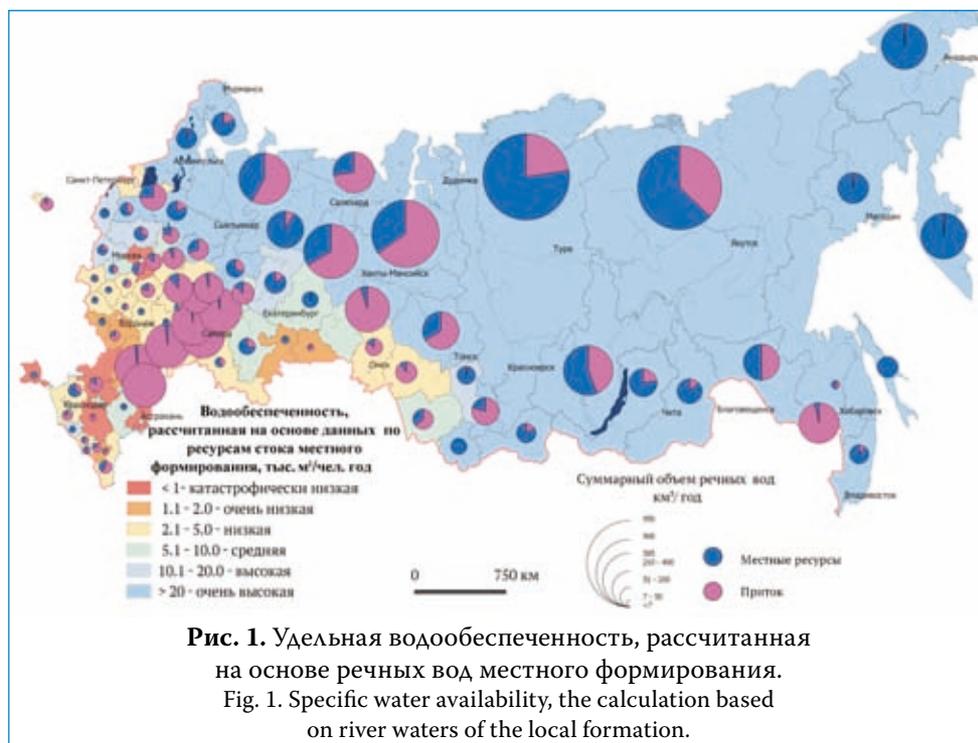


Рис. 1. Удельная водообеспеченность, рассчитанная на основе речных вод местного формирования.
Fig. 1. Specific water availability, the calculation based on river waters of the local formation.

Необходимо подчеркнуть, что в регионах недостаточного увлажнения при их относительно низкой населенности и наличии транзитного стока, значения душевой водообеспеченности, рассчитанной с учетом половины притока, могут не отражать локальные проблемы водоснабжения. Еще один яркий пример, уже в европейской части России – Волгоградская и Астраханская области. Удельная водообеспеченность, рассчитанная с учетом половины притока, для обеих областей относится к категории «очень высокой», с учетом только вод местного формирования – к «очень низкой» и «катастрофически низкой». Основная часть промышленных центров концентрируется вдоль русла Волги, по мере удаления от которого резко проявляется водный дефицит.

Таким образом, при выделении регионов реального водного дефицита недостаточно ориентироваться на значения удельной душевой водообеспечен-



ности, рассчитанной с учетом половины притока, необходимо учитывать и водообеспеченность, определяемую за счет вод местного формирования.

В настоящее время даже с учетом половины притока субъектами Федерации с «катастрофически низкой» удельной водообеспеченностью являются Севастополь и Республика Крым (~0,4 тыс. м³/чел. год), Москва и Московская область (~0,7 тыс. м³/чел. год), в которых суммарно проживает 23,6 млн чел. Из-за чрезмерной концентрации населения в столичном регионе проблемы водоснабжения уже не одно десятилетие решаются за счет использования водохранилищ, построенных как в Московской, так и в смежных с ней областях. «Очень низкой» удельной водообеспеченностью характеризуются Ставропольский край и Белгородская область, где суммарно проживает ~4,4 млн чел. «Низкая» удельная водообеспеченность отмечена в Челябинской, Курганской, Курской, Ростовской, Воронежской, Тамбовской, Липецкой, Пензенской и Тульской областях, Краснодарском крае, Республике Ингушетия, Чечне и Дагестане. Общая численность населения этих 13 субъектов Федерации составляет 27,6 млн чел.

Суммарно в регионах с душевой водообеспеченностью менее 5 тыс. м³/чел., рассчитанной с учетом половины притока, на площади 782 тыс. км² (4,5 % площади страны) проживает 55,6 млн чел., т. е. 38 % населения

России. Большинство субъектов Федерации, характеризующихся низкой водообеспеченностью, расположены в пределах Центрального и Северо-Кавказского федеральных округов, так что даже средняя для этих округов удельная водообеспеченность относится к категории «низкая» (2,6 и 3 тыс. м³/чел. год соответственно).

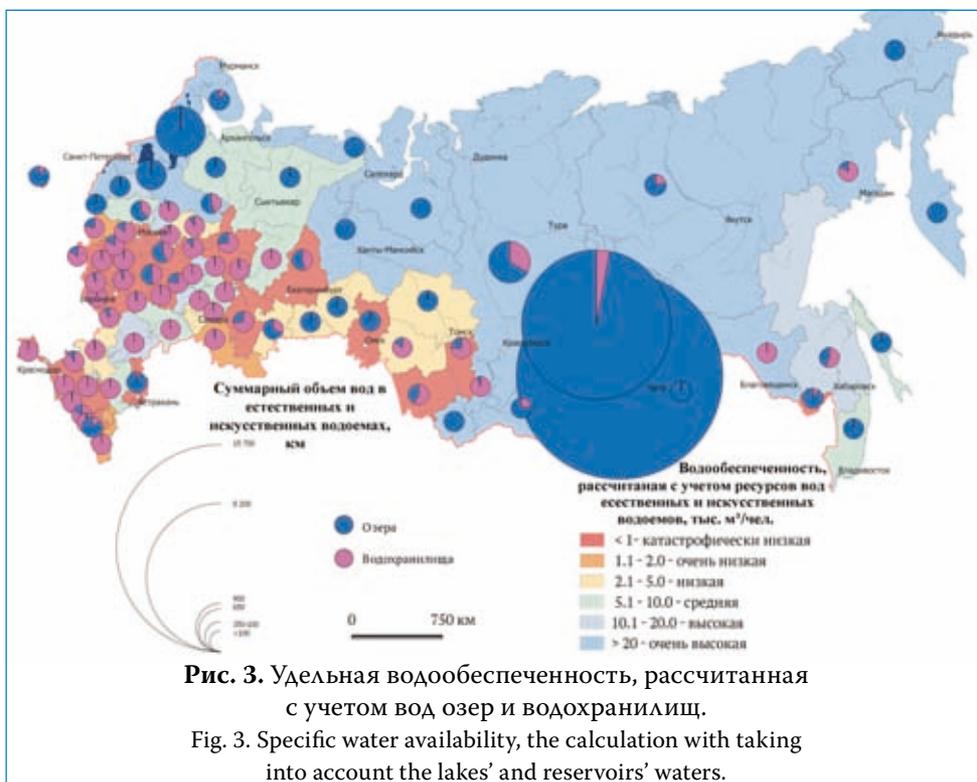
Как уже отмечалось, необходимо учитывать, что значительные проблемы с водоснабжением возникают и в субъектах Федерации, удельная душевая водообеспеченность которых с учетом половины притока характеризуется как «средняя» или даже «высокая», в то время как ресурсы местного стока недостаточны. Транзитный сток лишь частично решает проблемы водных ресурсов. К таким регионам, прежде всего, относятся Астраханская, Самарская и Волгоградская области, где удельная водообеспеченность, рассчитанная с учетом только ресурсов местного стока, не превышает 2 тыс. м³/чел. год. В Новосибирской, Саратовской, Калининградской, Омской областях, Республике Татарстан и Чувашии душевая водообеспеченность, рассчитанная с учетом ресурсов стока местного формирования, составляет от 2 до 3 тыс. м³/чел. год. Суммарная численность населения, проживающего в перечисленных регионах, около 20 млн чел.

Еще в 10 субъектах Федерации – Санкт-Петербурге и Ленинградской области, Владимирской, Оренбургской, Нижегородской, Ульяновской, Брянской, Орловской областях, Кабардино-Балкарии и Мордовии с суммарным населением около 17 млн чел. удельная душевая водообеспеченность за счет ресурсов местного стока не превышает 5 тыс. м³/чел. год. Для Ленинградской области пониженная в силу высокой плотности населения водообеспеченность возобновляемыми водными ресурсами компенсируется высокой обеспеченностью озерными водами. Ладожское озеро, содержащее 848 км³ пресной воды [11], активно рассматривается как альтернативный источник водоснабжения Санкт-Петербурга, причем актуальность данного вопроса определяется и тем фактом, что качество невской воды, используемой для водоснабжения города, в последние десятилетия резко ухудшилось. Остальные перечисленные субъекты Федерации не обладают столь значимыми озерными ресурсами. Большинство из них относится к зоне достаточного увлажнения и пониженная удельная душевая водообеспеченность определяется здесь не столько ограниченностью ресурсов поверхностного стока, сколько высокой плотностью населения.

Необходимо еще раз отметить, что проблемы с водными ресурсами могут наблюдаться и в малонаселенных регионах зоны недостаточного увлажнения, которые на настоящий момент характеризуются средними значениями удельной душевой водообеспеченности, как, например, Республика Калмыкия (численность населения ~273 тыс. чел., суммарный объем речных вод местного формирования – 1,4 км³).

Для большинства перечисленных субъектов Федерации, расположенных в пределах зоны недостаточного увлажнения и в густонаселенных регионах в пределах зон достаточного и избыточного увлажнения, характерны и невысокие значения удельной душевой водообеспеченности за счет ресурсов вод озер и водохранилищ (рис. 3). Однако есть целый ряд исключений, а значительные запасы воды могут находиться не только в искусственных, но и в естественных водоемах.

За счет создания искусственных водоемов на порядок увеличены статические запасы пресных поверхностных вод большинства областей, расположенных в центре европейской части России, а субъектов Федерации, расположенных вдоль русла Волги, – на два порядка. На юге воды водохранилищ играют важную роль в водообеспечении Ростовской области, Ставропольского края, Дагестана, Адыгеи, Калмыкии и Карачаево-Черкесии. Значительными запасами озерных вод обладают Челябинская, Новосибирская, Курганская и Омская области. Только в пресных озерах каждой из областей сосредоточено более 1 км³ воды. Таким образом, для характеризующихся низкой удельной душевой водообеспеченностью регионов представляется актуальным более подробно рассмотреть их озерный фонд.

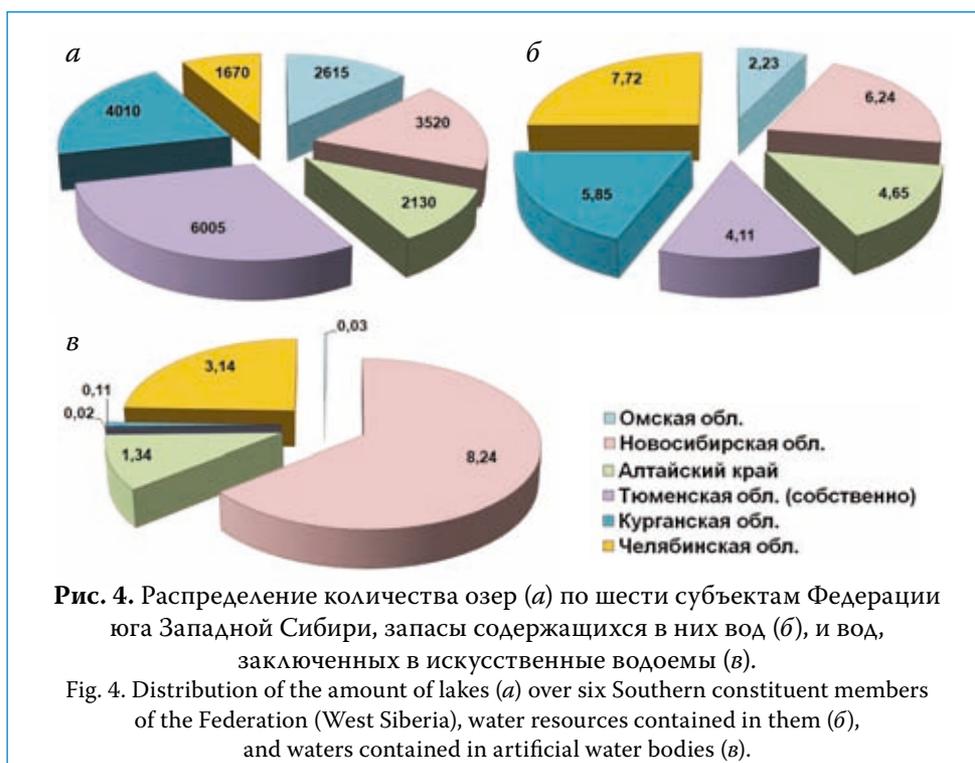


ОЗЕРНЫЙ ФОНД РЕГИОНОВ НИЗКОЙ УДЕЛЬНОЙ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ

К регионам, испытывающим значительный водный дефицит, следует отнести все субъекты Федерации с низкими значениями удельной душевой водообеспеченности, рассчитанной с учетом половины притока, а также субъекты Федерации, расположенные в зоне недостаточного увлажнения и характеризующиеся пониженными значениями удельной душевой водообеспеченности при ее расчете с учетом только вод местного формирования. В большинстве этих регионов наблюдаются и невысокие запасы озерных вод. Поскольку при дефиците водных ресурсов любые дополнительные водозапасы представляются крайне ценными, оценка запаса пресных озерных вод весьма актуальна.

Согласно проведенной в ИНОЗ РАН новой оценке озерного фонда России [2], в пределах зоны недостаточного увлажнения находится ~40 000 естественных водоемов с площадями зеркала, превышающими 1 га. Наибольшей озерностью (средняя ~2 %) характеризуется юг Западной Сибири. Суммарная площадь шести субъектов Федерации, расположенных на юге Западной Сибири, удельная душевая водообеспеченность которых ресурсами речного стока местного формирования ниже 10 тыс. м³/чел. год, составляет более 800 тыс. км². На данной площади расположено ~20 000 озер (>1 га) с суммарной площадью водной поверхности более 16,7 тыс. км². Суммарная площадь водной поверхности искусственных водоемов ~2 тыс. км². Большинство озер характеризуется небольшими размерами, есть и крупные. Согласно проведенной оценке, запасы озерной воды в средний по водности год составляют здесь 30,8 км³, из которых более половины – пресные. При этом в 23 озерах с площадями зеркала более 50 км² сосредоточено около 10,2 км³ воды. Около 13 км³ воды заключено в искусственные водоемы. Численность озер по шести субъектам Федерации юга Западной Сибири, характеризующимся пониженной удельной водообеспеченностью, а также распределение запасов вод, содержащихся в озерах и водохранилищах, представлены на рис. 4. Характерной чертой юга Западной Сибири является значительное изменение уровня озер и, соответственно, площадей водной поверхности, а также объемов содержащихся в них вод как в течение года, так и в многолетнем разрезе.

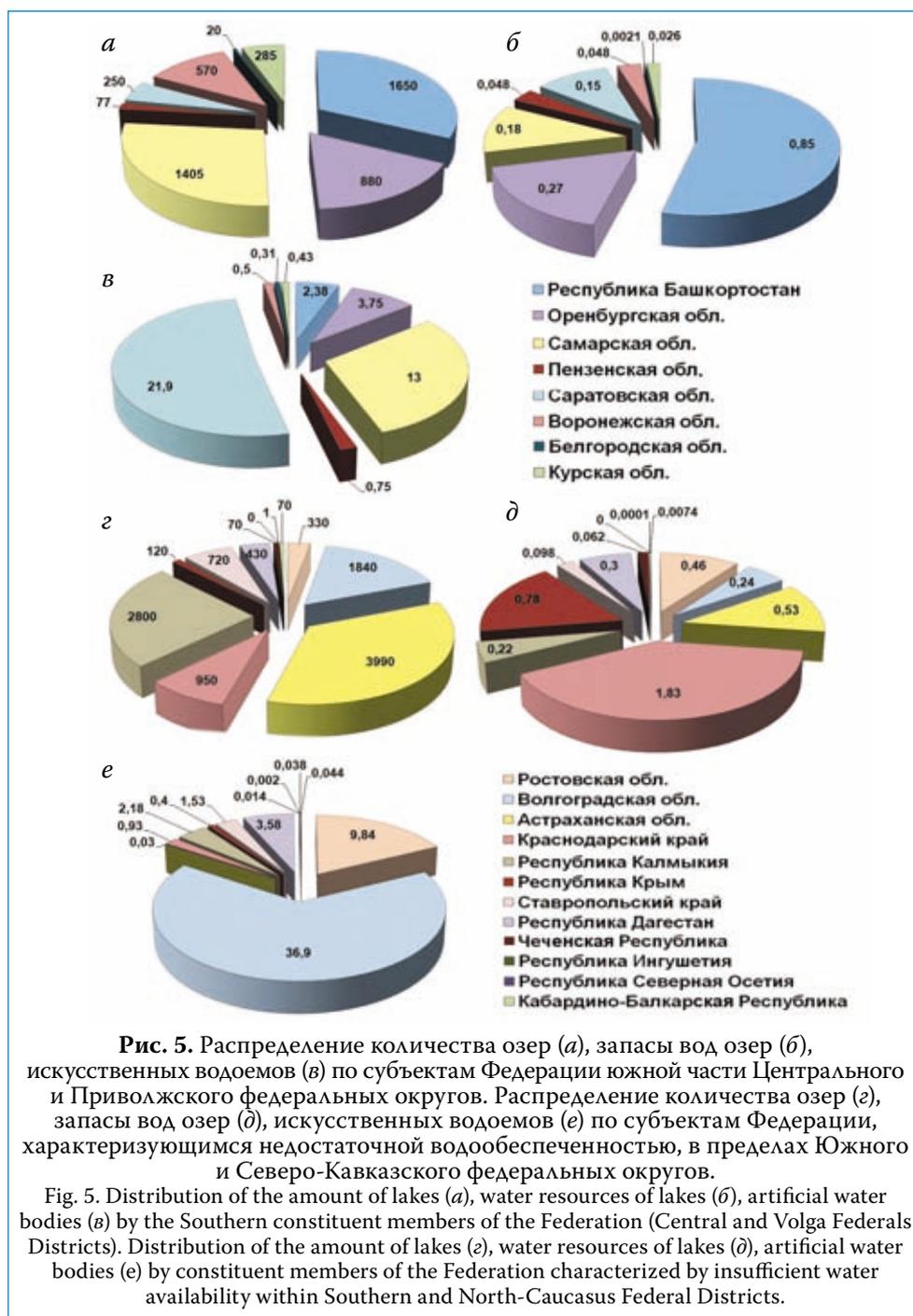
На юге европейской части России площадь территорий, находящихся в пределах зоны недостаточного увлажнения, превышает 1,1 млн км². Количество расположенных здесь озер (площадью >1 га) составляет более 16 000, средняя естественная озерность (с учетом лагун и лиманов) ~0,5 %, средняя общая озерность (с учетом площади водохранилищ) ~1,5 %. Наряду с небольшими водоемами встречаются и достаточно крупные, однако и те, и другие отличаются крайне малыми глубинами. Значительная часть водоемов являются солоноватыми или солеными, в т. ч. наиболее крупные.



Почти все пресноводные озера характеризуются небольшими размерами. На общем фоне резко вычленяется подрайон дельты Волги с избытком многочисленных стариц, култуков и ильменей, часть из которых превышает 5 км². Большинство водоемов дельты Волги заполнено пресными водами, лишь наиболее удаленные, утратившие питание волжскими водами, характеризуются повышенной минерализацией.

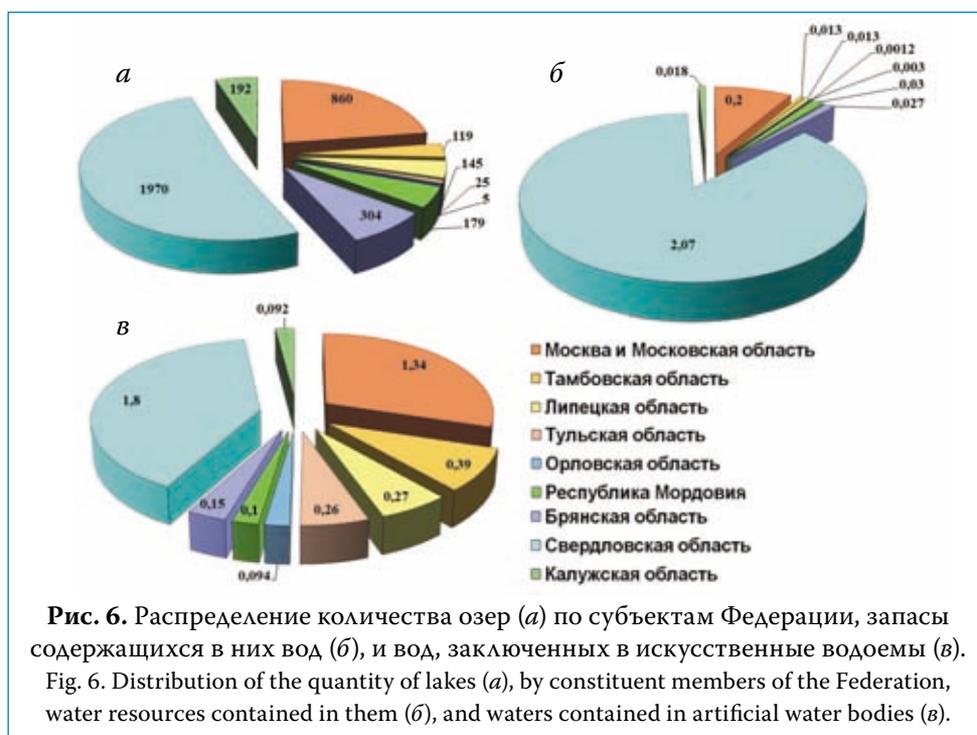
В озерах юга европейской части России сосредоточено ~6,1 км³ воды, из которых лишь ~2,2 км³ – пресные. Около 100 км³ пресной воды сохраняется в искусственных водоемах. Суммарная площадь водной поверхности всех озер в средний по водности год составляет 5,5 тыс. км², в т. ч. около 4 тыс. км² приходится на соленые озера. Суммарная площадь зеркала водохранилищ ~13,7 тыс. км². Численность озер по субъектам Федерации юга, характеризующихся пониженной удельной душевой водообеспеченностью, а также распределение запасов вод, содержащихся в озерах и водохранилищах представлены на рис. 5.

Среди регионов, расположенных в зоне достаточного увлажнения, значения удельной душевой водообеспеченности, рассчитанной с учетом половины притока, не превышают 5 тыс. м³/чел. год в пяти субъектах Федерации.



В двух субъектах с населением около 20 млн чел. водообеспеченность относится к категории «катастрофически низкая», в трех с населением чуть менее 4 млн чел. – «низкая». Еще в пяти субъектах Федерации с населением более 8 млн чел. удельная водообеспеченность не превышает 10 тыс. м³/чел. год.

В озерах зоны достаточного увлажнения, характеризующихся пониженной удельной душевой водообеспеченностью (<10 тыс. м³/чел. год), суммарно содержится ~2,4 км³ воды. Около 4,5 км³ пресной воды сохраняется в искусственных водоемах. Суммарная площадь водной поверхности всех озер составляет ~1 тыс. км², водохранилищ ~2,5 тыс. км². Численность озер по субъектам Федерации, а также распределение запасов вод, содержащихся в озерах и водохранилищах, представлены на рис. 6.



Говоря о значимых ресурсах вод, содержащихся в озерах, необходимо также иметь ввиду, что в последние полстолетия в центре и на юге европейской части России наблюдается постепенное сокращение фонда естественных водоемов. Активизация антропогенного воздействия вместе с масштабным гидростроительством, изменившим систему дренажа, практически полное исчезновение естественных ландшафтов, разбор вод на различные нужды привели к сокращению площадей озер и исчезновению некоторых малых водоемов, которое для ряда речных бассейнов составило до 20 % и более [12].

В сравнении с искусственными водоемами, озерные экосистемы схожего размера обычно характеризуются большим видовым разнообразием и большей степенью устойчивости к загрязнениям, искусственные водоемы чаще всего не могут заменить естественные в качестве среды обитания редких видов. В связи с этим, использование озер как источника дополнительных водных ресурсов в регионах водного дефицита должно быть тщательно обосновано.

ВЫВОДЫ

В настоящее время в регионах с низкой и средней удельной душевой водообеспеченностью, рассчитанной на основе данных о среднегодовом стоке, проживает почти 60 % населения, в т. ч. около 20 % – в регионах, где водообеспеченность характеризуется как «очень низкая» и «катастрофически низкая». Большая часть регионов, в той или иной мере испытывающих водный дефицит, относится к зоне недостаточного увлажнения. Однако и ряд регионов зоны достаточного увлажнения в силу высокой населенности также характеризуется низкими значениями удельной водообеспеченности.

Большинство регионов с низкой и средней удельной душевой водообеспеченностью обладают значительными запасами воды, содержащейся в искусственных водоемах. Кроме того, ряд регионов имеет и большие запасы озерных вод. Согласно проведенной оценке, в озерах, расположенных в зонах недостаточного увлажнения, характеризующихся пониженной удельной водообеспеченностью, суммарно содержится ~37 км³ воды, в т. ч. ~20 км³ – пресной, в водохранилищах – еще 113 км³. В зоне достаточного увлажнения в озерах регионов с пониженной удельной водообеспеченностью содержится ~2,4 км³ пресной воды, в водохранилищах ~4,5 км³.

Благодаря значимым характеристикам озерного фонда, озерные воды могут играть важную роль в водоснабжении населения и экономики регионов водного дефицита. Однако в силу замедленной возобновляемости их использование требует тщательного обоснования, т. к. нерациональное использование озерных вод быстро приводит к неблагоприятным экологическим последствиям и снижению фонда естественных водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
2. *Измайлова А.В.* Водные ресурсы озер Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 5–14.
3. World Water Resources at the Beginning of 21st Century / Ed. Shiklomanov I.A., Rodda J.C. Cambridge University Press, 2003. 450 p.
4. *Шикломанов И.А., Маркова О.Л.* Проблемы водных ресурсов и перебросок стока в мире. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 196 с.

5. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the World: Assessment of water resources and water availability in the World /sci. lead and editor I.A. Shiklomanov. World Meteorological Organization, Stockholm. 1997. 88 p.
6. *Shiklomanov I.A., Balonishnikjva J.A.* World water use and water availability trends, scenarios, consequences. IAHS Publ. №281. 2003. P. 358–364.
7. *Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С.* Сравнение состояния водных ресурсов и антропогенного воздействия на них в Европейской и Азиатской частях России // Известия Русского географического общества. 2017. Т. 149. № 4. С. 1–12.
8. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. Материалы Федеральной службы государственной статистики на 1 января 2018 года. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce (дата обращения 12.08.2018).
9. Атлас мирового водного баланса / Прил. к моногр. «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли». М.-Л.: Гидрометеиздат, 1974. 65 карт.
10. *Иванов Н.Н.* Ландшафтно-климатические зоны Земного шара // Зап. ВГО, нов. сер. 1948. Вып.1. 224 с.
11. Ладога / под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История. 2013. 468 с.
12. *Измайлова А.В.* Водные ресурсы водоемов Российской Федерации и тенденции их изменения, обусловленные антропогенными факторами / Вопросы географии. 2018. Вып. 145. Гидрологические изменения. С. 347–359.

Для цитирования: Измайлова А.В., Удельная водообеспеченность и озерный фонд регионов водного дефицита // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 6-24.

Сведения об авторе:

Измайлова Анна Владиленовна, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Институт озераведения Российской академии наук» (ИНОЗ РАН), Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9; e-mail: ianna64@mail.ru

WATER AVAILABILITY AND LAKE FUND OF WATER DEFICIT REGIONS

Anna V. Izmailova

Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract: Despite the significant amount of water resources, Russia is characterized by their uneven distribution over the territory. As a result, a number of regions are characterized by low water availability, due to both physiographic factors and the specifics of the settlement and economic development of the country. This article presents the specific water availability evaluation data calculated for all constituent entities of the Russian Federation, taking into account the resources of both river and lake waters. The calculation of water availability due to lake waters is based on new assessment data on lakes water resources, carried out at the Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences. On the basis of the obtained values of water availability, the regions of the greatest water deficit are outlined and their lake fund is estimated.

At present almost 60% of the population of Russia lives in regions with low and medium water availability, including about 20% in regions where water availability is characterized as

“very low” and “catastrophically low”. Most of these regions belong to the zone of insufficient moisture, however, a number of regions of the zone of sufficient moisture also experience excessive pressure on water resources due to high population. Most of the regions with low and medium water availability have significant reserves of water contained in artificial reservoirs, the total volume of which exceeds 100 km³. In addition, a number of regions also have significant reserves of lake water, including fresh water. Lakes located in the zone of insufficient moisture and characterized by low water availability contain a total of ~ 37 km³ of water, including ~ 20 km³ of fresh water. At the zone of sufficient moisture in the lakes of regions with low water availability ~ 2.4 km³ of fresh water is contained.

Key words: water resources, water availability, lake fund, zone of insufficient moisture, regions of water deficiency.

About the authors:

Izmailova Anna V., Leading Researcher of the Institute of Limnology, RAS, 196105, St.-Petersburg, Sevastianova, 9; e-mail: ianna64@mail.ru

For citation: *Izmailova A.V. Water Availability and Lake Fund of Water Deficit Regions // Water Sector of Russia. 2019. No. 5. P. 6-24.*

REFERENCES

1. Vodnye resursy Rossii i ih ispolzovanie [Water resources of Russia and its use] / pod red. I.A. Shiklomanova. SPb.: GGI, 2008. 600 p.
2. *Izmailova A.V. Vodnye resursy ozer Rossiiskoi Federatsii* [Water resources of the lakes of Russia] // *Geografiia i prirodnye resursy*. 2016. № 4. P. 5–14.
3. *World Water Resources at the Beginning of 21st Century* / Ed. Shiklomanov I.A., Rodda J.C. Cambridge University Press, 2003. 450 p.
4. *Shiklomanov, I.A., Markova O.L. Problemy vodnykh resursov i perebrosok stoka v mire*. [Water problems and the transfer of runoff in the world] L.: Gidrometeoizdat, 1987. 196 p.
5. *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the World: Assessment of water resources and water availability in the World* / sci. lead and editor I.A. Shiklomanov. World Meteorological Organization, Stockholm. 1997. 88 p.
6. *Shiklomanov I.A., Balonishnikjva J.A. World water use and water availability trends, scenarios, consequences*. IAHS Publ. № 281. 2003. P. 358–364.
7. *Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Zaitseva I.S. Svravnenie sostoianii vodnykh resursov i antropogenno go vozdeistvii na nikh v Evropeiskoi i Aziatskoi chastiakh Rossii* [Comparison of the state of water resources and anthropogenic impact on them in the European and Asian parts of Russia] // *Izvestiia Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 2017. T. 149. № 4. P. 1–12.
8. Chislennost' naseleniia Rossiiskoi Federatsii po munitsipal'nym obrazovaniiam. Materialy Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki na 1 ianvaria 2018 goda. Web: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce.
9. *Atlas mirovogo vodnogo balansa* [Atlas of the World Water Balance] / Prilozhenie k monografii «Mirovoi vodnyi balans i vodnye resursy Zemli». M.–L.: Gidrometeoizdat, 1974. 65 kart.
10. *Ivanov N.N. Landshaftno-klimaticheskie zony Zemnogo shara* [Landscape-climatic zones of the Earth] // *Zap. VGO, nov. ser.* 1948. Vyp.1. 224 s.
11. *Ladoga* [Ladoga] / pod red. V.A. Rumiantseva, S.A. Kondrat'eva. S-Pb.: Nestor-Istoriia. 2013. 468 p.
12. *Izmailova A.V. Vodnye resursy vodoemov Rossiiskoi Federatsii i tendentsii ikh izmeneniia, obuslovlennye antropogennymi faktorami* [Water resources of water bodies of the Russian Federation and theirs tendencies due to anthropogenic factors] / *Voprosy geografii*. 2018. Vyp. 145. Gidrologicheskie izmeneniia. P. 347–359.

ВОДНЫЙ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕКИ МАЙМА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)*

В.В. Зуев, Е.М. Короткова, В.А. Уйманова

E-mail: vzuev@list.ru

*ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук», г. Томск, Россия*

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены изменения годового и сезонного стока, ледового режима р. Майма в связи с изменением климатических характеристик на водосборе в период 1940–2016 гг. В многолетнем ходе годовой и сезонной температуры воздуха выявлены значимые положительные тренды, особенно проявляющиеся в зимние месяцы; в ходе атмосферных осадков значимое снижение отмечается в холодный период года. Анализ гидрологических характеристик, выполненный за периоды 1940–1975 гг. (фоновый) и 1976–2016 гг. (период современного изменения климата), показал, что на фоне наблюдающихся климатических изменений годовой сток р. Майма проявляет тенденцию к снижению. Снижение годового стока является результатом снижения стока половодья. Так, при наблюдающемся потеплении зим и уменьшении количества твердых осадков средние максимальные расходы воды самого многоводного месяца (апреля) в период 1976–2016 гг. снизились на 35 % относительно фонового уровня 1940–1976 гг. Зимнее потепление способствует меньшему промерзанию почвы и пополнению запасов грунтовых вод в периоды зимних оттепелей и интенсивного снеготаяния, что приводит к увеличению стока в последние месяцы зимней и первые месяцы летне-осенней межени. Потепление зим проявилось и в ледовом режиме р. Майма: с начала периода современного изменения климата (1976 г.) наблюдается сокращение продолжительности ледостава, смещение дат замерзания реки на более поздние, а дат вскрытия – на более ранние.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: р. Майма, Горный Алтай, водный режим, ледовый режим, сезонный сток, изменения климата.

Современные изменения климата выражаются в росте глобальной температуры воздуха и региональном перераспределении количества осадков. Являясь продуктом климата, реки отвечают на изменение метеорологических параметров трансформациями гидрологического режима. Так,

* Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы № АААА-А17-117013050038-7

© Зуев В.В., Короткова Е.М., Уйманова В.А., 2019

под воздействием климатических изменений в последние десятилетия в большинстве регионов России на реках отмечаются изменения сезонного и годового стока, увеличение повторяемости чрезвычайных ситуаций гидрологического характера, в числе которых экстремальные летние маловодья, катастрофические паводки и наводнения в период весеннего половодья [1, 2].

К концу 1990-х годов систематическое и неравномерное повышение температуры воздуха во всех регионах Сибири отличалось более высоким трендом, чем в целом по планете, а для территории Горного Алтая наибольшее потепление наблюдалось в зимний и весенний сезоны [3, 4]. С начала 2000-х годов отмечается замедление роста среднегодовой температуры воздуха, в Сибири этот процесс происходит за счет образования очагов похолодания в зимний период [3]. С 2010 г. область зимнего похолодания проявляется на юге Западной Сибири, охватывая Алтайский регион [1].

Реки Горного Алтая играют ключевую роль в формировании поверхностного стока в бассейне Верхней Оби, а на территории Республики Алтай ресурсы речных вод используются для обеспечения водой предприятий и населения, орошения, рекреации, рыболовства и гидроэнергетики [5]. Однако именно территория Алтайских гор относится к районам наибольшего увеличения повторяемости и продолжительности опасных наводнений и паводков вследствие наблюдаемых климатических изменений [6]. В таких условиях исследование закономерностей влияния климатических изменений на гидрологический режим рек Горного Алтая заслуживает особого внимания. В данной работе предлагается рассмотреть климатически обусловленные изменения водного и ледового режима р. Майма за период наблюдений с 1940 по 2016 гг.

Бассейн р. Майма, согласно Д.В. Золотову и др. [7], характеризуется единством условий формирования стока и является перспективным модельным объектом для ландшафтно-гидрологических исследований в условиях дефицита гидрометеорологической информации, репрезентативным для всего Алтая. Кроме того, бассейн р. Майма уже выступает модельным объектом для гидрометеорологических исследований Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН: на территории бассейна установлена система автономного мониторинга состояния окружающей среды, позволяющая оперативно и дистанционно получать гидрометеорологическую информацию [8]. Интерес к исследованию данного водного объекта обусловлен еще и тем, что р. Майма протекает через столицу Республики Алтай – г. Горно-Алтайск, которому был нанесен значительный ущерб в результате экстремального подъема уровня воды в мае 2014 г.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Майма – малая река на севере Республики Алтай, правый приток Катуня. Длина реки составляет 57 км, превышение истока над устьем – 800 м, средняя отметка водосбора – 670 м. Притоками р. Майма являются более 20 малых рек и ручьев протяженностью до 10–25 км. Бассейн реки площадью 780 км² приурочен к низко-среднегорной умеренно увлажненной и залесенной зоне Северного Алтая. По типу водного режима р. Майма относится к рекам с весенним половодьем и летними паводками. В бассейне реки имеется один гидропост в замыкающем створе с. Майма и одна длительно функционирующая метеостанция, расположенная в низовьях бассейна – с. Кызыл-Озёк.

Для анализа климатически обусловленных изменений сезонного и годового стока р. Майма были использованы данные вышеупомянутых гидропоста и метеостанции с 1940 по 2016 гг. Анализ изменчивости климатических характеристик проведен за теплый (апрель–октябрь) и холодный (ноябрь–март) периоды. Анализ изменчивости стока – за гидрологический год (апрель–март) с разделением на гидрологические сезоны: половодье (апрель–июнь), летне-осенняя межень (июль–октябрь), зимняя межень (ноябрь–март). Расчеты коэффициентов корреляции приведены для уровня значимости 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Температура воздуха и осадки

Началом периода современного изменения климата принято считать 1976 г., с которого наблюдается наиболее интенсивный рост температуры воздуха, в т. ч. в Алтайском регионе [9]. В литературных источниках отмечается, что для территории Горного Алтая в целом характерно синхронное во всех высотных поясах повышение годовой температуры воздуха, уменьшение осадков в зимний период, увеличение в летний и рост их пространственной неоднородности [10, 11]. Учащение поздних и ранних заморозков, расширение диапазона максимальных и минимальных температур, а также увеличение засушливости свидетельствуют о нарастании экстремальности климата [10].

Данные наблюдений за температурой воздуха и осадками по метеостанции в с. Кызыл-Озёк доступны с 1940 по 2016 гг. [12]. В соответствии с имеющимися данными выявлено, что средняя многолетняя температура воздуха за период наблюдений положительна и составляет +2,1°C (табл. 1). Минимальные температуры наблюдаются в январе, максимальные – в июле. За рассматриваемый период величины линейных трендов во все месяцы являются положительными и практически во все месяцы значимыми. Максимальные скорости повышения температуры (коэффициенты линейного тренда до 0,66 °C/10 лет) характерны для холодного сезона за исключением

января, а также для апреля. Наибольшее количество осадков регистрируется с июня по август, наименьшее – в январе и феврале (табл. 1). Значимых трендов в распределении осадков в отдельные месяцы за период наблюдений 1940–2016 гг. не отмечено. При рассмотрении сумм осадков за теплый (апрель–октябрь) и холодный (ноябрь–март) периоды выявлено, что достоверное снижение количества осадков наблюдается только в холодный период, коэффициент линейного тренда составляет 6,9 мм/10 лет. На протяжении 77 лет наблюдений динамика годового количества осадков определялась преимущественно осадками теплого периода (коэффициент корреляции 0,9).

Таблица 1. Среднемноголетние значения температуры воздуха и количества осадков

Table 1. Average many-year values of air temperature and precipitation amount

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Температура, °С	-14,7	-13,7	-6,8	3,5	11,5	16,6	18,6	16,2	10,3	3,2	-6,5	-12,4	2,1
Коэффициент линейного тренда, °С/10 лет	0,18	0,57	0,66	0,48	0,14	0,10	0,12	0,17	0,14	0,18	0,52	0,45	0,31
Осадки, мм	24	24	32	57	80	99	111	100	73	65	51	38	755
Коэффициент линейного тренда, мм/10 лет	-0,68	-0,21	-1,21	1,6	2,15	-3,14	0,47	-1,34	-0,11	-1,78	-2,37	-2,22	-0,74

Примечание: коэффициенты линейных трендов, достоверных при уровне значимости 0,05, выделены жирным шрифтом.

Для анализа сезонной и годовой динамики температуры воздуха и осадков рассмотрены их аномалии относительно климатической нормы, рекомендованной Всемирной метеорологической организацией (ВМО), 1961–1990 гг. Очевидно, что для рядов температуры воздуха устойчивый переход 11-летнего скользящего среднего через ноль наблюдается с 1976 г. (рис. 1), что согласуется с началом периода современного изменения климата. В период с 1976 по 2016 гг. отрицательные среднегодовые температурные аномалии наблюдаются в середине 1980-х и конце 2000-х/начале 2010-х годов, они обусловлены падением температур как теплого, так и холодного периодов. Суммарные осадки, как за год, так и по сезонам, в среднем ниже климатической нормы 1961–1990 гг.

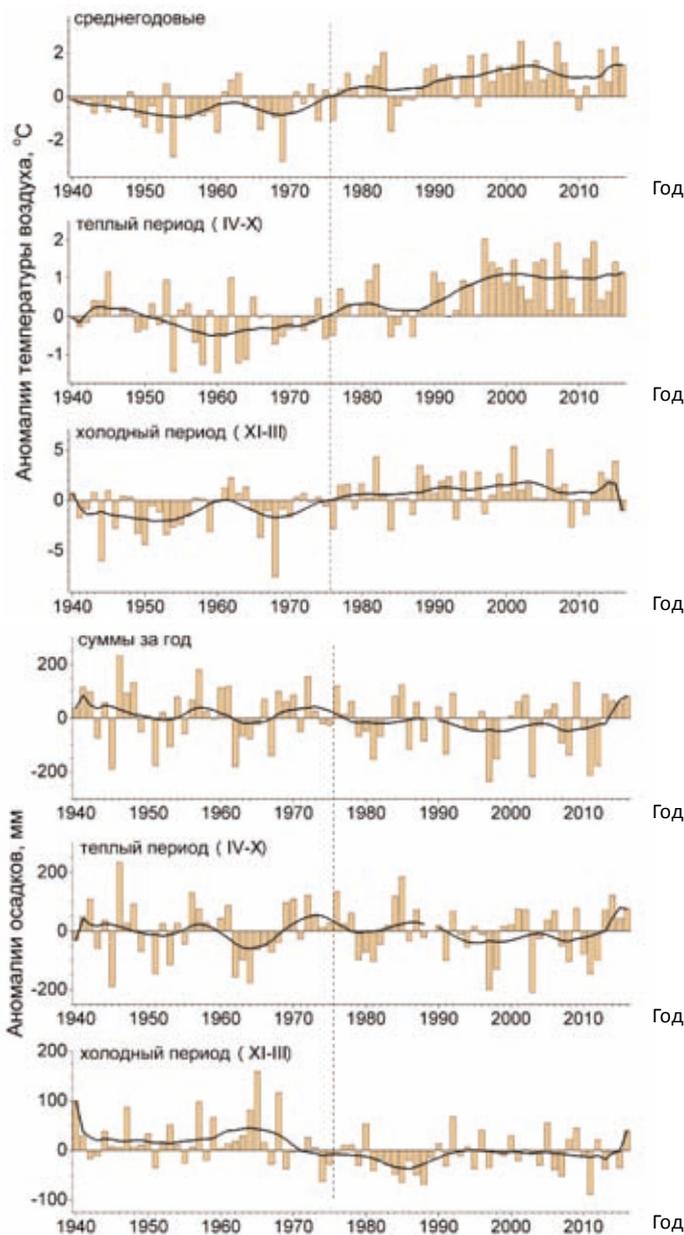


Рис. 1. Годовые и сезонные аномалии средней температуры и суммарных осадков относительно климатической нормы 1961–1990 гг., сглаженные 11-летним скользящим средним.
Fig. 1. Annual and seasonal anomalies of the average temperature and the total precipitates in respect of climate norm of 1961-1990, smoothed by 11-year moving average value.

Повышение температуры воздуха в холодный период может быть результатом не только общего потепления, но и наблюдающегося на юге Западной Сибири увеличения числа дней с оттепелями [13]. Наряду с потеплением холодного периода для территории Алтайских гор характерна тенденция к уменьшению продолжительности устойчивого морозного периода [13], что может отражаться на датах вскрытия и замерзания рек. Климатическая норма 1961–1990 гг. захватывает как часть фонового периода 1940–1975 гг., так и часть периода современного изменения климата с 1976 г., поэтому тенденции изменения метеопараметров относительно климатической нормы могут быть менее выраженными, чем относительно фонового периода. Например, повышение температуры воздуха в период 1976–2016 гг. относительно климатической нормы в среднем за год составляет 0,8 °С; в теплый период – 0,7 °С, в холодный – 1 °С, относительно фонового периода – 1,4 °С, 0,9 °С и 2,2 °С соответственно. Суммы осадков относительно климатической нормы за год снизились на 19,1 мм, в теплый период – на 4,9 мм, в холодный – на 10,9 мм, относительно фонового периода – на 37,2 мм, 6,2 мм и 32,2 мм соответственно.

Многолетние изменения годового и сезонного стока

На фоне повышения температуры воздуха и снижения количества осадков наблюдаются изменения годового (рис. 2а) и сезонного стока р. Майма (рис. 2б, рис. 3а, 3б). Так, динамика изменений среднегодового расхода воды за весь период наблюдений, хотя и не имеет значимого тренда, характеризуется тенденцией к уменьшению. Значимая корреляционная связь среднегодового расхода воды со среднегодовой температурой воздуха отмечается с 1976 г. ($r = -0,33$), а с температурой теплого периода с 1976 г. связь усиливается ($r = -0,42$) (табл. 2). Коэффициенты корреляции среднегодового расхода воды, как с суммарными осадками ($r = 0,62/0,6$; 1940–1975/1976–2016 гг.), так и с осадками теплого периода ($r = 0,71/0,68$) до и после 1976 г. близки по величине. С температурой воздуха и с суммарными осадками холодного периода значимой корреляционной связи не наблюдается до и после наступления периода современного изменения климата.

Значимый отрицательный тренд обнаруживается в динамике средних расходов воды в половодье (рис. 2б). Подавляющая часть объема половодья р. Майма формируется за счет таяния снега на водосборе [14]. Снижение количества осадков холодного периода, наблюдаемое с 1976 г., приводит к меньшему стоку талых вод в реку, однако на объеме половодья может сказываться и температурный фактор. Повышение температуры воздуха в холодный период года способствует уменьшению глубины промерзания почвы и ранней водоотдаче из снежного покрова. Это приводит к пополнению

Таблица 2. Коэффициенты корреляции средних расходов воды и метеопараметров, 1940–1975/1976–2016 гг.

Table 2. Correlation coefficients of average water flow rates and meteoroparameters, 1940–1975/1976–2016

Средний расход воды, м ³ /с	N	Средняя годовая температура, °С	Сумма осадков за год, мм	Температура холодного периода, °С	Осадки холодного периода, мм	Температура теплого периода, °С	Осадки теплого периода, мм
Год	25/40	-0,22/ -0,33	0,62/0,6	-0,15/-0,08	0,25/0,25	-0,33/-0,42	0,71/0,68
Половодье	30/40	–	–	-0,22/0,05	0,41/0,46	–	–
Летне-осенняя межень	30/40	–	–	–	–	-0,3/-0,53	0,9/0,74
Зимняя межень	25/40	–	–	0,07/0,26	0,15/0,37	–	–

Примечание: значения коэффициентов, достоверных при уровне значимости 0,05, выделены жирным шрифтом, N – количество лет, взятое для расчета коэффициентов корреляции, «–» – коэффициенты корреляции не рассчитывались.

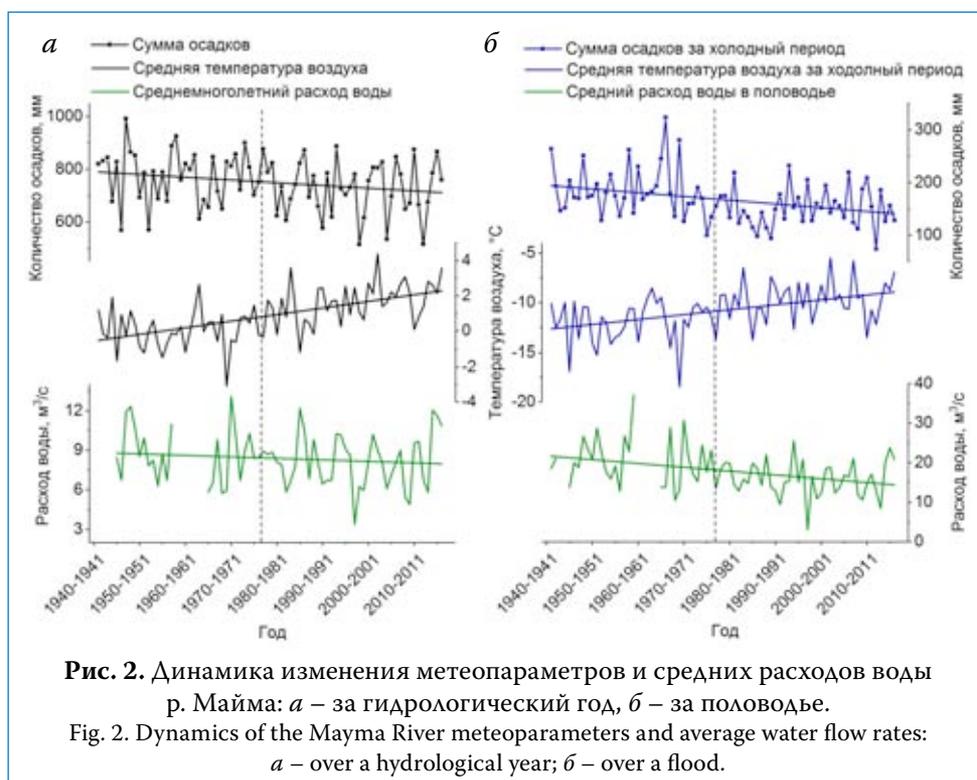


Рис. 2. Динамика изменения метеопараметров и средних расходов воды р. Майма: а – за гидрологический год, б – за половодье.

Fig. 2. Dynamics of the Mayma River meteoroparameters and average water flow rates: а – over a hydrological year; б – over a flood.

запасов грунтовых вод, расходующихся на формирование зимнего стока, в результате чего к началу весеннего снеготаяния влагозапасы снежного покрова уменьшаются. Таким образом, потепление зим, наряду с уменьшением количества осадков холодного периода, создает условия для снижения стока половодья. Несмотря на этот факт, значимой корреляционной связи между средним расходом воды в половодье и температурой воздуха холодного периода не обнаружено, а коэффициенты корреляции расхода воды с зимними осадками в 1940–1975 и 1976–2016 гг. близки по величине: $r = 0,41$ и $0,46$ соответственно (табл. 2).

Изменения стока летне-осенней межени за весь период наблюдений характеризуются близким к нулю трендом и высокой корреляционной связью с количеством осадков теплого периода ($r = 0,9/0,74$) (рис. 3а, табл. 2). При этом важно отметить, что при отсутствии значимых изменений стока с 1976 г. вклад температуры воздуха теплого периода в изменение среднего расхода воды летне-осенней межени возрастает, а вклад количества осадков теплого периода снижается.

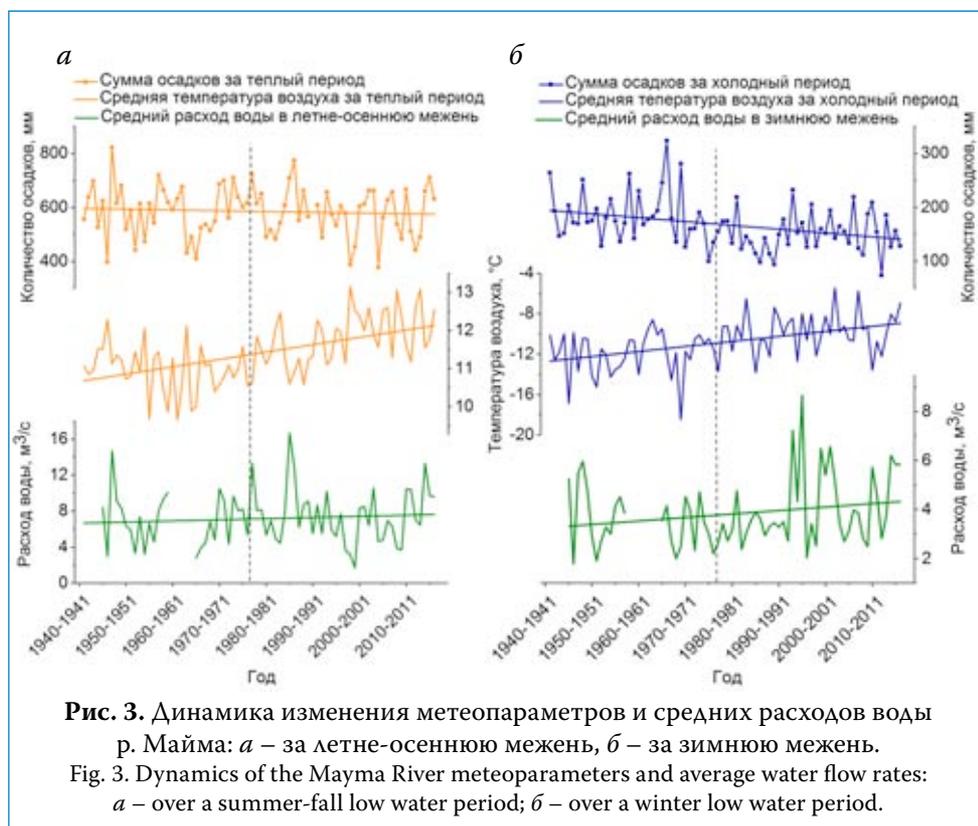


Рис. 3. Динамика изменения метеопараметров и средних расходов воды р. Майма: *а* – за летне-осеннюю межень, *б* – за зимнюю межень.
Fig. 3. Dynamics of the Mayma River meteorological parameters and average water flow rates: *а* – over a summer-fall low water period; *б* – over a winter low water period.

С начала 1990-х годов наблюдается увеличение стока зимней межени (рис. 3б). Слабая, но значимая корреляционная связь ($r = 0,37$) между зимним расходом воды и осадками холодного периода проявляется в 1976–2016 гг., это подтверждает описанный выше механизм увеличения зимнего стока в результате потепления зим. Тем не менее, с температурой холодного периода значимой связи не обнаруживается, хотя увеличение коэффициента корреляции в 1976–2016 гг. по сравнению с 1940–1975 гг. свидетельствует о возрастании вклада температурного фактора в формирование стока зимней межени ($r = 0,07/0,26$).

Для оценки сезонных изменений стока по данным о ежедневных расходах воды за периоды 1940–1975 и 1976–2016 гг. были определены среднемесячные и среднесезонные расходы воды, их доли в процентах от среднегодового, а также средние максимальные расходы воды в половодье и средние минимальные в летне-осеннюю и зимнюю межень (табл. 3). Расходы воды во все месяцы половодья в период современного изменения климата снижаются, особенно заметно снижение проявляется в апреле. Апрель для р. Майма является самым многоводным, в большинстве случаев пик половодья приходится именно на этот месяц. Средние максимальные расходы воды апреля в 1976–2016 гг. по сравнению с 1940–1975 гг. снизились с 91,2 до 59,3 м³/с, т. е. на 35 %, объем половодья в среднем уменьшился на 9 %.

Учитывая слабое изменение годового стока и уменьшение стока половодья, можно сделать вывод о перераспределении стока внутри года по сезонам. Так, доля стока летне-осенней и зимней межени в период 1976–2016 гг. увеличивается на 5,4 и 3,7 % соответственно (табл. 3). Наибольшее увеличение стока летне-осенней межени наблюдается в июле и августе, однако в эти месяцы положительных тенденций атмосферных осадков не прослеживается, что свидетельствует об увеличении доли грунтового питания в формировании стока. Месяцем с самой низкой водностью является февраль, тем не менее, именно в феврале проявляется наибольшее в период зимней межени увеличение стока, связанное, по-видимому, с повышением числа зимних оттепелей и высоким положительным трендом температуры воздуха в феврале (табл. 1).

Так, тенденция к снижению годового стока в период современного изменения климата формируется в результате снижения водности половодья, однако, наряду с этим, наблюдается перераспределение стока по сезонам года – при снижении водности половодья увеличивается водность летне-осенней и зимней межени.

Таблица 3. Изменения внутригодового распределения стока и средних максимальных расходов воды р. Майма – с. Майма в периоды 1940–1975 и 1976–2016 гг.

Table 3. Changes of the Mayma River within-year runoff and average maximal water flow rates distribution during the periods of 1940–1975 and 1976–2016.

Период, год	Половодье			Летне-осенняя межень				Зимняя межень				
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март
Средний расход воды, м ³ /с												
1940–1975	32,08	19,62	9,80	7,31	6,53	6,76	6,57	6,06	3,49	2,44	2,06	4,04
	20,5			6,8				3,6				
1976–2016	23,94	14,11	9,53	8,17	8,09	6,67	7,27	6,15	3,68	3,00	2,88	4,45
	15,9			7,6				4,0				
Средний расход воды, %												
1940–1975	30,0	18,4	9,18	6,85	6,12	6,34	6,15	5,68	3,27	2,28	1,93	3,78
	57,6			25,4				16,9				
1976–2016	24,4	14,4	9,73	8,34	8,26	6,81	7,43	6,28	3,76	3,06	2,95	4,55
	48,6			30,8				20,6				
Средние максимальные расходы воды в половодье, м ³ /с												
1940–1975	91,2	51,0	25,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	56,0			–				–				
1976–2016	59,2	37,2	22,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	39,7			–				–				

Ледовый режим

При потеплении климата ледовый режим является наиболее чувствительным элементом гидрологического режима водных объектов. Даты установления и разрушения ледового покрова, а также продолжительность ледостава зависят от температуры воздуха холодного и переходных периодов, продолжительности устойчивого морозного периода и теплозапаза водной массы. На р. Майма с зимы 1975–1976 гг. наблюдается значительное уменьшение продолжительности ледостава (рис. 4а) и рост количества дней с ледовыми явлениями: чаще отмечаются шугоходы различной интенсивности, сало, забереги и полынья; участились случаи неполного ледостава. В 1940–1975 гг. продолжительность ледостава изменялась в диапазоне от 117 до 164 дней и в среднем составляла 140 дней при средней температуре холодного периода –12 °С. По данным гидрологических ежегодников в этот

период отмечалось частичное промерзание реки и интенсивное шугообразование (1962–1963, 1965, 1967–1969, 1974–1975 гг.). В 1976–2015 гг. средняя продолжительность ледостава уменьшилась почти в 2,5 раза и составляла 58 дней. При этом в некоторые годы ледостав отсутствовал полностью либо имел продолжительность не более двух недель (1996–1997, 2003–2004, 2005–2007 гг.).

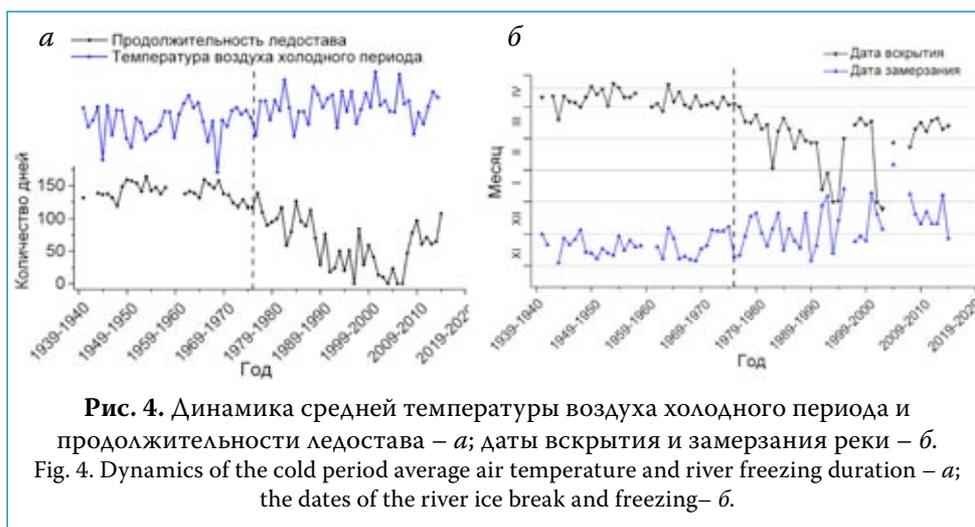


Рис. 4. Динамика средней температуры воздуха холодного периода и продолжительности ледостава – а; даты вскрытия и замерзания реки – б.
 Fig. 4. Dynamics of the cold period average air temperature and river freezing duration – а; the dates of the river ice break and freezing – б.

Продолжительность ледостава в 1976–2015 гг. сокращалась как за счет более поздних дат замерзания, так и за счет более ранних дат вскрытия (рис. 4б). Смещению дат вскрытия и замерзания способствовали высокие положительные тренды температуры воздуха в ноябре-декабре и февралемарте (табл. 1). С 1976 г. значительно возросла изменчивость дат вскрытия и замерзания реки, что отразилось и на изменчивости продолжительности ледостава. Так, среднеквадратическое отклонение продолжительности ледостава в 1940–1975 гг. составило 11 дней, дат вскрытия 8 дней, замерзания – 13 дней, в 1976–2015 гг. – 19, 32 и 39 дней соответственно, т. е. изменчивость возросла в 2–3 раза. В период до 1976 г. ледостав на р. Майма устанавливался в ноябре или в первой декаде декабря – средняя дата замерзания 19 ноября. В период 1976–2015 гг. образование ледостава в среднем стало наблюдаться позже – средняя дата замерзания 10 декабря; в отдельные годы замерзание приходилось на первую декаду января, а в 2005 г. река покрылась льдом только 3 февраля. Вскрытие р. Майма до 1976 г. фиксировалось преимущественно в апреле и последней декаде марта – средняя дата вскрытия 6 апреля. После 1976 г. даты вскрытия сместились на февраль-март, а в отдельные годы – на январь и даже декабрь, средняя дата вскрытия

тия – 25 февраля. В условиях такого значительного разброса дат вскрытия и замерзания в последние 40 лет определение четких границ переходных сезонов не представляется возможным. Тем не менее, очевидна зависимость продолжительности ледостава от средней температуры холодного периода: коэффициент корреляции параметров за весь период наблюдений равен 0,61, что соответствует средней связи. Невысокую величину коэффициента корреляции можно объяснить ростом вклада в процесс замерзания реки фактора теплозапасов водной массы, увеличивающихся вследствие роста температур воздуха в период летне-осенней межени и поступления талой снеговой воды в реку в периоды зимних оттепелей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований установлено, что ключевым фактором изменений водного режима р. Майма являются климатические изменения, наблюдаемые в холодный период года. Повышение температуры воздуха в зимние месяцы способствует уменьшению глубины промерзания почвы и пополнению запасов грунтовых вод в периоды оттепелей и снеготаяния. В результате за счет увеличения доли грунтового питания сток зимней межени возрастает, а интенсивность половодья снижается.

Наблюдаемое с 1976 г. снижение количества осадков холодного периода и расходование их на сток в период зимней межени выражается в меньшем объеме половодья. Так, средние максимальные расходы воды апреля в 1976–2016 гг. по сравнению с 1940–1975 гг. снизились на 35 %, объем половодья в среднем уменьшился на 9 %. При отсутствии значимого тренда стока в летне-осеннюю межень в 1940–2016 гг. в его внутригодовом распределении выявлено увеличение водности этого сезона в 1976–2016 гг. на 5,4 %, главным образом, в результате повышения водности июля и августа. Отсутствие положительных трендов атмосферных осадков в июле и августе свидетельствует об увеличении грунтового питания. Потепление зим проявилось и в ледовом режиме р. Майма: с начала периода современного изменения климата (1976 г.) наблюдается сокращение продолжительности ледостава, смещение дат замерзания реки – на более поздние, а дат вскрытия – на более ранние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2014. 1009 с.
2. Экстремальные гидрологические ситуации / отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанов, И.С. Зайцева. М.: ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. 464 с.
3. *Ипполитов И.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В., Морару Е.И.* Изменчивость климата азиатской территории России в 1975–2012 годах. // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 13–21.

4. Сухова М.Г., Модина Т.Д. Современные изменения температурного режима воздуха и режима увлажнения на Алтае как проявление регионального изменения климата // Мир науки, культуры, образования. 2007. № 2. С. 14–18.
5. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2016 году. Горно-Алтайск. 2017. Режим доступа: http://www.altai-republic.ru/society/doklad_nature_2016.pdf (дата обращения 12.2018).
6. Семенов В.А. Климатически обусловленные изменения опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках России // Метеорология и гидрология. 2011. № 2. С. 74–83.
7. Золотов Д.В., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Ландшафтные факторы формирования стока в бассейне р. Майма (Северный и Северо-Восточный Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 2. С. 360–369.
8. Зуев В.В., Кураков С.А., Уйманова В.А. Комплексный мониторинг погодноклиматического и гидрологического режима бассейна р. Майма (Горный Алтай): первые результаты // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 70–75.
9. Харламова Н.Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Барнаул: Изд-во АлтГУ. 2013. 156 с.
10. География Сибири в начале XXI века: в 6 т. Т. 5. Западная Сибирь. // отв. ред. Ю.И. Винокуров, Б.А. Красноярова. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2016 г. 447 с.
11. Шмакин А.Б., Харламова Н.Ф., Яшина Т.В. и др. Климат Алтае-Саянского эко-региона, его современные и возможные в будущем изменения // Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии: мат-лы межд. науч. конф. (Иркутск, 7–21 сент. 2012 г.). Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2012. Т. 1. С. 112–117.
12. Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные) // Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Режим доступа: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения 01.2019).
13. Мирвис В.М., Гусева И.П. Изменения в режиме оттепелей на территории России // Труды ГГО. 2007. Вып. 556. С. 101–115.
14. Галахов В.П. Условия формирования половодья малой горной реки (по исследованиям в бассейне реки Майма) // Известия Алтайского отделения географического общества. Барнаул. 2015. № 3 (38). С. 35–40.

Для цитирования: Зуев В.В., Короткова Е.М., Уйманова В.А. Водный и ледовый режим реки Майма в условиях современных изменений климата (Горный Алтай) // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 25–39.

Сведения об авторах:

Зуев Владимир Владимирович, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: vzuev@list.ru

Короткова Екатерина Михайловна, научный сотрудник, канд. геогр. наук, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: katia_sova@mail.ru

Уйманова Валерия Александровна, инженер, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: skvaleri91@mail.ru

WATER AND ICE REGIME OF THE MAYMA RIVER (THE ALTAY MOUNTAINS) IN THE CONTEXT OF THE CURRENT CLIMATE CHANGE

Vladimir V. Zuev, Ekaterina M. Korotkova, Valeria A. Uymanova

Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia

Abstract: The paper considers changes in the annual and seasonal runoff, as well as the ice regime of the Mayma River in response to changing climatic conditions in the catchment area during the period of 1940–2016. Significant positive trends, especially occurring during the winter months, have been identified in the long-term course of annual and seasonal air temperatures. A significant decrease in precipitation rate is observed in the cold period of the year. According to the analysis of the hydrological characteristics for the periods of 1940–1975 (the background period) and of 1976–2016 (the period of contemporary climate change), the annual runoff for the Mayma River basin shows a downward trend against the background of the observed climatic changes. The decrease in annual flow is the result of a decrease in the flood flow. Thus, with the observed winter warming and a decrease in the amount of solid precipitation, the average maximum discharge for the wettest month (April) decreased by 35 % in the period of 1976–2016 with respect to the background level of the 1940–1976 period. Winter warming contributes to less soil freezing and replenishment of groundwater during periods of winter thaw and intensive snowmelt, which lead to an increase in runoff in the last winter months and the first months of summer-autumn low-flow periods. Winter warming manifested itself in the ice mode of the river Mayma. Since the beginning of the period of the current climate change (1976) there has been an observed decrease in the duration of ice freeze-up and a shift towards later freezing dates and earlier break-up dates.

Keywords: Mayma River, Altai Mountains, water regime, ice regime, seasonal runoff, climate change.

About the authors:

Vladimir V. Zuev, Corresponding Member of RAS, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Principal Researcher, RAS SB Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, pr. Akademicheskoy, 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: vzuev@list.ru

Ekaterina M. Korotkova, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, RAS SB Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, pr. Akademicheskoy, 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: katiya_sova@mail.ru

Valeria A. Uymanova, Engineer, RAS SB Institute of monitoring of climatic and ecological systems, pr. Akademicheskoy, 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: skvaleri91@mail.ru

For citation: Zuyev V.V., Korotkova E.M., Uymanova V.A. *Water and Ice Regime of the Mayma River (the Altay Mountains) in the Context of the Current Climate Change // Water Sector of Russia, No. 5., P. 25-39.*

REFERENCES

1. Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniiakh klimata i ikh posledstviakh na territorii Rossiiskoi Federatsii [The Rosgidromet second assessment report on the climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. M.: FGBU «IGKE Rosgidrometa i RAN», 2014. 1009 s.

2. Ekstremal'nye gidrologicheskie situatsii [Extreme hydrological situation]s/ otv. red. N.I. Koronkevich, E.A. Barabanova, I.S. Zaitseva. M.: OOO «Media-PRESS», 2010. 464 s.
3. Ippolitov I.I., Loginov S.V., Khariutkina E.V., Moraru E.I. Izmenchivost' klimata aziatskoi territorii Rossii v 1975–2012 godakh. [Climate variability of the Asian territory of Russia] // Geografiia i prirodnye resursy. 2014. № 4. S. 13–21.
4. *Sukhova M.G., Modina T.D.* Sovremennye izmeneniia temperaturnogo rezhima vozdukha i rezhima uvlazhneniia na Altae, kak proiavlennie regional'nogo izmeneniia klimata [Current changes of the temperature regime and moistening regime in Altay as consequences of the regional climate change] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniia. 2007. № 2. S. 14-18.
5. Doklad o sostoianii i ob okhrane okruzhaiushchei sredey Respubliki Altai v 2016 godu. [Report on the environment ataus and protection in the Republic of Altay in 2016] Gorno-Altaysk. 2017. Rezhim dostupa: http://www.altai-republic.ru/society/doklad_nature_2016.pdf (data obrashcheniia 12/2018).
6. *Semenov V.A.* Klimaticheski obuslovlennye izmeneniia opasnykh i neblagopriiatnykh gidrologicheskikh iavlenii na rekakh Rossii [Climate-caused changes of hazardous and unfavorable hydrological phenomena at the rivers of Russia] // Meteorologiya i gidrologiya. 2011. №2. S. 74-83.
7. *Zolotov D.V., Lubenets L.F., Chernykh D.V.* Landshaftnye faktory formirovaniia stoka v basseine r. Maima (Severnyi i Severo-Vostochnyi Altai) [The landscape factors of the runoff formation in the Mayma river] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniia. 2012. №2. S. 360–369.
8. *Zuev V.V., Kurakov S.A., Uimanova V.A.* Kompleksnyi monitoring pogodno-klimaticheskogo i gidrologicheskogo rezhima basseina r. Maima (Gorni Altai): pervye rezul'taty [Comprehansive monitoring of the weather/climatic and hydrological regimes of the Mayma river basin (Gorni Altai); first results] // Polzunovskii vestnik. 2017. № 3. S. 70–75.
9. *Kharlamova N.F.* Otsenka i prognoz sovremennykh izmenenii klimata Altaiskogo regiona: monografiia [Assessment and forecast of the contemporary changes of the Altay region climate] // N. F. Kharlamova; AltGU. Barnaul: Izd-vo AltGU. 2013. 156 s.
10. Geografiia Sibiri v nachale XXI veka [Geography of Siberia in the early XXI century] : v 6 t. T. 5. Zapadnaia Sibir' // Otv. red. Iu.I. Vinokurov, B.A. Krasnoiarova – Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2016 g. – 447 s.
11. *Shmakina A.B., Kharlamova N.F., Iashina T.V. i dr.* Klimat Altae-Saianskogo eko regiona, ego sovremennye i vozmozhnye v budushchem izmeneniia [Climate of the Altay'Sayan eco/region, its current and potentially possible future changes] // Regional'nyi otklik okruzhaiushchei sredey na global'nye izmeneniia v Severo-Vostochnoi i Tsentral'noi Azii: Materialy Mezhdunar. nauch. konf. (Irkutsk, 7–21 sent. 2012 g.). – Irkutsk: Izd-vo IG SO RAN, 2012. – T. 1. – S. 112–117.
12. Temperatura vozdukha i kolichestvo osadkov (ezhednevnye dannye) [Air temperature and precipitation amount (daily data)] // Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut gidrometeorologicheskoi informatsii – Mirovoi tsentr dannykh. Rezhim dostupa: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (data obrashcheniia 01.2019).
13. *Mirvis V.M., Guseva I.P.* Izmeneniia v rezhime ottepelei na territorii Rossii [Changes in the thaw regime on the territory of Russia] // Tr. GGO. 2007. Vyp. 556. S. 101–115.
14. *Galakhov V.P.* Usloviia formirovaniia polovod'ia maloi gornoj reki (po issledovaniiam v basseine reki Mayma) [Conditions of a small mountain river flood formation (results of researchers in the Mayna River basin)] // Izvestiia Altaiskogo otdeleniia geograficheskogo obshchestva. Barnaul. 2015. № 3(38). S. 35-40.

СОСТАВ РОДНИКОВЫХ ВОД КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Л.З. Жинжакова, Т.И. Воробьева, Е.А. Чередник

E-mail: zhinzhakova@mail.ru

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, Россия

АННОТАЦИЯ: Получены данные о концентрации ингредиентов, характеризующие состав и качество родниковых вод Кабардино-Балкарской Республики. Приведены результаты наблюдений за величиной рН, общей жесткостью, концентрацией тяжелых металлов, неорганических соединений азота и главных ионов.

Родники Кабардино-Балкарской республики относятся к классу гидрокарбонатных, с умеренно жесткими пресными водами, не содержащими опасных уровней концентраций тяжелых металлов и неорганических соединений азота.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: родники, качество воды, микроэлементы, макрокомпоненты, биогенные вещества, величина рН, жесткость вод.

Подземные источники (родники), наряду с поверхностными водами, являются основой водного фонда России. Замечено, что доля подземного питания рек Центрального Кавказа значительно увеличивается и четко прослеживается при выходе рек на Кабардинскую равнину. Поскольку в регионе выходы подземных вод используются как для питья, так и для разнообразных нужд, в т. ч. и для орошения сельхозугодий, оценка риска для здоровья населения от неконтролируемого употребления родниковой воды или воды из скважин является актуальной задачей.

Территория проводимого исследования является одним из наиболее благополучных в экологическом отношении районом, но в настоящее время на гидрологический режим рек заметное влияние оказывает постепенное изменение климата на Северном Кавказе.

Родниковые источники и скважины используются населением для питьевых целей, а также для технического водоснабжения и полива сельхозугодий. Количество родниковых вод в долинах отдельных рек влияет на химический состав речных вод и увеличивает сток. Ранее проводились исследования вод рек Центрального Кавказа [1–4]. Цель данной работы – определение химического состава родниковых вод и их пригодности для использования в различных целях.

© Жинжакова Л.З., Воробьева Т.И., Чередник Е.А., 2019

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В 2017 г. получены данные о концентрации ингредиентов в родниковых водах высокогорной, среднегорной и равнинной зон Кабардино-Балкарской Республики в период зимней межени и летних дождевых паводков, а также в период осеннего половодья.

Содержание тяжелых металлов определяли современным чувствительным методом атомно-абсорбционной спектроскопии («МГА-915») [5], главные ионы и неорганические соединения азота с использованием [6–12], также применяли РД, ГОСТы, СанПиНы, ГН [13–18]. Отбор проб родниковых вод проведен в пунктах бассейна р. Черек и водотоке Нальчик-Урвань. Пробы родниковых вод отбирали в зимнюю межень, летний период и осеннее половодье.

Температура родниковых вод по территории Кабардино-Балкарской Республики в зимнюю межень составляла от 5 до 11 °С, в летний и осенний период – до 15–17 °С. По общей жесткости воды достигали в предгорье 3,0–3,60; на равнине 4,60–5,30 мг-экв/л. По [18] родниковые воды «умеренно жесткие» (от 3,0 до 6,20 мг-экв/л), исключение Нижне-Черекская скважина, где воды мягкие (1,76 мг-экв/л). В Бабугентском роднике жесткость наибольшая и составляет 6,20 мг-экв/л, что, видимо, обусловлено географическим расположением источника, где выщелачивание солей из горных пород является основным фактором появления разнообразных ионов. Минерализация в родниковых источниках зафиксирована на уровне от 318,2 мг/л до 606,2 мг/л, что относит воды к классу от пресных до вод слабой минерализации. В табл. 1 и табл. 2 представлены результаты измерения концентраций тяжелых металлов, соединений азота и некоторых главных ионов.

По данным таблиц можно проследить химический состав отдельного родника в соответствии с гидрологическими фазами водного режима. В большинстве проб концентрации тяжелых металлов находятся на уровне регионального фона для поверхностных вод Кабардино-Балкарии. Содержание Мо и Мп в отдельных родниках фиксировали систематически ниже предела обнаружения. В некоторых родниках отмечены повышенные концентрации Ag (до 0,257 мкг/л). В пунктах Майский-1 и Александровский в период дождевого паводка содержание серебра увеличивалось до 0,323 и 0,460 мкг/л соответственно. Содержание Zn в водах родника Александровский в 2–5 раз выше, чем в других источниках. Содержание других металлов в родниковых водах много ниже ПДК.

Воды родников по величине рН относятся к нейтральным, слабощелочным. В пяти родниках рН фиксировалась до 8,0 ед. рН и только в трех варьировала от 8,20 до 8,35, при допустимых 8,50 ед. рН для питьевых вод.

Таблица 1. Результаты измерения концентраций тяжелых металлов в родниковых водах, мкг/л

Table 1. Results of the heavy metal concentration measurements in spring waters, mkg/l.

Ингредиент	Пункты отбора проб									
	Белореченский	Арикский	Герменчикский	Урванский	Чернореченский	Майский-1	Майский-2	Александровский	Бабугентский	Тоннельный
Cr	-	-	0,92	-	-	-	-	0,74	0,79	-
	0,91	-	1,08	-	0,75	0,65	0,82	0,96	-	-
	0,71	-	0,84	-	-	-	-	-	-	0,65
Ni	-	-	0,81	-	0,51	-	-	-	-	-
	-	-	0,67	0,84	0,58	-	-	0,79	-	-
	0,58	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	0,70	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,76
Mn	-	-	-	-	-	0,91	-	9,03	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	2,69	10,40	-	6,34
	5,66	-	5,26	5,98	-	-	-	-	-	-
	4,50	-	4,17	4,10	4,77	-	-	-	6,70	8,0
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,55	1,0	4,20	2,10	0,96	1,21	0,46	1,76	-	-
	1,40	-	0,70	0,30	1,40	-	-	-	1,40	2,80
Ag	0,257	0,043	0,036	0,254	0,128	0,018	0,03	0,076	0,04	0,03
	0,018	-	0,116	0,099	0,016	0,323	0,02	0,460	-	-
	0,056	-	0,087	0,108	0,048	-	-	-	0,02	0,02

Примечание: строки в таблицах соответствуют отбору проб в зимнюю межень, летнее половодье и осенний период; «-» – данный ингредиент не обнаружен.

Содержание неорганических соединений азота отмечалось на уровне речных вод. Концентрации NO_3^- в основном находились в пределах 5–15 мг/л. Максимальные значения NO_3^- достигали 20 и 26 мг/л в водах родников Урванский и Герменчикский соответственно, что ниже ПДК в

1–2 раза. Содержание токсичных NO_2^- варьировало на уровне 0,001–0,020 мг/л. Концентрации NH_4^+ в летний период во всех родниках находились на уровне 0,01–0,12 мг/л, а в зимнюю межень наблюдалось увеличение в родниках Александровский (0,36мг/л) и Бабугентский (0,48 мг/л).

Таблица 2. Концентрации соединений азота и макрокомпонентов в родниковых водах, мг/л

Table 2. Nitrogen and macro/components' compounds' concentrations in spring waters, mg/l.

Ингредиент	Пункты отбора проб									
	Белореченский	Арикский	Герменчикский	Урванский	Чернореченский	Майский -1	Майский-2	Александровский	Бабугентский	Тоннельный
pH, ед.	7,75	7,89	7,78	7,94	7,55	8,13	7,86	7,83	7,75	8,23
	7,87	7,60	7,64	7,90	7,85	8,02	8,02	8,35	–	–
	7,91	–	7,85	8,20	7,67	–	–	–	7,77	8,28
NO_2^-	0,001	0,003	0,005	0,001	0,002	0,004	0,01	0,003	0,003	0,006
	0	0,005	0	0,028	0,005	0,022	0,01	0,021	–	–
	0,002	–	0,003	0,005	0,002	–	–	–	0,001	0,005
NO_3^-	9,20	28,09	37,17	9,20	3,31	18,96	11,0	24,81	2,25	5,50
	9,70	19,85	22,29	23,70	4,30	9,70	4,30	15,50	–	–
	5,40	–	20,10	26,14	2,80	–	–	–	2,48	6,20
NH_4^+	0,28	0,13	0,11	0,25	0,18	0,19	0	0,48	0,36	0,28
	0	0,19	0	0	0,08	0,90	0,22	0,06	–	–
	0	–	0	0	0,01	–	–	–	0,12	0
HCO_3^-	204,4	323,3	274,5	253,2	341,6	250,1	140	225,7	262,3	241,0
	113,9	244,0	166,7	154,5	187,1	203,3	136	227,7	–	–
	234,8	283,6	289,7	320,3	356,9	–	–	–	240,9	323,3
Cl^-	0,72	16,98	23,42	8,54	27,59	4,52	3,89	2,75	7,23	0,35
		20,22	25,97	–	29,93	4,40	4,46	3,31	–	–
	0,38	–	3,30	5,12	25,20	–	–	–	3,30	0,38
SO_4^{2-}	22,45	69,29	28,29	38,15	92,50	115,1	101	16,89	231,6	11,66
	24,81	63,93	30,74	–	100,3	113,1	118	17,69	–	–
	16,02	–	36,43	86,22	100,5	–	–	–	220,9	11,94

Примечание: строки в таблицах соответствуют отбору проб в зимнюю межень, летнее половодье и осенний период; «–» – данный ингредиент не обнаружен.

В водах всех родников содержание HCO_3^- фиксировалось на уровне 220–300 мг/л, причем в Арикском и Чернореченском в зимний и летний периоды максимальные значения достигали 323 и 356 мг/л. Содержание Cl^- на уровне 0,3–8,0 мг/л и только в родниках Арикский и Чернореченский концентрации хлоридов были на порядок выше, составляя 25–30 мг/л. Концентрации SO_4^{2-} изменялись в основном от 11 до 100 мг/л. Лишь в двух родниках – Майский-1 и Бабугентский – они достигали 115 и 232 мг/л соответственно, превышая ПДК для питьевых вод в 1–2 раза, что делает эти родники опасными для питья. Главным источником появления сульфатов в водах Бабугентского источника являются породы осадочных отложений, содержащие гипс и ангидрит.

Согласно полученным данным выявлено, что родниковые воды Кабардино-Балкарской Республики относятся к классу гидрокарбонатных, пресных, умеренно жестких, не содержат опасных уровней концентраций тяжелых металлов и неорганических соединений азота. По общему химическому составу воды родников пригодны для питьевого использования, кроме Бабугентского родника, где содержание сульфатов выше ПДК.

ВЫВОДЫ

Проведен анализ состава родниковых вод в долинах рек Нальчик, Черек, Терек. В пробах вод определены температуры воды, величина рН, жесткость вод, содержание тяжелых металлов, соединений азота и некоторых главных ионов. Получены данные о концентрации компонентов в родниковых водах Кабардино-Балкарской Республики. По химическому составу воды родников в основном питьевые, кроме Бабугентского родника. По жесткости воды прослеживается вертикальная зональность, максимальная величина не превышает допустимых для питья 7 мг-экв/л. В шести родниках – Белореченский, Герменчикский, Урванский, Чернореченский, Майский-1 и Арикский – отмечены повышенные концентрации Ag , но ниже ПДК.

Таким образом, впервые представлен состав родниковых вод, которые применяются населением в качестве питьевых и используются в других целях. Целесообразно систематически проводить мониторинг родников и других многочисленных подземных источников, которыми богата республика. Водные источники – фактор поддержания экологического равновесия в речных системах, а запасы чистой воды рек Центрального Кавказа – важнейшая составляющая развития экономики региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Жинжакова Л.З., Реутова Т.В., Чередник Е.А. Вынос токсичных ингредиентов горными реками Центрального Кавказа в воды Терека / сб. докладов III Межд. конф. «Моделирование устойчивого регионального развития». Нальчик, 2009. С. 72–77.

2. Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Жинжакова Л.З., Реутова Т.В., Чередник Е.А., Машуков Х.Х. Результаты мониторинга содержания токсичных веществ в водах Центрального Кавказа в пиковые фазы водного режима / сб. докладов Межд. научн. конф. Казань, 2012. С. 257–259.
3. Воробьева Т.И., Жинжакова, Л.З., Чередник Е.А., Отарова А.С. Оценка фоновое уровня содержания микропримесей в речных водах на территории Центрального Кавказа / сб. докладов Межд. научно-практ. конф. Владикавказ, 2017. С. 535–542.
4. Жинжакова Л.З. Пространственное распределение концентраций токсичных металлов Ni, Cr, Cd и Pb в водах Черема и Чегема / Мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием «Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели». Нальчик, 2017. С. 149–152.
5. ПНД Ф 14.1:2.253-09 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn в природных и сточных водах атомно-абсорбционным методом «МГА-915». М., 2009. 36 с.
6. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений pH в водах потенциометрическим методом. М.: Минприроды России, 1997. 8 с.
7. Количественный химический анализ вод. МВИ массовой концентрации F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии (ФР.1.31.2005.01724). М., 2008. 26 с.
8. Количественный химический анализ вод. МВИ массовой концентрации NH₄⁺, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии (ФР.1.31.2005.01738). М., 2008. 30 с.
9. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 437 с.
10. Никаноров А.М. Гидрохимия. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2001. 447 с.
11. Алекин О.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 269 с.
12. Унифицированные методы мониторинга фоновое загрязнения природной среды /под ред. Ф.Я.Ровинского. М.: Гидрометеиздат, 1986. 180 с.
13. ГОСТ Р 56237-2014. Вода питьевая. Отбор проб. М.: Стандартинформ.2014. 40 с.
14. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования и нормативы качества питьевой воды. 2001. 67 с.
15. СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. 2002. 20 с.
16. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Нормативы распространяются на воду подземных и поверхностных водоисточников, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения населения / Пост. Минздрава РФ от 30 апреля 2003 г., № 78. 2003. 84 с.

17. Перечень рыбохозяйственных нормативов ПДК и ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды, водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 380 с.
18. ГОСТ 6055-51 Вода. Единица жесткости. М.: Госстандарт, 1986. 4 с.

Для цитирования: Жинжакова Л.З., Воробьева Т.И., Чередник Е.А. Состав родниковых вод Кабардино-Балкарской Республики // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 40-48.

Сведения об авторах:

Жинжакова Лилия Зуберовна, старший научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, Кабардино-Балкарская Республика, 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 2; e-mail: zhinzhakova@mail.ru

Воробьева Таиса Ильинична, старший научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, Кабардино-Балкарская Республика, 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.

Чередник Елена Александровна, научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, Кабардино-Балкарская Республика, 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 2; e-mail: elena.cherednik@mail.ru

COMPOSITION OF SPRING WATERS OF THE KABARDIN-BALKAR REPUBLIC

Lilia Z. Zhinzhakova, Taisa I. Vorobyeva, Elena A. Cherednik

E-mail: zhinzhakova@mail.ru

«High-mountain Geophysical Institute», Nalchik, Russia

Abstract: The springs of the Kabardino-Balkarian Republic belong to the class of hydrocarbonated fresh waters, «moderately hard», without dangerous levels of heavy metals and inorganic nitrogen compounds' concentrations. Data on the concentration of ingredients characterizing the composition and quality of spring waters have been obtained. The article presents the results of observations of the pH value, total hardness, heavy metal concentration, inorganic nitrogen compounds and the main ions.

Key words: springs, concentration, microelements, macro-components, biogenic substances, pH value, water hardness.

About the authors:

Lilia Z. Zhinzhakova, Senior Researcher, «High-mountain Geophysical Institute», Lenin Ave 2, Nalchik, KBR, 360030, Russia; e-mail: zhinzhakova@mail.ru

Taisa I. Vorobyeva, Senior Researcher, «High-mountain Geophysical Institute», Lenin Ave 2, Nalchik, KBR, 360030, Russia.

Elena A. Cherednik, Researcher, «High-mountain Geophysical Institute», Lenin Ave 2, Nalchik, KBR, 360030, Russia; e-mail: elena.cherednik@mail.ru

For citation: Zhinzhakova L.Z., Vorobyeva T.I., Cherednik E.A. Composition of spring waters of the Kabardin-Balkar Republic // Water Sector of Russia. 2019. No. 5. P. 40-48.

REFERENCES

1. Vorobyeva T.I., Gushchina L.P., Zhinzhakova L.Z., Reutova T.V., Cherednik E.A. Vynos toksichnykh ingredientov gornymi rekami Tsentralnogo Kavkaza v vody Tereka [Carry-

- out of toxic elements by the Central Caucasus mountain rivers to the Terek River waters] / sb. dikladov III Mezhd. konf. "Modelirovaniye ustoychivogo regionalnogo razvitiya". Nalchik, 2009. Pp. 72–77.
2. Vorobyeva T.I., Gushchina L.P., Zhinzhakova L.Z., Reutova T.V., Cherednik E.A., Mashukov K.K. Rezultaty monitoringa sodержaniya toksichnykh veshchestv v vodakh Tsentralnogo Kavkaza v pikoviye fazy vodnogo rezhima [Results of monitoring of the toxic substances' content in the Central Caucasus waters in the water regime peak phases] / sb. dikladov Mezhd. nauchn. konf. Kazan, 2012. Pp. 257–259.
 3. Vorobyeva T.I., Zhinzhakova L.Z., Cherednik E.A., Otarova A.S. Otsenka fonovogo urovnya sodержaniya mikroprimesey v rechnykh vodakh na territoriyi Tsentralnogo Kavkaza [Assessment of the micro/admixtures content background level in the river waters on the territory of the Central Caucasus] / sb. dokladov Mezhd. nauchno-prakt. konf. Vladikavkaz, 2017. Pp. 535–542.
 4. Zhinzhakova L.Z. Prostranstvennoye raspredeleniye kontsentratsiy toksichnykh metall-ov Ni, Cr, Cd i Pb v vodakh Chereka i Chegema [Spatial distribution of the Ni, Cr, Cd and Pb toxic metals concentrations in the Cherek and Chegem rivers' waters] / Mat-ly Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiyem "Ustoychivoye razviye: problemy, kontseptsii, modeli". Nalchik, 2017. Pp. 149–152.
 5. PND F 14.1:2.253-09 Kolichestvenniy khimicheskii analiz vod. Metodika izmereniy massovykh kontsentratsiy Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn v prirodnykh i stochnykh vodakh atomno-absorbtsionnym metodom "MGA-915" [Quantitative chemical analysis of waters. Measurement methods of the Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn mass concentrations in natural and waste waters with "MGA-915" atomic-sorption method]. M., 2009. 36 p.
 6. PND F 14.1:2.3:4.121-97. Kolichestvenniy khimicheskii analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy pH v vodakh potentsiometricheskim metodom [Quantitative chemical analysis of waters. Methods of the pH measurements in waters with the potentiometric method]. M.: Minprirody Rosiyi, 1997. 8 p.
 7. Kolichestvenniy khimicheskii analiz vod. MVI masssovoy kontsentratsiyi F, Cl, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ v probakh pitevoy, mineralnoy, stolovoy, lechebno-stoloboy, prirodnoy i stochnoy vody metodom ionnoy khromatografiyi [Quantitative chemical analysis of waters. MVI of the F, Cl, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ mass concentration in samples of drinking, mineral, table, therapeutic/table, natural and waste waters with the ion chromatography method (FR.1.31.2005.01724)]. M., 2008. 26 p.
 8. Kolichestvenniy khimicheskii analiz vod. MVI masssovoy kontsentratsiyi NH₄⁺, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ v probakh pitevoy, mineralnoy, stolovoy, lechebno-stoloboy, prirodnoy i stochnoy vody metodom ionnoy khromatografiyi [Quantitative chemical analysis of waters. MVI of the NH₄⁺, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ mass concentration in samples of drinking, mineral, table, therapeutic/table, natural and waste waters with the ion chromatography method (FR.1.31.2005.01738)]. M., 2008. 30 p.
 9. Alekin O.A. Osnovy gidrokhimiyi [Fundamental hydro/chemistry]. L.: Gidrometeoizdat, 1973. 437 p.
 10. Nikanorov A.M. Gidrokhimiya [Hydro/chemistry] Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2001. 447 p.
 11. Alekin O.A. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu vod sushi [Instructions on the chemical analysis of terrestrial waters]. L.: Gidrometeoizdat, 1973. 269 p.
 12. Unifitsirovanniye metody monitoring fonovogo zagryazneniya prirodnoy sredy [The unified methods of the background environment pollution monitoring] /pod red. F.Y. Rovinskogo. M.: Gidrometeoizdat, 1986. 180 p.

13. GOST P 56237-2014. Voda pityevaya. Otbor prob. [Drinking water. Sampling]. M.: Standartinform. 2014. 40 p.
14. SanPiN 2.1.4.1074-01. Voda pityevaya. Gigienicheskiye trebovaniya i normativy kachestva pityevoy vody [Drinking water. Hygienic requirements and norms of the drinking water quality]. 2001. 67 p.
15. SanPiN 2.1.4.1175-02. Gigienicheskiye trebovaniya k kachestvu vody netsentralizovannogo vodosnabzheniya. Sanitarnaya okhrana istochnikov [Hygienic requirements to water quality of the non-centralized water supply water. Sanitary protection of water sources]. 2002. 20 p.
16. GN 2.1.5.1315-03. Predelno-dopustimye kontsentratsiyi khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obyektov khozyaystvenno-bytovogo i kulturno-bytovogo naznacheniya. Normativy rasprostranyayutsya na vodu podzemnykh i poverkhnostnykh vodoistochnikov, ispolzuyemykh dlya tsentralizovannogo i netsentralizovannogo vodosnabzheniya naseleniya [Maximal permissible concentrations of chemical substances in water of domestic/ drinking and recreational water bodies. The norms are applied to water of groundwater and surface water sources used for centralized and non-centralized water supply of population] / Post Minzdrava RF ot 30 aprelya 2003 g., No 78. 2003. 84 p.
17. Perechen rybokhozyaystvennykh normativov PDK i orientirovochno bezopasniy uroven vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody, vodnykh obyektov, imeyushchikh rybokhozyaystvennoye znachenie [The list of fishery MPCs and tentatively safe level of adverse substances impact upon water and fishery water bodies]. M.: BNIRO, 1999. 380 p.
18. GOST 6055-51 Voda. Yedenitsa zhestkosti [Water. Unit of hardness]. M.: Gosstandart, 1986. 4 p.

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ХОЛОДНИНСКОГО СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА АКВАЛЬНЫЕ ЛАНДШАФТЫ СЕВЕРНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

Т.С. Кошовский¹, А.Ю. Санин², Т.А. Пузанова¹, О.В. Ткаченко¹

E-mail: tkzv@ya.ru

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия

² ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены особенности загрязнения аквальных ландшафтов (речных и озерных) в зоне воздействия Холоднинского полиметаллического месторождения, расположенного в водосборной зоне оз. Байкал (республика Бурятия, Северобайкальский район). Определены основные источники загрязнения, степень токсичности и масштаб влияния на дренирующие водотоки, а также особенности транспортировки загрязняющих веществ. Установлено существующее пространственное протяжение зоны экологической опасности для аквальных ландшафтов, связанной с современным геохимическим влиянием Холоднинского месторождения. В настоящее время она ограничена частью бассейна р. Холодная, которая протекает вблизи месторождения и принимает воды вытекающих из заброшенных штолен ручьев. В водах ручьев выявлены высокие концентрации загрязняющих веществ, для ряда тяжелых металлов в сотни и тысячи раз превышающие предельно допустимые концентрации. Ниже по течению, после впадения ручьев в р. Холодную, сформировалась зона загрязнения, в пределах которой концентрация цинка в водах реки превышает нормативные значения. Для р. Тья, дренирующей рудное тело, но не принимающей воды ручьев из штолен, значимые превышения нормативов по содержанию тяжелых металлов не обнаружены. Непосредственно в акватории оз. Байкал, в т. ч. в заливе Ангарский Сор, куда впадает р. Холодная, превышения фоновых значений также не выявлены. На основании анализов отобранных проб сделаны выводы об особенностях миграции химических элементов в системе «р. Холодная – оз. Байкал» при текущей интенсивности хозяйственной деятельности, а также в долгосрочной перспективе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оз. Байкал, геохимия ландшафтов, тяжелые металлы, загрязнение, р. Холодная, аквальные ландшафты.

© Кошовский Т.С., Санин А.Ю., Пузанова Т.А., Ткаченко О.В., 2019

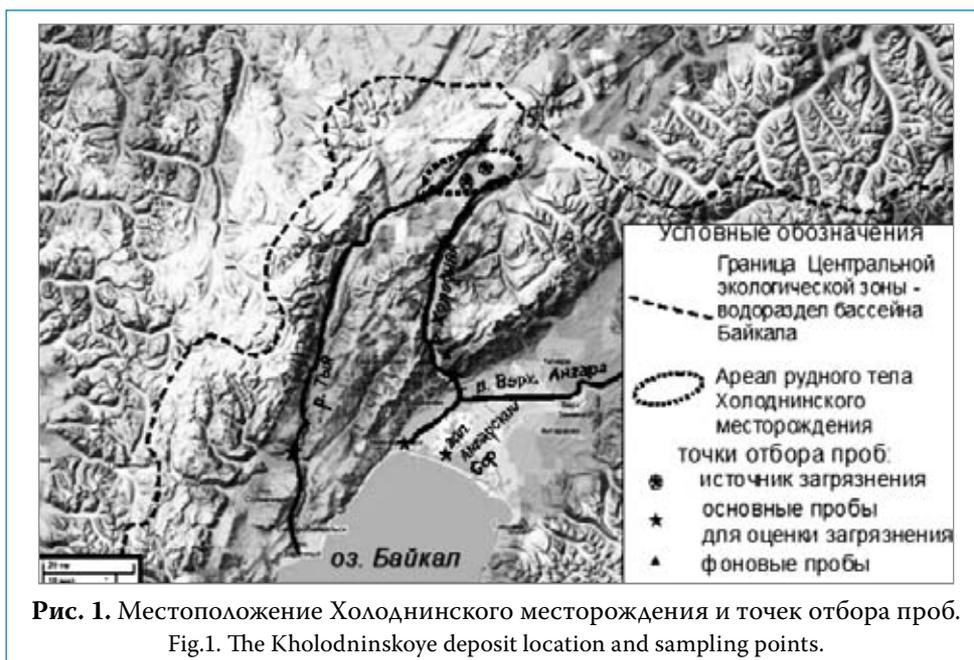
Экологическую значимость Байкала, внесенного в декабре 1996 г. [1] в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО, сложно переоценить. Об этом свидетельствует и принятие закона «Об охране озера Байкал» в 1999 г., а также разработка Федеральной целевой программы «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы» [2]. Закон «Об охране озера Байкал» используется для осуществления правового регулирования хозяйственной деятельности в пределах оз. Байкал.

Статус Байкала и его значение для человечества и биосферы в целом требуют особенно тщательно отслеживать последствия антропогенного воздействия не только непосредственно в пределах акватории и береговой зоны озера, но и для его водосборного бассейна. Как для морей, так и для крупных внутренних водоемов природные и антропогенные процессы в пределах водосборного бассейна оказывают влияние на водоем через впадающие в него реки [3–7]. Порядка 83 % загрязняющих веществ поступает в Байкал именно с водами притоков. Для сравнения: в результате деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината их поступает примерно 0,5 % [8]. Огромная ценность озера является причиной длительных споров о маршруте трубопровода «Сила Сибири» и работе Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, о неорганизованном туризме на его берегах. Однако следует учитывать и меньшие по масштабу антропогенные воздействия, которые также могут существенным образом влиять на экологическое состояние Байкала. Пример такого воздействия – добыча руд цветных металлов в пределах водосборного бассейна озера на территории Монголии и России. Влияние хозяйственной деятельности рассмотрено на примере Холоднинского месторождения, которое заслуживает особого внимания из-за его масштабов и сравнительной близости к акватории Байкала.

Цель проведенного исследования – оценка влияния Холоднинского свинцово-цинкового месторождения на качество вод притоков оз. Байкал. Статья является итогом и дополнением к работам по данному региону [8–10], авторы опираются на собственные полевые данные и результаты их анализа, а также литературные источники. Экспедиционные исследования проводились в течение трех полевых сезонов – в 2009, 2010 и 2012 гг. Основные задачи исследования – определение элементного состава миграционных потоков, исходящих из месторождения металлических руд, сравнение их с фоновыми и нормативными значениями, выявление протяженности зоны влияния месторождения на качества вод Байкала и его притоков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Холоднинское месторождение колчеданно-полиметаллических руд, открытое в 1968 г., располагается в Северном Прибайкалье, на территории Республики Бурятия, в бассейне оз. Байкал (рис. 1). Детальная разведка с заложением двух штолен проводилась с 1969 по 1984 гг. Месторождение является крупнейшим по запасам свинца и цинка в России: на его долю приходится 34,1 % запасов цинка и 11,2 % свинца [8]. В настоящее время месторождение не разрабатывается, но из разведочных штолен продолжают сочиться воды, обогащенные тяжелыми металлами. Штольневые воды попадают в р. Холодную, впадающую в залив Ангарский Сор оз. Байкал.



Месторождение и геологический пос. Перевал расположены на юго-западном макросклоне хребта Сынныр Станового нагорья, в междуречье рек Тья и Холодная, на высоте около 1200 м. Ландшафты среднегорий представлены мерзлотной лиственничной тайгой. Типичные почвы – горные мерзлотно-таежные подбуры. В горных котловинах, где расположена основная часть рудного тела и пос. Перевал, формируются горно-тундровые вересковые ассоциации на тундровых высокогорных почвах.

В геологическом отношении рудные тела месторождения находятся во вмещающих рифейских вулканогенно-осадочных толщах терригенно-кремнисто-карбонатно-углеродистого состава. Местами они выходят на

поверхность, местами погружаются на глубину до 900 м [8, 9, 11]. Основные минералы – пирит, сфалерит, галенит, а также пирротин и халькопирит. Из нерудных минералов доминирует кварц, кальцит, доломит, графит, мусковит. Содержание элементов в руде достаточно высокое: цинка 3,5–6,5 %, свинца 0,4–1,2 %, из элементов-примесей выделяются серебро, золото, медь, кадмий, мышьяк, сурьма, таллий и др. [8].

Для выявления и оценки области загрязнения в зоне действия месторождения были выбраны реперные участки, в каждом взяты пробы воды, донных отложений и взвеси, произведено описание компонентов ландшафта на предмет их антропогенной измененности. Пробы взяты на выходе из штолен, из ручья рудничных вод, в верхнем (две пробы, до и после впадения штольневых вод), среднем и нижнем течении р. Холодной и в месте ее впадения в Байкал (залив Ангарский Сор). Фоновые пробы – из источника Пьяный ключ и притока реки Гасан-Дикит, антропогенное воздействие для них не отмечено. Две пробы отобраны из р. Тья, протекающей по территории рудного месторождения, но не принимающей штольневые или рудничные воды.

В пробах воды, донных отложений и взвеси определено валовое содержание более 70 химических элементов масс-спектральным методом с индуктивно-связанной плазмой (по методике МП-2.4) и атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (по методике НСАМ 487-хс [12]). Изучение взвеси произведено путем ее выделения на мембранном фильтре из пробы известного объема, в пробах воды определены концентрации основных ионов. Полученные результаты сравнивались с выбранными фоновыми значениями и средними содержаниями элементов в речных водах [13]. Для оценки опасности загрязнения использованы предельно допустимые концентрации (ПДК) рыбохозяйственных нормативов [14] для воды и ПДК почв [15] – для донных отложений. Комплексная оценка проведена на основе суммарного показателя загрязнения Zc [12, 16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фоновая минерализация воды изучаемой территории составляет около 30 мг/л. По гидрохимической классификации О.А. Алёкина [16] воды имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав. Преобладающими катионами речных вод района служат (по убывающей) Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ , анионами – HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- . По сравнению со средними содержаниями в речных водах [13, 16, 17], Северобайкальский район характеризуется пониженными содержаниями для целого ряда элементов – Na, K, Al, Pb, Cd, Ni, Co, Cu, Ag и др., сходными – по Ca, Mg, Si, Mn и Mo, и повышенными – Sr и U.

Анализируя минерализацию вод объектов опробования, а также содержание типоморфных химических элементов, можно выявить основные

причины формирования текущего химического состава вод. Так, максимальной минерализацией обладают рудничные воды, выходящие из пробуренных штолен (730 мг/л), в них наблюдаются аномальные содержания большинства химических элементов. Обогащение штольневых вод сульфат-ионом, рудными и сопутствующими элементами происходит за счет процессов окисления рудных минералов (галенита, сфалерита). На контакте вод с окислительной обстановкой и рудным телом минералы-сульфиды (пирит FeS, сфалерит ZnS, галенит PbS и др.), обладающие малой растворимостью (порядка 10^{-3} - 10^{-22} г/л), быстро окисляются под действием растворенного кислорода с образованием легкорастворимых сульфатов металлов (госларит ZnSO₄, мелантерит FeSO₄), а также серной кислоты [18].

При движении вод зоны окисления сульфидных месторождений, сильно подкисленных серной кислотой, их состав значительно трансформируется при прохождении через ряд геохимических барьеров. Катионогенные химические элементы задерживаются на карбонатном геохимическом барьере, возникающем при попадании сильноокислых вод в карбонатные вмещающие породы, с резким повышением величины pH. Сульфаты металлов переходят в менее растворимые соединения – карбонаты (марказит ZnCO₃) [8, 17]. Нейтрализация серной кислоты приводит к обогащению подземных вод Ca и Mg (рис. 2а), содержащимися во вмещающих породах – доломитах и мраморах. При выходе вод на поверхность химические элементы продолжают осаждение на кислородном геохимическом барьере, как правило, в виде оксидов (Fe₂O₃). Подобный ряд трансформации рудных минералов, сульфиды – сульфаты – карбонаты – оксиды, от менее устойчивых к более устойчивым в гипергенных условиях был описан С.С. Смирновым при изучении зон окисления сульфидных месторождений [16].

В целом для рудничных вод, по сравнению с фоновыми, обнаружены повышенные концентрации по 40 химическим элементам. Превышения составляют: для Zn – в 17 000 раз; Cd, Mn и Ce – более чем в 1000 раз; Al, Co, Pb, редкоземельные элементы (La, Nd, Tl, Pr, Dy, Gd, Sm, Ho) – от 100 до 1000 раз; Y, Li, Rb, Eu, Er, Ga, Yb, Tb, Cu, Lu, Sb, Th, Tm – от 10 до 100 раз; Ge, Zr, W, U, Hf, Sn – превышение менее чем в 10 раз.

Для оценки загрязнения аквальных ландшафтов тяжелыми металлами штольневых вод проведено сравнение с установленными предельно допустимыми концентрациями. Наиболее опасные концентрации закономерно наблюдаются в штольневых водах и соответствующих донных отложениях. Более 10 элементов в воде здесь превышают предельно допустимые концентрации: Zn – в 1200 раз, Al, Mn в 30–80 раз, Cu, Co, Pb, Cd в 6–9 раз, Tl, Sr в 1–2 раза. Превышение отмечено и для донных отложений: по Zn – в 390 раз, As – 180 раз, Sb, Mn в 15–30 раз, Pb, Cu в 3–6 раз [14].

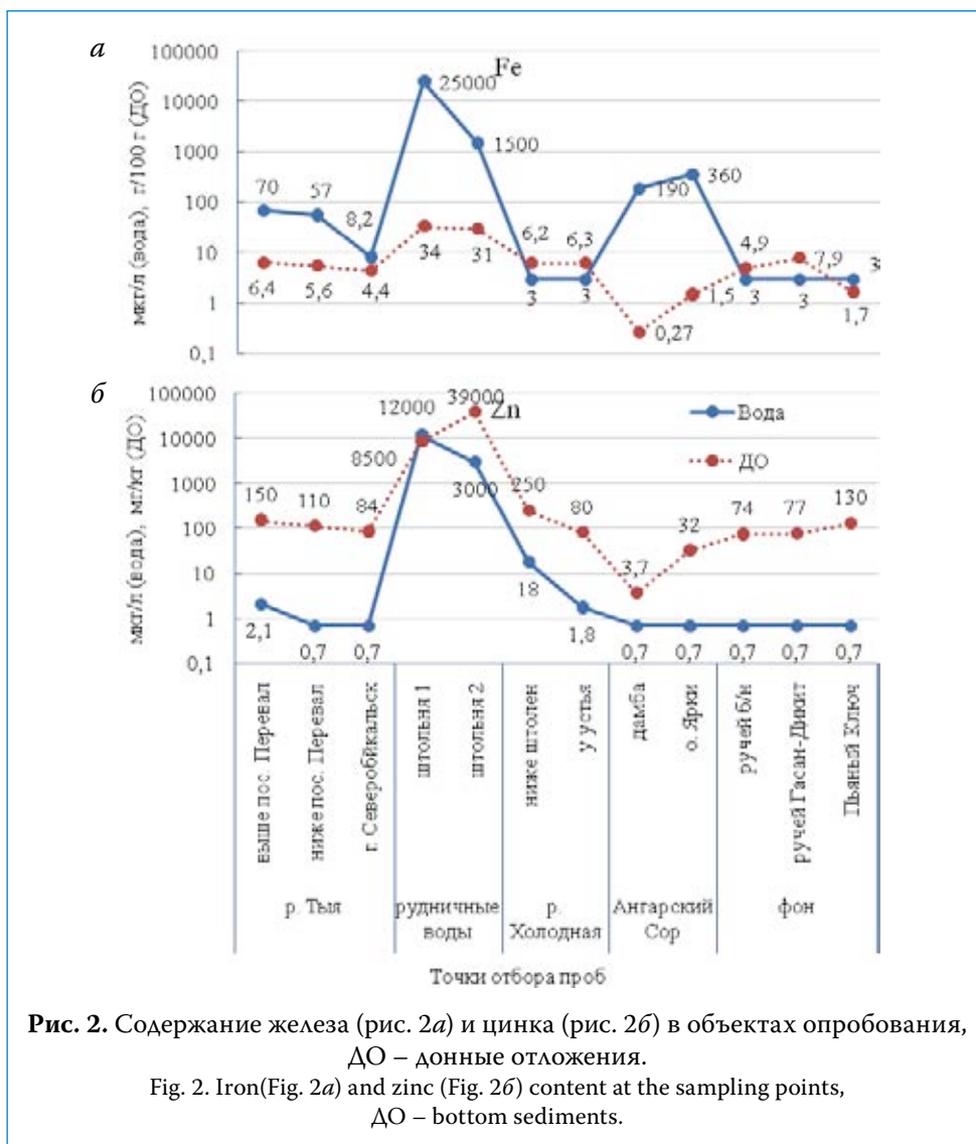
В р. Холодной при впадении ручьев штольневых вод отмечено резкое увеличение содержания микроэлементов, изменение макрокомпонентного состава. При дальнейшем течении реки происходит разбавление высоких концентраций элементов незагрязненными водами, а также осаждение элементов и их концентрация в донных отложениях. В пробе воды в верхней части реки обнаружено превышение ПДК по цинку, в нижнем течении содержание цинка в водах уже не превышает нормативы, хотя оно и выше фонового (рис. 2б). С использованием данных средневзвешенных расходов воды было вычислено абсолютное количество Zn, переносимого с водным потоком (в растворенном и взвешенном виде): оно составило около 1,7 кг в сутки.

В р. Тья, непосредственно дренирующей рудное тело, но не принимающей потоки штольневых вод, превышения ПДК не наблюдается. Небольшие максимумы по сравнению с фоновыми содержаниями характерны для Li, Sr, W, Cd, Pb и Mn. Это косвенно свидетельствует об антропогенном характере поступления тяжелых металлов в воду реки. По всей видимости, до начала разработки месторождения превышения ПДК и в самой р. Холодной не наблюдалось.

В заливе Ангарский Сор, где идет разгрузка вод р. Холодной, общая минерализация вод остается невысокой, хотя и происходит накопление некоторых элементов, в первую очередь Mn, Fe, и Al. Эти элементы подвижны в мерзлотных таежных ландшафтах [17], большое количество их поступает с фоновыми, незагрязненными речными водами. Степень накопления Fe иногда превышает нормативы для рыбохозяйственных водоемов (рис. 2).

Проведенные исследования позволили сделать ряд выводов об особенностях гидрохимической миграции химических элементов. Так, анализ элементного состава донных отложений позволил выделить два типа по их генезису: 1) донные отложения преимущественно терригенного происхождения с преобладанием Al_2O_3 и SiO_2 в валовом составе; 2) донные отложения преимущественно хемогенного происхождения с повышенным количеством оксидов Fe (до 40 %) и сниженным содержанием Al и Si. Терригенные осадки характерны для водотоков, хемогенные – для выходящих на поверхность подземных вод (рудничные воды и источник Пьяный ключ).

В распределении Na и K, в первую очередь, заметно изменение их соотношения: в конечных водоемах оно расширяется до 11 (Na:K), а в речных водах колеблется в диапазоне 4–5. Такие различия обусловлены большей биогенностью K и его биологическому поглощению в прогреваемых водах Ангарского Сора.



В результате кластерного анализа выделено несколько групп химических элементов по сходности миграции:

– халькофильные водные мигранты (Zn, Pb, Cd, Cu, Bi, и др.), основным источником которых на территории исследования являются окисленные сульфидные руды, выходящие на поверхность из штолен. Распределение этих элементов характеризуется высоким коэффициентом корреляции внутри группы;

– слабоподвижные литофильные мигранты – Ba, Li, Rb, для которых и некоторых других элементов характерно максимальное содержание в воде рудничных ручьев и минимальное содержание в донных отложениях;

– группа элементов-лантаноидов и иттрия показывает сходное поведение. Коэффициенты корреляции между ними не опускаются ниже 0,8. Основные максимумы наблюдаются в штольневых водах, а также в нижнем течении р. Тья (по сравнению с р. Холодной, концентрации элементов-лантаноидов в ней повышены в 10–16 раз).

Общее распределение макро- и микроэлементов по изученным водным объектам можно оценить, рассчитав суммарный показатель загрязнения Z_c для каждой пробы – сумму отклонений коэффициентов аномальности [17] (рис. 3).

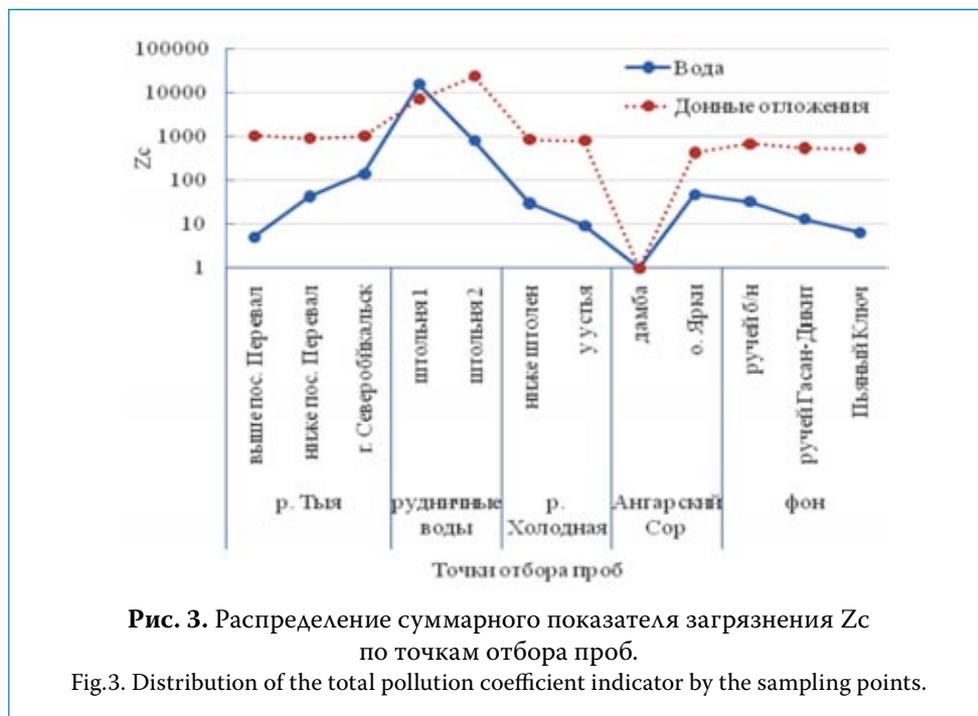


Рис. 3. Распределение суммарного показателя загрязнения Z_c по точкам отбора проб.

Fig.3. Distribution of the total pollution coefficient indicator by the sampling points.

Максимальные значения показателя Z_c (33 000) наблюдаются в рудничных водах. В верхнем течении р. Холодной, с малым разбавлением элементов рудничных вод, он достигает около 47, в нижнем течении снижается до 10, далее из-за накопления в Ангарском Соре (залив оз. Байкал) наблюдается второй максимум – 115 значений. Разброс значений показателя Z_c превышает три порядка, что указывает на чрезвычайную изменчивость концентраций загрязняющих веществ.

В критериях санитарно-эпидемиологических требований к качеству почв [15] донные отложения рудничных ручьев относятся к чрезвычайно опасной категории, большинства рек – к опасной или умеренно опасной категории, допустимому уровню соответствует только две точки. Несмотря на формально (в сравнении с ПДК) допустимые концентрации тяжелых металлов в Ангарском Соре, их поступление в озеро в объемах, зафиксированных исследованиями, представляется тревожной тенденцией. Они неизбежно накапливаются в живых организмах, которые могут использоваться в пищу. Сильное загрязнение может привести к исчезновению тех или иных видов или сокращению их численности [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из угроз для качества вод Байкала потенциально являются любые объекты горнодобывающей промышленности, расположенные в пределах водосборного бассейна озера, особенно если они относятся к цветной металлургии, так как в результате их деятельности в воду могут поступать загрязняющие вещества, в т. ч. и тяжелые металлы. К таким потенциальным угрозам относится Холоднинское свинцово-цинковое месторождение. Для оценки его влияния были отобраны пробы из ручьев, протекающих через штольни месторождения р. Холодной, которая их принимает, и залива Байкала, в который впадает р. Холодная. Для отобранных проб определены концентрации более 70 химических элементов, которые потом были сопоставлены с предельно допустимыми. Исследования показали, что современное геохимическое воздействие месторождения на подчиненные водные объекты осуществляется путем попадания вытекающих из двух штолен ручьев непосредственно в р. Холодную. В ручьях, несущих штольневые воды, наблюдаются очень высокие показатели загрязнения тяжелыми металлами: содержание цинка, алюминия, марганца, меди, кобальта, свинца, кадмия, теллура и стронция превышает предельно допустимые концентрации, фоновые значения превышает содержание более 40 металлов.

В р. Холодной непосредственно после впадения ручьев обнаружено превышение фоновых значений, превышение ПДК зафиксировано для цинка, расчеты показали, что водами реки его переносится ежедневно около 1,7 кг. В результате значительного разбавления при движении от месторождения вниз по течению реки концентрации металлов заметно уменьшаются. В нижнем течении превышения фоновых значений поступающих из месторождения тяжелых металлов в настоящее время не выявлено. Тем не менее, для устойчивого состояния уникальных водных экосистем Байкала в долгосрочном периоде необходимо предотвратить любое существенное антропогенное воздействие.

Для более точной оценки воздействия Холоднинского месторождения на окружающую среду следует провести, наряду с гидрохимическим опробованием, режимные наблюдения, а также оценить его влияние на другие компоненты ландшафта с применением ранее успешно себя зарекомендовавшего системного подхода для решения поставленных задач. Также представляется необходимой организация мониторинга качества вод р. Холодной и залива Ангарский Сор.

Выражаем благодарность. Полевые исследования и лабораторные работы проведены за счет средств ИФК «Метрополь». Обработка материала и подготовка статьи – при поддержке гранта РНФ 14-27-00083. Авторы выражают благодарность участникам экспедиционных исследований – студентам и аспирантам географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова. Особая благодарность – старшему консультанту ООО «Рэмболл Си-Ай-Эс» Антону Олеговичу Ившину и консультанту И-АР-ЭМ Евразия Лимитед Антону Андреевичу Горлову за помощь в организации и проведении полевых работ и обработке полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kislov E.V., Plyusnin A.M. The problems of development of the Kholodninskoye lead and zinc deposit (Northern Baikal region) // Geography and Natural Resources. 2009. Vol. 30, Iss. 4. P. 340–344.
2. Постановление Правительства РФ «О федеральной целевой программе «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы» (с изм. на 17 марта 2018 г.)» Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902365895> (дата обращения: 18.11.2018).
3. *Верхозина Е.В., Верхозина В.А., Протасова Л.Е.* Экологические проблемы в сфере водопользования Байкальского региона // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2011. Т. 48. № 1. С. 237–241.
4. *Айбулатов Н.А.* Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. ИО РАН им. П.П. Ширшова. М.: Наука, 2007. 364 с.
5. *Коротаев В.И.* Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем. М.: Изд-во МГУ, 2012, 540 с.
6. *Лымарев В.И.* Морские берега и человек. М.: Наука, 1986. 160 с.
7. Roger H. Charlier Coastal zone: Occupancy, management and economic competitiveness // Ocean and Shoreline Management. 1989. Vol. 12. Iss. 5–6, P. 383–402.
8. *Зубов В.П., Михайленко О.В.* Организационно-технические проблемы разработки Холодненского полиметаллического месторождения // Записки Горного института. 2011. Т. 190. С. 318–322.
9. *Дистанов Э.Г.* Холоднинское колчеданно-полиметаллическое месторождение в докембрии Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1982. 208 с.

10. Tulokhonov A.K., Slipenchuk M.V., Dmitriyeva N.G. Development of the mining cluster in the Transbaikalia: problems and solutions//Geography and Natural Resources.2010. Vol. 31.Iss. 1. P. 53–57.
11. Авдонин В.В., Бойцов В.Е., Григорьев В.М. Месторождения металлических полезных ископаемых. М.: Академический проект, 2005. 720 с.
12. Guide to inductively coupled plasma mass spectrometry handbook. 2005. Ed. S. M. Nelms. CRC Press: Boca Raton, 244 с.
13. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 397 с.
14. ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». М.: Минздрав России. 2003. 213 с.
15. Федеральный закон Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Режим доступа:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/. (дата обращения: 14.11.2018).
16. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометиздат, 1970. 444 с.
17. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей, 2000. 768 с.
18. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 394 с.
19. Колобов Р.Ю. Байкал как объект Всемирного значения ЮНЕСКО: история и современность// Пролог: журнал о праве. 2018. С. 33–39.
20. Рыженков А.Я. О принципах охраны озера Байкал // Вестник Омской юридической академии. 2018. С. 137–141.

Для цитирования: Кошовский Т.С., Санин А.Ю., Пузанова Т.А., Ткаченко О.В., Геохимическое воздействие Холоднинского свинцово-цинкового месторождения на аквальные ландшафты Северного Прибайкалья// Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 49-62.

Сведения об авторах:

Кошовский Тимур Сергеевич, научный сотрудник, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: tkzv@ya.ru

Санин Александр Юрьевич, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Россия, 119034, Москва, Кропоткинский переулок, 8; e-mail: eather86@mail.ru

Пузанова Татьяна Алексеевна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: puzanova@mail.ru

Ткаченко Олег Валерьевич, лаборант, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1.

GEOCHEMICAL IMPACT OF KHOLODNINSK LEAD-ZINC DEPOSIT ON AQUATIC LANDSCAPES OF NORTHERN PART OF THE BAIKAL REGION

Timur S. Koshovskiy¹, Aleksandr Y. Sanin², Tatyana A. Puzanova¹, Oleg V. Tkachenko¹

E-mail: tkzv@ya.ru

¹M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Moscow, Russia

Abstract: The features of pollution of aquatic environments (river and lake) in the area of impact of Grodnenskoe polymetallic mine, located in the water basin of the lake Baikal (Republic of Buryatiya) is considered. The main existing sources of pollution, the degree of toxicity and the scale of the impact on the drainage watercourses, as well as the peculiarities of transportation of pollutants were determined. Existing spatial zones of ecological risk for aquatic landscapes associated with modern geochemical impact of Kholodninskoe mine were revealed. Today, it is a part of the Kholodnaya River basin, which flows near the mine and receives water streams from abandoned tunnels. In the waters of these streams very high concentrations of pollutants (a number of heavy metals) have been revealed. They are hundreds and thousands times higher than the maximum permissible concentration. After the confluence of streams with the Chpolodnaya River pollution zone have been formed, within which the concentration of zinc in the waters of the river exceeds the normative values. For the TyyaRiver, which drains the ore body, but does not receive streams from the tunnels, significant excess of standards for the heavy metals content have not been found. Directly in the water area of the Lake Baikal, including the Gulf of Angarskiy Sor, where the Kholodnaya River flows, significant excess of permissible values was not identified, either. Based on the analysis of the selected samples, Conclusions based on the selected samples analysis have been made on specific features of current chemical elements migration in the «Kholodnaya River – Lake Baikal» system at the present level of economic activity, as well as the prospects for the future.

Key words: Baikal, geochemistry of landscapes, heavy metals, pollution, migration of pollutants, aquatic landscapes.

About the authors:

Timur S. Koshovskiy, Researcher, M.V. Lomonosov Moscow State University Department of Geography Chair of Landscape Geo/chemistry and Soil Geography, Leninskiye Gory, 1, Moscow 119234, Russia; e-mail: tkzv@ya.ru

Aleksandr Y. Sanin, Senior Researcher, Candidate of Geographical Sciences, N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Kropotkinskiy Pereulok, 8, Moscow, 119034, Russia; e-mail: eather86@mail.ru

Tatyana A. Puzanova, Senior Researcher, Candidate of Geographical Sciences, M.V. Lomonosov Moscow State University Department of Geography Chair of Landscape Geo/chemistry and Soil Geography, Leninskiye Gory, 1, Moscow 119234, Russia; e-mail: puzanova@mail.ru

Oleg V. Tkachenko, Lab Assistant, M.V. Lomonosov Moscow State University Department of Geography Chair of Landscape Geo/chemistry and Soil Geography, Leninskiye Gory, 1, Moscow 119234, Russia

For citation: Koshovskiy T.S., Sanin A.Y., Puzanova T.A., Tkachenko O.V. *Geochemical Impact of Kholodninsk Lead-zinc Deposit on Aquatic Landscapes of Northern Part of the Baikal Region // Water Sector of Russia. 2019. No 5. P. 49-62.*

REFERENCES

1. *Kislov E.V., Plyusnin A.M.* The problems of development of the Kholodninskoye lead and zinc deposit (Northern Baikal region) // *Geography and Natural Resources*. 2009. Vol. 30, Iss. 4. P. 340–344.
2. Postanovleniye Pravitelstva RF “O federalnoy tselevoy programme “Okhrana ozera Baikal i sotsialno-ekonomicheskoy razvitiye Baikalskoy prirodnoy territoriyi na 2012-2020 gody” (s izm. Na 17 marta 2018 g.) [Order of the Government of the Russian Federation “About Federal target program “Protection of the Lake Baikal and social/economic development of the Baikal nature territory for 2012-2020” (with amendments dated March 17, 2018)] Access regime: <http://docs.cntd.ru/document/902365895> (date of address: 18.11.2018).
3. *Verkhovina Y.V., Verkhovina V.A., Protasova L.E.* Ekologicheskiye problemy v sfere vopolzovaniya Baikalskogo regiona [Ecological problems in the sphere of water use of the Baikal Region // *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011. V. 48. No 1. pp. 237–241.
4. *Aybulatov N.A.* Deyatelnost Rossiyi v pribrezhnoy zone moray i problemy ekologiyi [Russia’s activities in the sea coastal zone and problems of ecology]. IO RAN im. P.P. Shirshova. M.: Nauka, 2007. 364 p.
5. *Korotayev V.I.* Ocherki po geomorfologiyi ustyevykh i beregovykh sistem [Outlines on geomorphology of the mouth and coast systems]. M.: Izd-vo MGU, 2012, 540 p.
6. *Lymarev V.I.* Morskiye beregaichelovek [Seacoast and human being]. M.: Nauka, 1986. 160 p.
7. *Roger H.* Charlier Coastal zone: Occupancy, management and economic competitiveness // *Ocean and Shoreline Management*. 1989. Vol. 12, Iss. 5–6, P. 383–402.
8. *Zubov V.P., Mikhailenko O.V.* Organizatsionno-tekhnicheskyye problemy razrabotki Kholodnenskogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya [Organizational/engineering problems of the Kholodnenskoye complex ore deposit development] // *Zapiski Gornogo instituta*. 2011. V. 190. pp. 318–322.
9. *Distanov E.G.* Kholodninskoye kolchedanno-polimetallicheskoye mestorozhdeniye v dokembriyi Pribaikalya [Kholodninskoye pyrites/complex ore deposit in the Baikal region Pre-Cambrian]. Novosibirsk: Nauka, 1982. 208 p.
10. *Tulokhonov A.K., Slipenchuk M.V., Dmitriyeva N.G.* Development of the mining cluster in the Transbaikalia: problems and solutions // *Geography and Natural Resources*. 2010. Vol. 31. Iss. 1. P. 53–57.
11. *Avdonin V.V., Boytsov V.E., Grigoryev V.M.* Mestorozhdeniya metallicheskikh [Deposits of metallic ores]. M.: Akademicheskii proyekt, 2005. 720 p.
12. Guide to inductively coupled plasma mass spectrometry handbook. 2005. Ed. S. M. Nelms. CRC Press: Boca Raton, 244c.
13. *Dobrovolskiy V.V.* Osnovy biogeokhimiyyi [Fundamental bio/geo/chemistry]. M.: Akademia, 2003. 397 p.
14. GN 2.1.5.1315-03 “Predelno dopustimiye kontsentratsiyi (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh onyektov khozyaystvennogo-pityevogo i kulturno-bytovogo vopolzovaniya” [GN 2.1.5.1315-03 “Maximal permissible concentrations (MPC) of chemical substances in the domestic/drinking and recreational water supply sources’ water”]. M.: Minzdrav Rossiyi. 2003. 213p.
15. Federalniy zakon Rossiyskoy Federatsiyi “O sanitarno-epidemiologicheskoy blagopoluchiyi naseleniya” No 52-FZ. Sanitarno-epidemiologicheskyye trebovaniya k kachestvu pochvy 2.1.7.1287-03. [Federal law of the Russian Federation “About sanitary-epidemiological safety of the population” No. 52-FZ. Sanitary-epidemiological requirements to the soil

- quality 2.1.7.1287-03]. Access regime: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/. (Date of address: 14.11.2018).
16. *Alekin O.A.* Osnovy gidrokhimiyi [Fundamental hydro/chemistry]L.: Gidrometizdat, 1970. 444 p.
 17. *Perelman A.I., Kasimov N.S.* Geokhimiyalandshafta [Geochemistryofalandscape]. M.: Astreya, 2000. 768 p.
 18. *Solovov A.P.* Geokhimiicheskiye metody poiskov mestorozhdney poleznykh iskopayemykh [Geo/chemical methods of minerals' deposits prospecting]. M.: Nedra, 1985. 394 p.
 19. *Kolobov R.Y.* Baikal kak obyekt Vsemirnogo nacheniya YuNESKO: istoriya i sovremennost [Baikal as a UNESCO World Heritage Site: history and contemporaneity] // Prolog: zhurnal o prave. 2018. pp. 33–39.
 20. *Ryzhenkov A.Y.* O printsipakh okhrany ozera Baykal [On the principles of the Lake Baikal protection] // Vestnik Omskoy yuridicheskoy akademiyi. 2018. pp. 137–141.

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

WATER RESOURCES MANAGEMENT



РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В КЛЯЗЬМИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ОТ БЕРЕГОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ДИФфуЗНОГО ХАРАКТЕРА*

Е.В. Веницианов¹, Н.В. Кирпичникова¹, А.А. Тиунов^{2,3}

E-mail: eugeny.venitsianov@gmail.com

¹ ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук»,
Москва, Россия

² «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» –
филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия

³ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного
использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия

АННОТАЦИЯ: В последние десятилетия на водосборах заметно снизилась антропогенная нагрузка в промышленном и сельскохозяйственном секторах. Однако при этом не отмечено заметного улучшения качества воды водных объектов. Одна из основных причин такой ситуации – отсутствие стратегии снижения нагрузки от сосредоточенных по водосбору (диффузных) источников загрязнения, в т. ч. развитие дачного и коттеджного строительства непосредственно на берегах водоемов. Диффузные загрязнения стали основными источниками загрязнения для многих водных объектов. Опасность диффузных загрязнений особенно велика в период интенсивного поверхностного смыва – дождевых паводков и половодья. Игнорируя этот фактор, российское водное законодательство в последние годы резко «смягчило» регламент хозяйственной деятельности в водоохраных зонах и зонах санитарной охраны водных объектов, в т. ч. источников питьевого водоснабжения.

В статье рассмотрен метод математического моделирования расчета величины диффузного стока с берегового участка Клязьминского водохранилища – одного из источников водоснабжения Москвы. Этот метод позволяет также определить границы поясов зон санитарной охраны водозабора станций водоподготовки. Необходимо оценить мощность поверхностного стока при различных метеоусловиях и трансформацию загрязнения при распространении загрязняющих веществ по течению. Разработанный метод может быть использован для расчета диффузных загрязнений и для других водных объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водохранилище, качество воды, водоохранная зона, защитная полоса, зона санитарной охраны, математическая модель, диффузное загрязнение.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00842

© Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В., Тиунов А.А., 2019

Водоснабжение Москвы осуществляется через Москворецкую (60 % водоподачи) и Волжскую (40 %) системы. Из Иваньковского водохранилища через канал им. Москвы и сеть малых водохранилищ водораздельного бьефа вода подается в столицу. Клязьминское водохранилище является замыкающим, из него вода поступает на Северную станцию водоподготовки.

В бассейне Верхней Волги в течение нескольких десятилетий проводилась государственная водоохранная политика, направленная в основном на сокращение сброса промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод городов. Вследствие совершенствования систем очистки, развития оборотного и повторного водоснабжения в 1970–1980 гг. в Иваньковском водохранилище наблюдалось многократное уменьшение концентраций ингредиентов техногенного происхождения – цинка, меди, СПАВ и др. [1]. Однако по таким показателям, как взвешенные, органические вещества, биогенные элементы, нефтепродукты, улучшения качества воды не произошло [2]. Ситуация отсутствия ожидаемого эффекта улучшения качества воды была характерна в 1970–1980 гг. для всех бассейнов Российской Федерации. Как показали исследования, это было вызвано воздействием неконтролируемых источников загрязнения, имеющих, в основном, диффузный (распределенный по водосбору) характер поступления в гидрографическую сеть [3].

Традиционным и доказавшим свою экологическую эффективность методом борьбы с поступлением загрязняющих веществ в природную гидросферу является организация водоохранных зон (ВЗ) по берегам рек, озер и водохранилищ. Особенно жесткие требования к состоянию ВЗ предъявляются к водным объектам – источникам питьевого водоснабжения. Они обоснованно рассматриваются как необходимый растительно-почвенный барьер, предотвращающий загрязнение, засорение и истощение водных объектов. Начавшаяся с середины 1980-х годов массовая, хаотическая застройка водоохранных зон РФ стала причиной ослабления их барьерной роли. Особую тревогу представляет застройка зон санитарной охраны источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения [4].

Водное законодательство СССР было довольно жестким: граница ВЗ устанавливалась на расстоянии 3 км от уреза воды, предусматривался строгий регламент хозяйственной деятельности [5, 6]. При этом размеры ВЗ и прибрежных защитных полос водных объектов устанавливались, исходя из физико-географических, почвенных, гидрологических и других условий с учетом прогноза изменения береговой линии водных объектов с целью предотвращения загрязнения водных объектов, их засорения и истощения, а также сохранения среды обитания животного и растительного мира.

В Водном кодексе РФ [7] из десяти ранее запрещенных в ВЗ видов деятельности остались только четыре:

- использование сточных вод для удобрения почв;
- размещение кладбищ, скотомогильников, мест захоронения отходов производства и потребления, радиоактивных, химических, взрывчатых, токсичных, отравляющих и ядовитых веществ;
- осуществление авиационных мер по борьбе с вредителями и болезнями растений;
- движение и стоянка транспортных средств (кроме специальных транспортных средств), за исключением их движения по дорогам и стоянки на дорогах и в специально оборудованных местах, имеющих твердое покрытие.

При этом максимальная ширина водоохранных зон определена в размере 200 м. В границах ВЗ устанавливаются прибрежные защитные полосы, на территориях которых вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности (запрещается распашка земель, размещение отвалов размываемых грунтов, выпас сельскохозяйственных животных и организация для них летних лагерей, ванн) [8]. Максимальная ширина прибрежных защитных полос – 50 м.

Кроме того, исключена из водного законодательства обязанность согласовывать с органами Росводресурсов предоставление земельных участков в водоохранных зонах и проведение строительства и реконструкции зданий, сооружений, коммуникаций и других объектов, а также землеройных и других работ. С 1 января 2007 г. разрешена приватизация земельных участков в водоохранных зонах. Прямой запрет на передачу таких земельных участков в частную собственность ранее был установлен п. 8 ст. 28 ФЗ «О приватизации государственного и муниципального имущества» [9].

Таким образом, современное водное законодательство предьявляет значительно меньше требований к использованию водоохранных зон, что привело к неконтролируемому росту нагрузки на водные объекты.

Основным мотивом для установления более мягкого режима водоохранных зон является заинтересованность региональных и местных органов власти в росте коттеджно-дачной застройки территорий этих зон. Этот рост типичен для большинства водоемов и крупных рек России. Не удивительно, что он коррелирует с ростом объемов поступления загрязняющих веществ в водные объекты от диффузных неконтролируемых источников. Аналогичные тенденции наблюдаются и на водоохранной зоне Клязьминского водохранилища.

В развитых странах действует весьма либеральное законодательство, но при жестком исполнении установленных требований. В качестве примера сошлемся на опыт США. Clean Water Act (CWA) – Закон о чистой воде –

базовая структура по регулированию сбросов загрязненных вод в США [10]. Одной из основных задач является регулирование загрязнения из диффузных источников, которое осуществляется путем поддержки акций волонтеров, проведения информационных и образовательных кампаний, привлечения общественных и бизнес-корпораций, сотрудничества общественных и частных структур, экономического и морального стимулирования, поддержки деятельности НПО, принятия стандартов по диффузным источникам загрязнения.

В настоящее время особое значение придается более гибким мерам контроля над загрязнением воды [11]: это методы переговоров, дискуссий, убеждений и компромиссов, которые демонстрируют свою эффективность. Предметом переговоров и компромиссов являются вопросы нормирования сбросов, выбора стратегий уменьшения загрязнений путем применения наилучших природоохранных практик. Большую роль при этом играют социальные сети. К контролю над загрязнением водных объектов присоединяются фермеры, владельцы или арендаторы земельных участков, промышленники, гражданские группы. Происходит кооперация государственных и негосударственных организаций, причем последние играют все возрастающую роль.

В 1999 г. Агентство по охране окружающей среды (EPA) создало новую систему ограничений и запретов на выбросы от диффузных источников загрязнения, которая основывается на разработке норм максимальных дневных суммарных выбросов (Total Maximum Daily Load – TMDL). TMDL различаются для участков сельскохозяйственного, рекреационного и пр. использования. При разработке TMDL широко используются математические модели.

Источники загрязнения, находящиеся на территории, для которой разработаны TMDL, могут сокращать сбросы по своему усмотрению. Главное, чтобы сумма сбросов из точечных и рассеянных источников на данной территории не превышала установленные нормативы [12].

Практика привлечения владельцев земельных участков, в т. ч. в водоохраных зонах, в России не получила развития. Однако в настоящее время появились экономически успешные владельцы земельных участков, которые заинтересованы в поддержании экологического статуса водного объекта, в зоне которого расположен земельный участок, и благоприятного для рекреации состояния ландшафтов и биоты. Экономически состоятельные собственники вполне могут обеспечить проведение соответствующих природо- и водоохраных мероприятий.

В соответствии с Водным кодексом в границах водоохраных зон допускается строительство объектов недвижимости при условии их оборудования сооружениями, обеспечивающими защиту водных объектов от

загрязнения и засорения. Для строительства объектов на землях особо охраняемых природных территорий предусмотрена обязательная государственная экологическая экспертиза проектной документации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для водных объектов – источников питьевого водоснабжения – установлены границы и основные мероприятия на территории и акватории зон санитарной охраны (ЗСО) в соответствии с Санитарно-эпидемиологическими правилами СП 2.1.4.2625-10 «Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы» [13]:

«3.4. Границы 2 пояса ЗСО станций водоподготовки и гидроузлов.

3.4.1. Верхняя граница 2 пояса ЗСО по акватории источника водоснабжения должна быть удалена вверх по течению от плотины гидроузла на расстояние, чтобы время для пробега по основному водотоку, притокам первого порядка и акватории водохранилища до плотины гидроузла было не менее 5 суток (при расходе воды 95 % обеспеченности), но не далее створа плотины вышележащего гидроузла.

3.4.2. Нижняя граница соответствует створу водозабора или гидроузла».

Большинство источников загрязнения в прибрежных зонах водных объектов носят диффузный характер. Имеется принципиальное различие точечных и диффузных источников. Характерные особенности диффузных источников загрязнения водных объектов:

- динамичное изменение расхода и состава загрязняющих веществ;
- сильная связь с осадками;
- параметры качества могут меняться в пределах нескольких порядков;
- поступление в водный объект происходит распределенно вдоль берега;
- необходимы специальные методы мониторинга;
- требуется привлечение математических моделей для оценки загрязнений.

В случае Клязьминского водохранилища основная задача заключается в обосновании допустимой мощности берегового диффузного источника загрязнения и определении положения створа с периодом времени добегающего пять суток согласно п. 3.4.1 требований [13].

Предполагаемый (проектируемый) источник загрязнения расположен на южном берегу (левом по течению воды в канале). Это участок площадью 5 га, длина береговой линии – 317 м, расположенный в 2513 м от устья канала им. Москвы и в 7109 м от водозабора на Северную станцию водоподготовки (ССВ) по фарватеру водохранилища. Функциональное назначение рассматриваемой территории – водно-спортивная база (ВСБ).

Для решения задачи прогноза распространения загрязнения с участка использовалась гидродинамическая модель Клязьминского водохранилища [14]. Модель построена на основе лицензированного, гидрологического программного пакета SMS v.11.1 (Surface-water Modeling System) компании Aquaveo LLC с использованием моделей RMA2 и RMA4. Данный программный пакет предназначен для моделирования в двухмерном приближении гидродинамики и распространения загрязнений, а также транспорта взвешенных и влекомых наносов в водном объекте. В основе программного пакета SMS v.11.1 лежат несколько моделей: ADH, RMA2, RMA4, FESWMS, TUFLOW (разработка компании BMT WBM), RiverFlow2D (разработка компании Hydronia LLC) и другие модели, позволяющие решать различные современные гидрологические задачи.

Использованы модели RMA2 и RMA4 для моделирования двухмерных течений и распространения загрязнения. Модель RMA2 – это двухмерная усредненная по глубине конечно-элементная гидродинамическая численная модель. Она вычисляет возвышения водной поверхности и горизонтальные компоненты скорости при ламинарном течении со свободной поверхностью в двумерных областях. Модуль RMA4 – это конечно-элементная численная модель переноса качества воды, в которой распределение концентрации по глубине предполагается одинаковым.

Решены следующие задачи:

1. Расчет расхода воды поверхностного стока и поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в условиях экстремального ливня.
2. Расчет векторных полей скорости течения с разными ветровыми нагрузками.
3. Расчет распространения загрязняющего вещества при поступлении его в виде кратковременного сброса (при условной 100 % концентрации) и его разбавления до водозабора ССВ при разной ветровой нагрузке.
4. Расчет зависимости концентрации в районе водозабора от времени и периода прохождения максимальной концентрации загрязняющего вещества от участка загрязнения через водозабор на ССВ.
5. Определение координат створа с временем добегания пять суток вверх по течению от водозабора ССВ в соответствии с условиями СП 2.1.4.2625-10.
6. Обоснование пояса ЗСО для указанного участка.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе необходимо задать функцию поверхностного стока, имеющего диффузный характер, с территории участка водно-спортивной базы площадью 5 га. На основании анализа метеорологических справочников [15] выявлены самые интенсивные осадки и катастрофические ливни

за весь период наблюдений (1949–2015 гг.). Максимально интенсивный ливень наблюдался 21 июня 2015 г.: за 10 ч – 41 мм осадков или $1,14 \times 10^{-3}$ мм/с. Для обоснования границы пятисуточного времени добегания авторами предложен более «жесткий» сценарий:

- интенсивность ливня принята 15 мм в течение 30 мин ($0,83 \times 10^{-2}$ мм/с), что примерно равняется максимальной интенсивности ливня по метеонаблюдениям. Однако принято, что ливень продолжался 0,5 ч, поскольку большая часть загрязняющих веществ при поверхностном смыве поступает в первой порции дождя. В пересчете на расход модельный ливень обеспечивает поступление $0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ воды с расчетного участка;

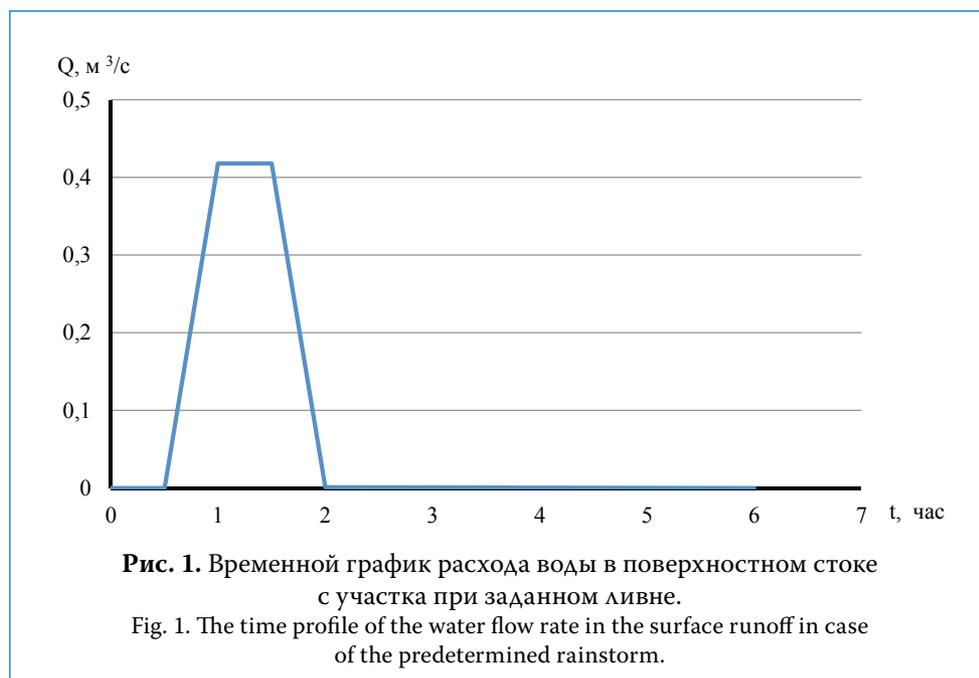
- концентрация загрязняющего вещества (ЗВ) определена как 100 %;

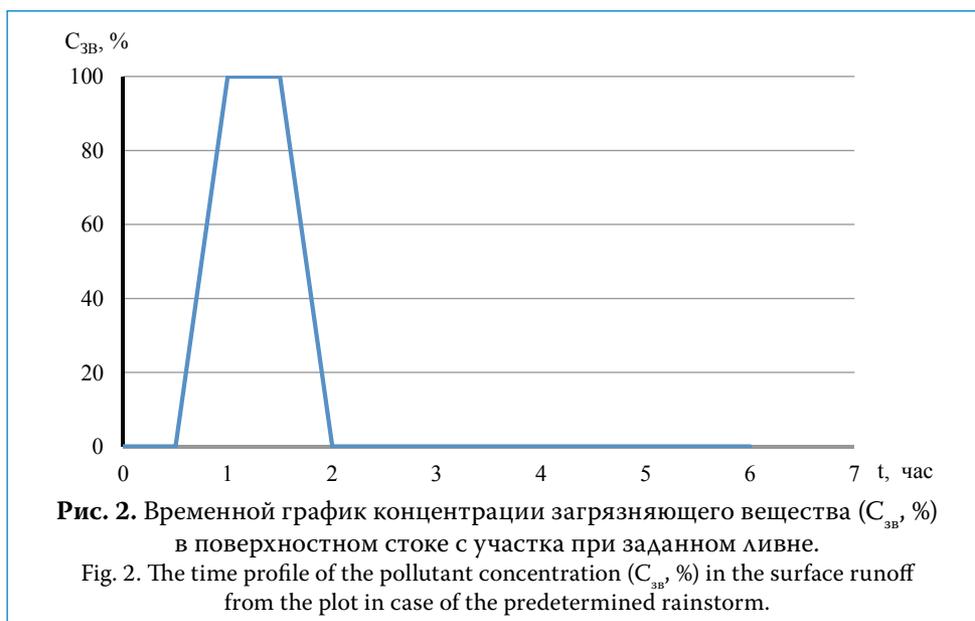
- загрязняющее вещество имеет консервативный характер, т. е. при прохождении по акватории учитывается только разбавление без учета деструкции и седиментации;

- в Клязьминское водохранилище поверхностный сток поступает диффузно по всей береговой линии длиной 317 м;

- коэффициент стока равен 1: для ливневого дождя это приемлемое приближение.

Расход поверхностного стока с заданным ливнем представлен на рис. 1, концентрация в поверхностном стоке во времени – на рис. 2.





Прогнозные оценки выполнены для пяти сценариев метеорологических условий, постоянных во времени:

- ветер отсутствует (штиль);
- ветер восточный (В), скорость 7 м/с;
- ветер восточный (В), скорость 15 м/с;
- ветер юго-западный (ЮЗ), скорость 7 м/с;
- ветер юго-западный (ЮЗ), скорость 15 м/с.

Направление и скорость ветра выбирали, исходя из анализа метеорологических данных. Наиболее благоприятное направление ветра для распространения пятна загрязнения к Северной станции дают сценарии 2, 3, к каналу – сценарии 4, 5.

Ветровые условия формируют ветровые течения на внутренних водоемах и основную роль играют скорость и направление ветра [16]. При малых скоростях транзитного течения в водохранилищах сильный ветер с противоположным направлением относительно транзитного потока формирует обратные и циркуляционные течения. В сценариях 2 и 3 предлагается именно такой ветер.

Для всех пяти сценариев были выбраны одинаковые среднелетние граничные условия:

- расход воды в канале им. Москвы на входе (А) в Клязьминское водохранилище – 40,0 м³/с, что соответствует 95 % обеспеченности (требование СП -2.1.4.2625-10);

- расход воды через Пироговский гидроузел (П) – $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход воды на водозаборе ССВ – $5,01 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход воды на Черкизовском водозаборе (Ч) – $1,505 \text{ м}^3/\text{с}$;
- уровень воды в Клязьминском водохранилище – $162,1 \text{ м}$;
- расход воды на участке смыва загрязнения на рассмотренном участке задавался по кривой, представленной на рис. 1;
- концентрация загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих с поверхностным стоком с участка, задавалась по кривой, представленной на рис. 2;

На рис. 3 дана карта глубин Клязьминского водохранилища и указаны места задания граничных условий:

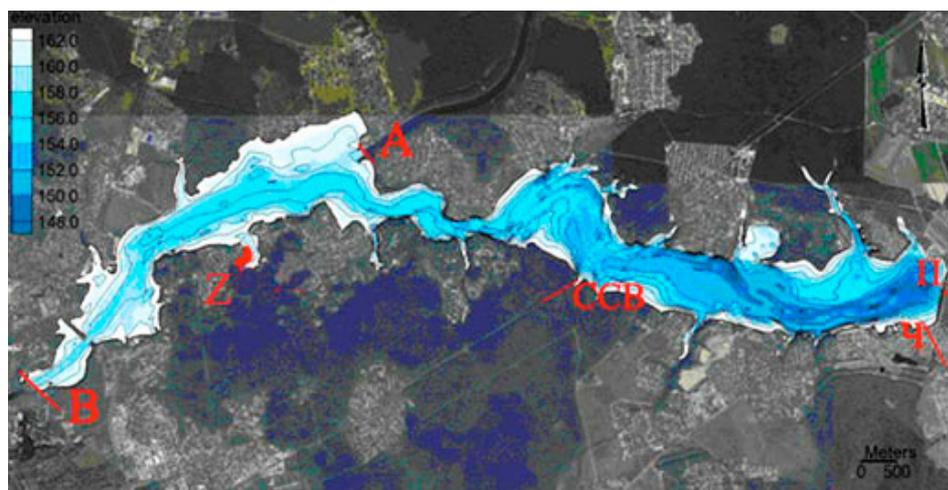


Рис. 3. Принятая морфометрия для построения гидродинамической модели Клязьминского водохранилища с нанесенными точками задания граничных условий (Z – рассмотренный береговой участок; створ А – вход в Клязьминское водохранилище канала им. Москвы; створ В – выход канала им. Москвы из Клязьминского водохранилища; ССВ – Северная станция водоподготовки; Ч – Черкизовский водозабор; П – Пироговский гидроузел).

Fig. 3. The adopted morphometry for construction of a model of the Klyazma Reservoir with the marked points of the preset conditions (Z is the bank line under consideration; reach A is the entrance of the Moscow Canal to the Klyazma Reservoir; reach B is the exit point of the Klyazma Canal from the Klyazma Reservoir; ССВ is the Northern Water Treatment Station; Ч is the Cherkizovo water intake; П is the Pirogovo hydraulic facilities).

На втором этапе рассчитывали указанные выше пять скоростных режимов в водохранилище с разными ветровыми нагрузками.

На третьем этапе выполняли математическое моделирование распространения загрязнений для пяти сценариев. Определены векторы скоро-

стей и концентрации загрязняющих веществ в процентах по отношению к 100 % выпуску с территории участка Z.

Разработанная математическая модель для Клязьминского водохранилища позволяет решить четвертую задачу – получить зависимость концентрации загрязняющих веществ от времени на водозаборе ССВ и расчет времени добегающей максимальной концентрации. Результаты расчетов по пяти сценариям представлены в таблице.

Таблица. Результаты расчетов прохождения концентрации загрязняющих веществ на водозаборе ССВ в % от начальной, выпущенной с береговой линии участка Z, определенные по пяти сценариям ветровой нагрузки.
Table. Results of calculations of the pollutants' concentration passage on the North Water Treatment Station water intake in % of the initial concentration started from the Z bank line determined by five scenarios of wind load.

Сценарий	Направление и скорость ветра, м/с	Расход воды по каналу им. Москвы, м ³ /с	Максимальная концентрация ЗВ, добегающая до створа водозабора СССР, %	Время добегающей ЗВ до створа водозабора ССВ, сут/ч
1	Штиль, 0	40	$4,6 \times 10^{-11}$	22/18
2	Восточный, 7	40	$28,17 \times 10^{-6}$	21/23
3	Восточный, 15	40	$194,02 \times 10^{-6}$	20/00
4	Юго-западный, 7	40	$49,88 \times 10^{-6}$	23/17
5	Юго-западный, 15	40	$166,18 \times 10^{-6}$	23/18

Примечание: поверхностный сток с территории Z равен 0, 418 м³/с; исходная концентрация ЗВ при поступлении с территории Z считается равной 100 %.

Представленные результаты моделирования позволяют сделать вывод, что максимальное разбавление отмечено при штиле. Во всех сценариях сохраняется пикообразный характер изменения концентрации по времени.

Необходимо пояснить эффект, который наблюдается при восточном ветре. Морфометрия Клязьминского водохранилища имеет такую конфигурацию, что при ветре восточного азимута при сужении ложа водоема возникают циркуляционные течения, которые вовлекают водные массы в сторону, противоположную ветру, и время добегающей становится меньше по отношению к ситуации в штиле. Такой эффект зафиксирован на многих внутренних водоемах равнинного характера с малыми скоростями течения [17–21]. При штиле таких течений не возникает.

Математическая модель позволяет определить верхний створ 2 пояса зоны санитарной охраны (ЗСО) по отношению к водозабору на ССВ в соответствии с требованиями СП – 2.1.4.2625-10.

Принимались гидродинамические граничные условия, соответствующие штилю:

- расход воды в канале им. Москвы на входе в Клязьминское водохранилище – $40,0 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход воды через Пироговский гидроузел – $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход воды на водозаборе ССВ – $5,009 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход воды на Черкизовском водозаборе – $1,505 \text{ м}^3/\text{с}$;
- уровень воды в Клязьминском водохранилище – $162,1 \text{ м}$;
- загрязняющее вещество поступает постоянно с концентрацией 100 % из канала им. Москвы.

В результате расчета по математической модели водохранилища получена средняя скорость течения воды на участке от канала им. Москвы до водозабора ССВ – $0,007 \text{ м/с}$, умножаем ее на 5 сут и получаем расстояние 3 км. Это верхний створ зоны санитарной охраны водозабора на ССВ. Концентрации ЗВ на водозаборе ССВ представлены в таблице. В топографической привязке верхний створ границы 2 пояса ЗСО имеет координаты: левый берег – $37^\circ 36' 43.2''$ с.ш., $55^\circ 59' 13.2''$ в.д., правый берег – $37^\circ 36' 45.296''$ с.ш., $55^\circ 59' 4.876''$ в.д. Таким образом, территория участка Z (ВСБ) не входит в верхнюю границу 2 пояса ЗСО в соответствии с требованиями СП 2.1.4.2625-10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бассейне Верхней Волги в 1970–1880 годах проводилась политика, направленная на сокращение сброса промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод населенных пунктов. Ивановское водохранилище является водным объектом, обеспечивающим качество воды Верхней Волги и, благодаря каналу им. Москвы, 2/3 питьевого водоснабжения Московского мегаполиса. Вследствие проведенных мероприятий значительно уменьшились концентрации техногенных компонентов – цинка, меди, СПАВ и др. Однако по ряду показателей – взвешенным и органическим веществам, биогенным элементам, нефтепродуктам – улучшения качества воды не произошло. Следует подчеркнуть, что эта ситуация была характерна для всех бассейнов Российской Федерации. Как показали исследования, это было вызвано неконтролируемыми источниками загрязнения, имеющими, в основном, диффузный (распределенный по водосбору) характер поступления в гидрографическую сеть. Более того, уровень загрязнения стал возрастать вследствие массивированного «наступления» коттеджных застроек, чему способствовали изменения в водном законодательстве, значительно смягчившие требования к использованию водоохраных зон.

Проблема регулирования диффузных загрязнений водных объектов является актуальной в связи с принятием национальных проектов, на-

правленных на решение задач повышения качества воды водных объектов России.

В представленной работе рассмотрен метод оценки диффузного стока с территории, расположенной в береговой зоне. Сложность прогноза диффузных загрязнений заставляет использовать современные математические модели. Одна из таких моделей представлена в статье, она позволяет при наличии гидрометрической информации спрогнозировать динамику распространения залпового поступления загрязнений, типичных для диффузных источников при различных сценариях метеоусловий. Для моделируемых условий (равнинных неглубоких водохранилищ) достаточно применять двухмерную модель. Для приоритетных компонентов использовано предположение об их консервативности, что при расчетах дает более высокие значения концентраций в контрольных створах. В качестве примера взят участок площадью 5 га на берегу Клязьминского водохранилища. Функциональное назначение рассматриваемой территории – водно-спортивная база (ВСБ).

В результате расчета получено расположение створа, где при различных метеоусловиях загрязняющее вещество будет иметь концентрацию, соответствующую 1000-кратному разбавлению загрязняющего вещества, поступившего от диффузного источника. Расчет показывает, что территория участка ВСБ не входит в верхнюю границу второго пояса ЗСО в соответствии с требованиями СП-2.1.4.2625-10. Подчеркнем, что изложенный в статье метод расчета распространения загрязнения от диффузного источника без труда может быть использован и для других водных объектов и диффузных источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордин И.В., Кирпичникова Н.В. Сравнительная оценка экологической опасности поверхностных стоков с промышленных площадок и городских территорий // Промышленная энергетика. 1993. № 1. С. 32–37.
2. Кирпичникова Н.В. Неконтролируемые источники загрязнения: сб. «Иваньковское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны». М.: Наука, 2000. С. 30–36.
3. Кирпичникова Н.В. Исследование неконтролируемых источников загрязнения (на примере Иваньковского водохранилища): автореф. дис. канд. техн. наук. 1991. 24 с.
4. Кирпичникова Н.В., Куприянова Е.И. Экологическое состояние водоохранной зоны Иваньковского водохранилища и современные подходы его регулирования. Известия АН, 2003. Т. 6. С. 77–84.
5. Водный кодекс РСФСР. Утв. ВС РСФСР 30.06.1972.
6. Постановление Совета Министров РСФСР от 17.03.1989 г. № 91 «Об утверждении Положения о водоохраных зонах (полосах) рек, озер, водохранилищ в Российской Федерации».

7. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 №74-ФЗ// Собрание законодательства РФ. 2006. № 23.
8. СП 2.1.4.2625-10 «Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы».
9. Федеральный закон «О приватизации государственного и муниципального имущества» от 21.12.2001 г. № 178-ФЗ.
10. Drinking Water Health Advisory for Manganese. United states, Environmental protection agency, 2004.
11. *Salamon Lester*, editor. The New Governance and the Tools of Public Action: A Handbook: <http://jhunix.hcf.jhu.edu/toolshandbook>. P. 32–33.
12. Congressional Quarterly, Winter 1999, Nov. 4. 2000. No. 10. P. 41.
13. СП 2.1.4.2625-10 «Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы».
14. *Веницианов Е.В., Лепихин А.П., Кирпичникова Н.В.* Разработка гидродинамической модели и модели формирования загрязнений равнинного водохранилища (на примере Клязьминского водохранилища) // Водное хозяйство России. 2013. № 2. С. 96–107.
15. Интернет-ресурс: <http://meteoweb.ru/>
16. Волны, течения и водные массы водоемов. Л., 1980. 157 с.
17. *Тиунов А.А.* Разработка гидродинамической модели и модели распространения загрязнений Клязьминского водохранилища // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 11 / ГИ УрО РАН: Пермь, 2013. 298 с., С. 27–29.
18. *T. Lyubimova, A. Lepikhin, Ya. Parshakova, Yu. Lyakhin, A. Tiunov.* The modelling of the formation of technogenic thermal pollution zones in large reservoirs. // International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 126, Part A, November 2018, P. 342–352.
19. *Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Тиунов А.А., Дробный О.Ф., Вахромеев И.Е.* Разработка возможных схем снижения воздействия ОАО «МКК» на Магнитогорское водохранилище на основе вычислительных экспериментов // Водное хозяйство России. 2014. № 5. С. 85–96.
20. *Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В., Тиунов А.А.* Прогноз возможного распространения загрязнений от береговых источников загрязнения (на примере Клязьминского водохранилища) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Тр. VI Межд. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 29 мая–1 июня 2017 г.): в 3 т. Т. 2: Качество воды. Геоэкология / науч. ред. А.Б. Китаев. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. С. 14–17.
21. *Ляхин Ю.С., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Любимова Т.П., Паршакова Я.И., Коновалов В.В.* Методические особенности оценки влияния Пермской ГРЭС на температурный режим Камского водохранилища. // Тр. V Межд. науч.-практ. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». 29–31 мая 2015г. г. Пермь. Т.1. Гидро- и геодинамические процессы управления водными ресурсами. С. 64–69.

Для цитирования: Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В., Тиунов А.А., Расчет распространения загрязнений в Клязьминском водохранилище от береговых источников диффузного характера // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 64-79.

Сведения об авторах:

Веницианов Евгений Викторович, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий лабораторией охраны вод, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук» (ИВП РАН), Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: eugeniy.venitsianov@gmail.com

Кирпичникова Наталья Владимировна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория охраны вод, ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук» (ИВП РАН), Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; e-mail: nkirp@list.ru

Тиунов Алексей Александрович, инженер, лаборатории проблем гидрологии суши, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ГИ УрО РАН), Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; ведущий инженер-программист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; e-mail: alexey.tiunov@gmail.com

**THE CALCULATION OF THE POLLUTION DISTRIBUTION IN THE KLYAZMA
RESERVOIR FROM DIFFUSE BANK SOURCES**

Yevgeniy V. Venitsianov¹, Natalya V. Kirpichnikova¹, Aleksey A. Tiunov^{2,3}

¹ Institute of Water Problems RAS, Moscow, Russia

² Perm Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

³ Russian Research Institute for Water Resources Integrated Management and Protection Kama Branch, Perm, Russia

Abstract: In recent decades, anthropogenic pressure in the industrial and agricultural sectors has decreased markedly in catchments. However, there was no noticeable improvement in the water quality of water bodies. One of the main reasons for this situation is the lack of a strategy to reduce the load from the dispersed catchment (diffuse) sources of pollution, including the development of cottage and cottage construction directly on the banks of reservoirs. In contrast to point sources of pollution, there are no regulatory and methodological documents for the calculation of diffuse pollution. Diffuse pollution has become a major source of pollution for many water bodies. The risk of diffuse contamination is especially great in a period of intense surface runoff, i.e. rainfall floods and river floods. Ignoring this factor, the Russian water legislation in recent years has sharply «softened» the regulations of economic activity in water protection zones (WPZ) and sanitary protection zones (SPZ) of water bodies, including sources of drinking water supply. The article describes a method of mathematical modeling of calculating the diffuse flow from the coastal section of the Klyazma reservoir – one of the sources of water supply in Moscow. This method also makes it possible to determine the boundaries of the water intake zones of water treatment plants. It is necessary to estimate the power of surface runoff under different weather

conditions and the transformation of pollution during the spread of pollutants downstream. The developed method can be used to calculate diffuse pollution for other water bodies

Key words: reservoir, water quality, water protection zone, protective strip, sanitary protection zone, mathematical model, time of reaching.

About the authors:

Yevgeniy V. Venitsianov, Doctor of Physical/mathematical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Waters Protection, Russian Academy of Sciences Institute of Water Problems, ul Gubkina, 3, Moscow 119333, Russia; e-mail: eugeniy.venitsianov@gmail.com

Natalya V. Kirpichnikova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Waters Protection, Russian Academy of Sciences Institute of Water Problems, ul Gubkina, 3, Moscow 119333, Russia; e-mail: nkirp@list.ru

Aleksey A. Tiunov, Engineer, Laboratory of Inland Hydrology Problems, Russian Academy of Sciences Ural Branch Institute of Mining – Perm Federal Research Center, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; Engineer/programmer, RosNIIVKh Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; e-mail: alexey.tiunov@gmail.com

For citation: *Venitsianov Y.V., Kirpichnikova N.V., Tiunov A.A. The Calculation of the Pollution Distribution in the Klyazma Reservoir from Diffuse Bank Sources// Water Sector of Russia, 2019, No. 5. P. 64-79.*

REFERENCES

1. *Gordin I.V., Kirpichnikova N.V. Sravnitel'naya otsenka ekologicheskoy opasnosti pov-erkhnostnykh stokov s promyshlennykh ploshchadok i gorodskikh territoriy* [Comparative assessment of environmental hazards of surface effluents from industrial sites and urban areas] // *Promyshlennaya energetika*. 1993. No. 1. P. 32-37.
2. *Kirpichnikova N.V. Nekontroliruyemye istochniki zagryazneniya* [Uncontrolled sources of pollution]. In the book.: «Ivankovskoe reservoir. Current state and problems of protection», M., Nauka, 2000. P. 30-36.
3. *Kirpichnikova N.W. Issledovaniye nekontroliruemyykh istochnikov zagryazneniya (na primere Ivankovskogo vodokhranilishcha)*: [Study of uncontrolled sources of pollution (on the example of the Ivankov reservoir)] avtoref. dis. kand. tekhn. nauk 1991. 24 P.
4. *Kirpichnikova N.W., Kupriyanova E.I. Ekologicheskoye sostoyaniye vodookhrannoy zony Ivankovskogo vodokhranilishcha i sovremennyye podkhody yego regulirovaniya* [Ecological state of the water protection zone of the ivankovsky reservoir and modern approaches to its regulation]. *News of Academy of Sciences*, 2003. Vol. 6. P. 77-84.
5. *Vodniy kodeks RSFSR* [Water Code of the RSFSR] 30.06 1972.
6. *Postanovleniye Soveta Mnistrov RSFSR of 17.03.1989 g. № 91 "Ob utverzhdeniyi Polozheniya o vodookhrannykh zonakh (polosakh) rek, ozer, vodokhranilishch v Rossiyskoy Federatsiyi"* [Resolution of the Council of Ministers of the RSFSR of 17.03.1989 № 91 «On approval of the Regulations on water protection zones (bands) of rivers, lakes, reservoirs in the Russian Federation»].
7. *Vodniy kodeks Rossiyskoy Federatsiyi* [The Water Code of the Russian Federation] of 03.06.2006 № 74-FZ.
8. *SR 2.1.4.2625-10 "Zony sanitarnoy okhrany istochnikov pityevogo vodosnabzheniya g. Moskvyy"* ["Zones of sanitary protection of sources of drinking water supply of Moscow".
9. *Federalniy zakon No. 178-fl ot 21.12.2001 "O privatizatsiyi gosudarstvennoy i munitsipalnoy sobstvennosti"* [Federal law No. 178-FL of 21.12.2001 «On privatization of state and municipal property»].

10. Drinking Water Health Advisory for Manganese. United states, Environmental protection agency, 2004.
11. Salamon Lester, editor. The New government and the Tools of Public Action: A Handbook: <http://jhunix.hcf.jhu.edu/toolshandbook> ahhh! Pp. 32-33.
12. Congressional Quarterly, Winter 1999, Nov. 4, 2000, № 10. P. 41.
13. SP 2.1.4.2625-10 "Zony sanitarnoy okhrany istochnikov pityevogo vodosnabzheniya g. Moskvyy"[SP 2.1.4.2625-10 «Zones of sanitary protection of sources of drinking water supply of Moscow»].
14. *Venitsianov E.V., Lepikhin A.P., Kirpichnikova N.V.* Razrabotka gidrodinamicheskoy modeli i modeli formirovaniya zagryazneniy ravninnogo vodokhranilishcha (na primere Klyazminskogo vodokhranilishcha) [Development of hydrodynamic model and model of formation of pollution of the plain reservoir (on the example of the Klyazma reservoir)] // Water Sector of Russia: problems, technologies, management. 2013. No. 2. P. 96–107.
15. Internet resource: <http://meteoweb.ru/>
16. Volny, techeniya i vodniye massy vodoyomov [Waves, currents and water masses of reservoirs]. L.; 1980. 157 p.
17. *Tiunov A.A.* Razrabotka gidrodinamicheskoy model i modeli rasprostraneniya zagryazneniy Klyazminskogo vodokhranilishcha [Development of a hydrodynamic model and models of distribution of pollution of Klyazma reservoir] // Strategy and processes of mastering of geo-resources. Collection of proceedings. Issue. 11 / GI URO RAN. Perm, 2013.
18. *T. Lyubimova, A. Lepikhin, Ya. Parshakova, Yu. Lyakhin, A. Tiunov.* The modelling of the formation of technogenic thermal pollution zones in large reservoirs. // International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 126, Part A, November 2018, P. 342–352.
19. *Venitsianov E.V., Lepikhin A.P., Kirpichnikova N.V.* Razrabotka gidrodinamicheskoy model i modeli formirovaniya zagryazneniy ns ravninnom vodokhranilishche (na primere Klyazminskogo Vodokhranilishcha) [Development of hydrodynamic model and model of formation of pollution of the plain reservoir (on the example of the Klyazma reservoir)] // Water Sector of Russia: problems, technologies, management. 2013. No. 2. P. 96–107.
20. *Lepikhin A. P., Lyakhin Y. S., Tiunov A. A., Drobny O. F., Vakhromeev I. E.* Otrabotka vozmozhnykh skhem sniheniya vozdeystviya OAO "MKK" na Manitogoskoye vodokhranilishche na onove vychislitelnykh eksperimentov [Development of possible schemes to reduce the impact of JSC «MMK» on the Magnitogorsk reservoir on the basis of computational experiment]s // Water Sector of Russia: problems, technologies, management. 2014. No. 5. P. 85–96.
21. *Lepikhin A.P., Lyubimova T.P., Lyakhin Y.S., Parshakova Ya.I., Tiunov A.A.* Construction of combined 2D – 3D models for assessment of thermal impact zones of the Perm GRES on the Kama reservoir // 2nd international conference «Perm hydrodynamic scientific readings». Proceedings of the conference. Perm December 2-4, 2014. P. 49–50.
22. *Lyakhin Y.S., Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Lyubimova T.P., Parshakova Y.I., Konovalov V.V.* Metodicheskiye osobennosti otsenki vliyaniya Permskoy GRES na temperaturniy rezhim Kamskogo vodokhranilishcha [Methodological features of an estimation of influence of the Perm GRES on the temperature regime of the Kama reservoir]. // Proceedings of the V International scientific-practical conference «Modern problems of reservoirs and their catchments». May 29-31, 2015. Perm. Vol.1. Hydro – and geodynamic processes of water resources management, P. 64–69.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА

Б.Т. Курбанов

E-mail: bk1948@bk.ru

*Национальный центр государственных кадастров, геодезии и картографии,
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

АННОТАЦИЯ: Статья посвящена анализу качества поверхностных вод в Узбекистане. Проанализировано их влияние на условия жизни и здоровье населения республики. Наиболее сложное положение с питьевым водоснабжением и ростом заболеваний, вызванных употреблением некачественной питьевой воды, приходится на Навоийскую, Хорезмскую, Сурхандарьинскую области и на Каракалпакстан. В этих условиях актуально проведение исследований по определению качества поверхностных вод и совершенствованию методов его оценки. Применяемая в настоящее время в Узбекистане методика оценки индекса загрязнения воды, рассчитываемая в соответствии с «Методическими рекомендациями по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям» была разработана еще в советское время и не отвечает современным требованиям. Указана необходимость совершенствования методов оценки качества поверхностных вод. Одной из перспективных методик является разработанный и используемый в оперативной практике в России «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям». Наиболее информативными комплексными оценками, получаемому по данному методу, являются удельный комбинаторный индекс загрязненности воды и класс качества воды.

Предложены более достоверные методики оценки качества поверхностных вод, расчет которых основан на использовании большего объема исходной информации. В частности – методика оценки качества поверхностных вод с учетом класса опасности ингредиентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экология, гидрология, качество поверхностных вод, здоровье населения, индекс загрязнения воды.

К беспрецедентному по масштабам негативному воздействию на экологию среднеазиатского региона привело продолжающееся усыхание Аральского моря. Неблагоприятные последствия ощутили на себе более 60 млн человек, проживающих в бассейне Аральского моря. На высохшем дне моря, служившем природно-климатическим регулятором Приаралья, образовалась песчано-соляная пустыня Аралкум площадью более 5,7 млн

© Курбанов Б.Т., 2019

га. Аральский кризис привел к резкому дефициту и высокой загрязненности речных вод, используемых для питьевого водоснабжения и орошения, ухудшению здоровья населения, росту детской смертности и пр. [1, 2]. По данным ВОЗ, 50 % заболеваемости населения в мире связано именно с качеством питьевой воды. Удельная водообеспеченность в Узбекистане в связи с ростом населения продолжает оставаться острой проблемой. Чрезмерное загрязнение водных ресурсов, их нерациональное использование привели к сложной ситуации с обеспечением водными ресурсами и качеством питьевой воды. Уровень централизованного обеспечения чистой питьевой водой в Узбекистане в настоящее время составляет 68 %. А в Каракалпакстане этот показатель достиг лишь 52 %, в Бухарской области – 53 %, в Кашкардарье и Сурхандарье – 54 %, в Хорезмской области – 56 %. В аварийном состоянии находятся 27 тыс. км или 38 % водопроводных сетей, вышли из строя 2 тыс. (20 %) насосов. Лишь в 79 городах (57 %) страны имеются системы канализации, 23 % которых нуждается в ремонте.

В результате нитратного загрязнения источников питьевого водоснабжения в Узбекистане высок процент заболеваний печени, почек, нервной системы. Критическое положение по снабжению питьевой водой и росту заболеваний, вызванных ее употреблением, сложилось в Навоийской, Хорезмской, Сурхандарьинской областях и в Каракалпакстане [3]. Дефицит питьевого водоснабжения вынуждает население бросать свои дома и уезжать в более благоприятные с точки зрения питьевого водоснабжения районы. На рис. 1 приведен пример брошенного селения в Сурхандарьинской области в 20 км к югу от Пачкамарского водохранилища.



Рис. 1. Брошенное селение в 20 км от Пачкамарского водохранилища, 2018 г.

В 20 % проб воды поверхностных источников Ургенча обнаруживали вирусы, в Нукусе – в 100 % проб поверхностных вод и в 75 % проб воды из подземных источников. Кроме того, 28–75 % проб из подземных источников Нукуса были нестандартны по коли-индексу, а 15–21 % проб содержали патогенные бактерии. В Хорезмской области прослеживалась связь между наличием возбудителей кишечных инфекций в водных объектах и заболеваемостью населения [1, 4]. Действующий в настоящее время в Республике Узбекистан мониторинг за водными объектами хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения требует совершенствования, т. к. не гарантирует эпидемической безопасности [5]. Вследствие неблагоприятной экологической обстановки наблюдается ряд негативных последствий для жителей Приаралья экономического характера, высокая детская и материнская смертность [6].

Реки региона на всем своем протяжении подвержены загрязняющему влиянию животноводческих, коммунально-бытовых, промышленных стоков и коллекторно-дренажных вод. В пределах республики в поверхностные водотоки поступают загрязненные сточные воды более чем 5 тыс. объектов водопользователей, что составляет примерно 20 % от общего водоотведения в открытые водные объекты [7].

Все вышеизложенное свидетельствует об актуальности проведения исследований по качеству поверхностных вод. Основной целью данной работы является анализ методов оценки степени загрязнения поверхностных вод, в т. ч. с учетом класса опасности ингредиентов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Комплексная оценка качества воды по гидрохимическим показателям в Узбекистане производится по индексу загрязнения воды (ИЗВ). В основе расчета ИЗВ лежит методика, разработанная в Управлении наблюдений и контроля загрязнения окружающей среды Государственного комитета СССР по гидрометеорологии [8]. Напомним, что под предельно допустимой концентрацией (ПДК) понимается такая максимальная концентрация химических элементов и их соединений в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований, в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений [9]. Значения ПДК, устанавливаемые на основании экспериментальных данных о токсичности и иных исследований, не одинаковы в разных странах и периодически пересматриваются на основании современных научных исследований и разработок.

Как отмечено выше, для оценки ИЗВ применяют методику, разработанную еще в советские времена [8]. По данной методике ИЗВ рассчитывает-

ся по шести гидрохимическим показателям – содержание растворенного кислорода, БПК и четырех загрязняющих веществ, имеющих наиболее высокие по отношению к ПДК показатели. Узгидромет проводит гидрохимический анализ по створам, количество которых составляет около 100 гидростов. Загрязняющие вещества выбираются из данных гидростов, по которым проводится анализ [10]. ПДК устанавливаются из расчета, что существует некое предельное значение вредного фактора, ниже которого пребывание в данной зоне (или, например, использование продукта) совершенно безопасно. В результате современных исследований сделан вывод об отсутствии нижних безопасных порогов, следовательно, и ПДК при воздействии некоторых ингредиентов, в частности – канцерогенов и ионизирующей радиации. Список таких веществ постоянно пополняется. Любое превышение привычных природных фонов опасно для живых организмов в цепи поколений [11].

В свете изложенного используемые для расчета ИЗВ значения ПДК не являются истиной в последней инстанции. Расчеты ИЗВ по методике [8] для разных створов могут быть произведены по разным ингредиентам. Данный факт вызывает определенные сомнения в сопоставимости результатов расчетов ИЗВ и оценки степени загрязнения поверхностных вод для разных створов. В этой ситуации достоверность оценок ИЗВ, на наш взгляд, может быть повышена, если привлечь к анализу все ингредиенты с ПДК больше единицы.

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{P_i}, \quad (1)$$

где K – концентрация ингредиентов;

C_i – значение i -го ингредиента;

P_i – ПДК i -го ингредиента

n – количество всех ингредиентов, превышающих ПДК.

Если исходить из предположения, что даже в тех случаях, когда содержание отдельных ингредиентов не превышает ПДК, они могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека, целесообразно для анализа и оценки степени загрязнения поверхностных вод использовать все ингредиенты, по которым проводится анализ. В этом случае концентрация ингредиентов рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{P_i}, \quad (2)$$

где N – количество всех анализируемых ингредиентов.

В настоящее время при оценке качества поверхностных вод все чаще применяется «вероятностный» подход, развиваемый ЕРА (Управлением по охране

окружающей среды США) с начала 1980-х годов [9]. В этой концепции учтена возможность совместного действия вредных факторов, причем их весовые коэффициенты могут меняться в зависимости от симбатности (мера схожести зависимостей) или аддитивности (величина, относящаяся к системе в целом, равна сумме величин, относящихся к ее составным частям) этих факторов. Такой подход исключает использование фиксированных ПДК, заменяя их специальными исследованиями оценки риска, более обоснованными и информативными. В предельном случае оценка риска может дать и значения лимитов на концентрации (уровни) вредных факторов, совпадающие с ПДК.

В предлагаемой ниже методике оценки степени загрязнения поверхностных вод учитывается класс опасности через повышающие весовые коэффициенты. При установлении этой величины опираются одновременно на несколько показателей. Перечень значений и правила присвоения степени опасности определены ГОСТ 12.1.007–76. Показатели концентраций, способных вызвать летальный исход при различных способах введения вещества в организм, являются основными при определении степени опасности. Решающим считается показатель, соответствующий более высокому классу [12]. Например, чрезвычайно опасные вещества I класса даже в малом количестве способны вызвать летальный исход. Для человека смертельной станет пероральная доза всего в 15 мг на 1 кг массы тела. В случае воздействия через кожу летальным станет количество около 100 мг на 1 кг. Предельно допустимая концентрация таких соединений в воздухе – менее 0,1 мг на 1 м³ [12].

Как отмечено выше, на основе новейших исследований в развитых странах ПДК для различных ингредиентов периодически пересматриваются и уточняются. Необходимость пересмотра методов оценки степени загрязнения поверхностных вод отмечают многие исследователи. Эти вопросы акцентированы и в Национальном докладе об использовании и охране водных ресурсов в Республике Узбекистан [7], где указана необходимость разработки современных критериев для оценки качества воды и устойчивости экосистем, связанных с водным фактором.

В итоге анализа ряда методик по оценке качества поверхностных вод в [13] предложено использовать метод В.В. Шабанова [14]. Основным отличием предлагаемой модели является введение показателя кратности сверхнормативного загрязнения, который, с одной стороны, характеризует уровень загрязнения воды без учета гидрохимического фона, с другой – может определяться через составляющие водохозяйственного баланса.

В настоящее время в России разработан «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» (разработчики В.П. Емельянова, Е.Е. Лобченко) [15]. Этот документ утвержден и введен в действие Росгидрометом 03.12.2002 вместо действовав-

ших ранее «Методических рекомендаций по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям» [8]. Наиболее информативными комплексными оценками, получаемыми по «Методу комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям», являются:

- удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ);
- класс качества воды.

УКИЗВ определяется по 16 градациям. Класс качества воды устанавливается на основе значений УКИЗВ, при которых поверхностные воды по степени загрязненности разделяются на 5 классов – от «условно чистых» до «экстремально грязных». Комплексные показатели могут быть использованы для решения широкого круга задач анализа, оценки, классификации, прогнозирования загрязненности поверхностных вод при разработке природоохранных мероприятий.

По предлагаемой методике [16] расчет ИЗВ производится по всем ингредиентам, значения которых превышают ПДК, с учетом класса опасности по формуле:

$$I = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{P_i}; \quad (3)$$

где I – значение ИЗВ;

$K_1 = 0,1n + 0,4$;

K_2 – коэффициент, учитывающий степень опасности ингредиентов для здоровья человека;

C_i – значение превышения ПДК i -го ингредиента;

P_i – значение ПДК.

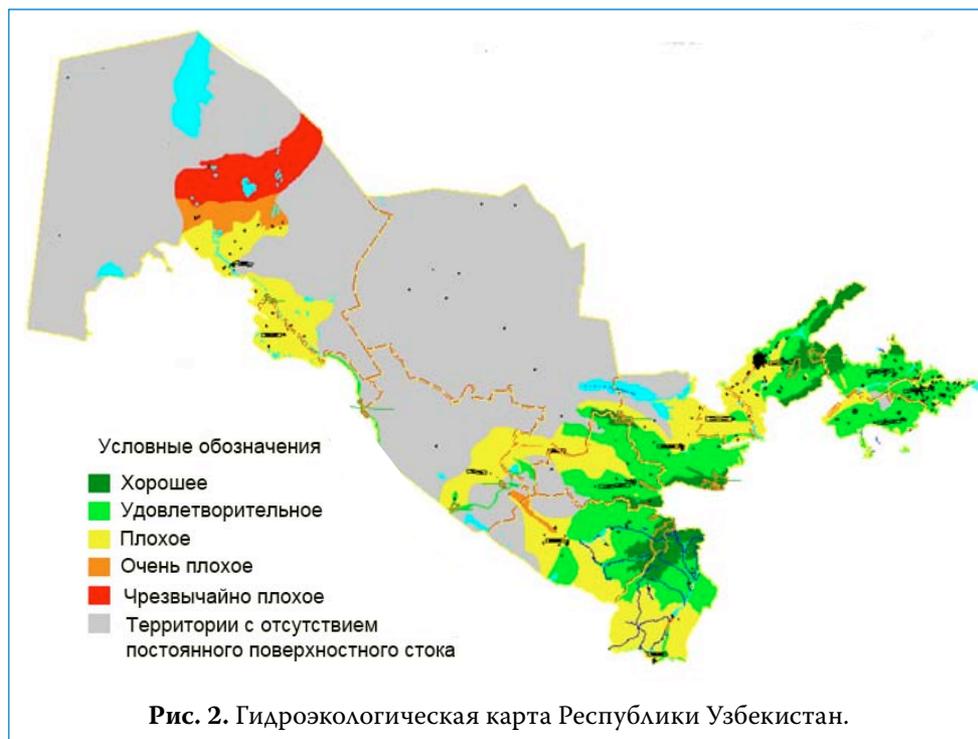
n – количество ингредиентов с ПДК более единицы.

Значения коэффициента K_2 были определены с привлечением экспертов. Получены следующие значения коэффициента K_2 (таблица):

Таблица. Численные значения K_2

Количество ингредиентов, превысивших ПДК	1–3		≥4	
	III, IV	Один ингредиент I или II класса, остальные III и IV класса	Один ингредиент I или II класса или два ингредиента II, остальные III и IV класса	Не менее одного ингредиента I класса и одного ингредиента II класса или три ингредиента II класса, остальные III и IV класса
K2	1,0	1,1	1,2	1,5

В опытном порядке по методикам (1) и (3) были разработаны карты районирования территории Узбекистана по качеству поверхностных вод, которые позволили выявить наиболее проблемные территории, требующие незамедлительных действий по устранению источников сильных загрязнений. Пример разработанной по методике (3) гидроэкологической карты Республики Узбекистан представлен на рис. 2.



Карта разработана по многолетним данным на программно-технологических комплексах INTERGRAPH и ArcGIS. В процессе разработки данной карты использована система ПДК для водоемов рыбохозяйственного использования, которая предъявляет более жесткие требования к качеству воды и в значительно большей степени соответствует экологическим требованиям, чем гигиенические ПДК [17]. Анализ показал, что данная карта хорошо согласуется с данными о заболеваемости населения по регионам Узбекистана.

ВЫВОДЫ

Используемая в настоящее время в Узбекистане методика оценки индекса загрязнения воды, рассчитываемая в соответствии с «Методическими рекомендациями по формализованной комплексной оценке качества

поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям» была разработана еще в советское время и не отвечает современным требованиям. Более перспективным является разработанный и используемый в оперативной практике России «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям», который введен в действие Росгидрометом в 2002 г. вместо действующих ранее «Методических рекомендаций по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям».

Автором предложены методики, основанные на расчете ИЗВ с использованием большего объема исходной информации и являющиеся более достоверными. В частности, предложена методика оценки качества поверхностных вод с учетом класса опасности ингредиентов. Предлагаемые методики требуют дальнейших уточнений, но в целом, на наш взгляд, дают более достоверную оценку степени загрязнения поверхностных вод по сравнению с используемыми в настоящее время в Узгидромете. Разработанная с использованием данной методики гидроэкологическая карта в числе лучших научных разработок ученых Узбекистана демонстрировалась на Экспо-2000 в Ганновере, где получила высокую оценку специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаевая Т.Я., Писарева В.Н. Экологическая ситуация в Узбекистане. Режим доступа: <http://igpi.ru/e404.html> (дата обращения: 02.03.2019).
2. Рафииков В.А. Проблемы Аральского моря. Что дальше? /сб. докладов межд. научн. конф. «Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии, посвященной 150-летию Ташкентской научно-исследовательской геофизической обсерватории». Ташкент. 15–16 октября 2018 г. С. 377–382.
3. Норматова Ш.А., Ашурова М.Д., Эрматова Г.А., Хожиматов Х.О., Султонов Г.Н., Болтабоев У.А. Актуальные проблемы экологии и здоровья населения в Узбекистане. Режим доступа: <https://publikacia.net/archive/2014/5/2/60ч> (дата обращения: 03.03.2019).
4. Фонд защиты генофонда Приаралья. Эволюция Аральского моря. Режим доступа: aralgenofond.org (дата обращения: 11.01.2019).
5. Усманов И.А., Ходжаева Г.А., Мусаева А.К. К вопросу совершенствования мониторинга водных объектов в Узбекистане. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-sovershenstvovaniya-monitoringa-vodnyh-obektov-v-uzbekistane> (дата обращения: 02.03. 2019).
6. Экологическая катастрофа Аральского моря. Режим доступа: www.godmol.ru (дата обращения: 23.01.2019).
7. Uzbekistan National Report. Seminar on the role of ecosystems as water suppliers (Geneva, 13–14 december 2004). Национальный доклад об использовании и охране водных ресурсов в Республике Узбекистан. Режим доступа: <http://nauka.x-pdf.ru/17raznoe/606568-1-seminar-the-role-ecosystems-water->

- suppliers-geneva-13-14-december-2004-uzbekistan-national-report-nacionalniy-d.php (дата обращения: 12.03.2019).
8. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М., 1988. 11 с.
 9. Предельно допустимая концентрация. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 02.03.2019).
 10. Качество поверхностных вод в Республике Узбекистан за 2011–2015 гг. Режим доступа: http://livingasia.online/la_data/качество-поверхностных-вод-в-республ-2/ (дата обращения: 07.02.2019).
 11. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
 12. Классы опасности вредных химических веществ. Режим доступа: <https://vtothod.ru/klassy/klassy-opasnosti-vrednyh-himicheskikh-veshhestv-i-othodov> (дата обращения: 03.03.2019).
 13. Мягкова Н.В. Возможности совершенствования методов оценки качества воды в республике Узбекистан. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-sovershenstvovaniya-metodov-otsenki-kachestva-vody-v-respublike-uzbekistan> (дата обращения: 12.02.2019).
 14. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Методика эколого-водохозяйственной оценки водных объектов. М.: ВПО РГАУ МСХА им. К.А.Тимирязева, 2014. 162 с.
 15. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Введ. 03.12.2002. СПб.: Гидрометеоиздат. 2003. 55 с.
 16. Патент № IDP 04390. Способ комплексной оценки качества речных вод /Курбанов Б.Т. и др. Государственное патентное ведомство РУз. Опубликовано 23.06.2000 г.
 17. Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 304 с.

Для цитирования: Курбанов Б.Т., К вопросу оценки качества поверхностных вод Узбекистана // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 80-96.

Сведения об авторе:

Курбанов Бахтиёр Тохтаевич, канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией, Национальный центр государственных кадастров, геодезии и картографии Госкомземгеодезкадастра Республики Узбекистан, Республика Узбекистан, 100097, г. Ташкент, пр. Бунёдкор, 28; e-mail: bk1948@bk.ru

УДК 504.45:574.5

ON THE ISSUE OF THE UZBEKISTAN SURFACE WATER QUALITY ASSESSMENT

Bakhtiyor T. Kurbanov

E-mail: bk1948@bk.ru

National Center of State Cadasters, Geodesy and Cartography

Abstract: The article is devoted to the analysis of the quality of surface water in Uzbekistan. Analyzed their impact on the living conditions and health of the population of the republic. The most difficult situation with drinking water supply and with the growth of diseases caused by the use of poor-quality drinking water falls on the Navoi, Khorezm, Surkhandarya regions and Karakalpakstan. The stated data makes it relevant to conduct research to determine the quality of surface waters and improve the methods of its assessment. The analysis of existing methods for assessing the quality of surface waters. The technique of assessment of the index of pollution of water applied now in Uzbekistan counted in compliance with "Methodical recommendations about the formalized complex evaluation test of the surface and ocean waters about hydro/chemical indexes" was developed in Soviet period and doesn't meet the modern requirements. The need to improve the methods for assessing the quality of surface waters as compared with that currently used in Uzhydromet is indicated. One of the most promising at present is the "Method of integrated assessment of the degree of contamination of surface waters by hydro/chemical indicators" developed and used in operational practice in Russia. The most informative comprehensive estimates obtained by this method are the specific combinatorial index of water pollution and the class of water quality.

The author proposed methods for assessing the quality of surface waters, the calculation of which is based on the use of a larger amount of initial information and are more reliable than those used. In particular, the proposed methodology for assessing the quality of surface waters, taking into account the hazard class of ingredients.

Key words: ecology, hydrology, surface water quality, public health, water pollution index.

The continuous drying of the Aral Sea has caused unprecedented negative impact upon environment of the Middle Asia region. Over 60 million population feel unfavorable consequences of his phenomenon. The Aralkum sand/salt desert with more than 5.7 million hectares area appeared on the dried bottom of the sea that used to be a natural/climatic regulator of the Aral Region. The Aral crisis has led to the sharp deficit and high pollution of river waters used for drinking water supply and irrigation, consequently to serious deterioration of public health, increase of infant mortality, etc. [1, 2]. According to WHO, 50 % morbidity in the world are connected with the drinking water quality. Specific water supply in Uzbekistan remains to be an acute problem due to fast growth of population. Excessive pollution of water resources and irrational use of them have caused an occurrence of the complicated situation with water resources supply and drinking water quality. In Uzbekistan rake of sicknesses of liver, kidneys, and nervous system in high due to nitrates pollution of the drinking water supply sources. The most critical situation with drinking water supply and morbidity because of its use is in Navoi, Khorezm, Surkhandarya oblasts and Karakalpakstan [3]. The drinking



Fig. 1. The abandoned village in 20 km from the Pachkamar Reservoir, 2018.

water deficit makes the population to abandon the houses and to leave for the regions more favorable in terms of drinking water supply. Fig.1 gives an example of the abandoned village in Surkhandarya Oblast, 20 km to the south from the Pachkamar Reservoir.

In 20 % of water samples from the Urgench surface water sources they managed to find viruses, while in Nukus the respective figures were 199% of surface water samples and 75 % of groundwater samples. Besides, 28–75 % samples from the Nukus groundwater samples were non-standard in respect of coli index, and 15-31% of samples contained pathogenic bacteria. In Khorezm Oblast one can track certain connection between the presence of enteric infectious agents in water bodies and the population sickness rate [1, 4]. The currently applied in Uzbekistan monitoring system for water bodies of domestic/drinking and recreation/municipal purposes requires improvement as it does not secure epidemic safety [5]. Due to unfavorable environmental situation, there are some negative consequences for the Aral region inhabitants: economic difficulties, high infant and maternal mortality [6].

The region's rivers are subjected to polluting impact of cattle-breeding, municipal, industrial and drainage discharges along all their lengths. Within the Republic's boundaries more than 5 thousand water users discharge polluted waste waters to the surface watercourses; this is approximately 20 % of total water disposal to open water bodies [7].

All the above said is an evidence of importance of conducting researches of the surface waters' quality. The main object of this study is an analysis of the assessment methods for the surface waters pollution degree including the ingredients class of danger.

STUDY METHODS AND DISCUSSION OF RESULTS

In Uzbekistan they assess water quality in respect of hydro/chemical indicators by the Water Pollution Index (WPI). WPI is based on a method developed in the USSR State com-

mittee on Hydro/meteorology Department of Observations and Environment Pollution Control [8]. Let us remind, the maximal permissible concentration (MPC) is interpreted as a such maximal concentration of chemical elements and their compounds in environment that, in case of every day long time impact upon human organism does not cause pathological changes or diseases that can be detected by current methods of investigation in any life terms of the present or future generations [9]. The MPC values based on experimental data on toxicity and other researches are not identical in different countries and periodically are subjects to revision based on the modern scientific studies and developments.

As we noted above, to assess WPI they use the method developed as early as in the Soviet time [8]. Compliant to this method WPI is to be calculated against six hydro/chemical indicators: dissolved oxygen content, BOD and four pollutants with the highest in respect of MPC indicators. Usgidromet conducts hydro/chemical analysis over the reaches with around 100 hydro measuring points. The pollutants are to be selected from the hydro-points' data collected for the analysis [10]. MPC is to be set according to the supposition that there is some limit of an adverse factor below which the presence in the certain zone (or, for instance, the use of a certain product) is absolutely safe. As a result of the latest research one can conclude about the absence of safe lower thresholds (and, consequently, MPC) in case of some ingredients' (particularly, carcinogens and ionizing radiation) impact. The list of such substances is continuously replenishing. Any exceeding of the habitual natural background is potentially dangerous for living beings in the chain of generations [11].

In the light of the above said the MPC values used for calculating of WPI couldn't be considered an absolute verity. Calculating of WPI according to the method [8] for different reaches can be performed with different ingredients. This fact can provoke certain doubts about comparability of the WPI calculations and assessment of the surface waters' pollution degree or different reaches. In this situation the WPI reliability, in our opinion, can be enhanced in case of attraction to the analysis all ingredients with MPC exceeding unit.

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{P_i}, \quad (1)$$

where K is the ingredients concentration;

C_i is the value if the i -th ingredient;

P_i is MPC of the i -th ingredient;

n is the quantity of all ingredients exceeding MPC.

If we assume that even in cases when individual ingredients' content does not exceed MPC they could negatively affect human health, it would be expedient to use all ingredients involved in the analysis for assessment the surface water pollution degree. In this case, the ingredients' concentration is to be calculated according to the formula:

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{P_i}, \quad (2)$$

where N is a quantity of all ingredients under analysis.

Nowadays a "probabilistic" approach developed by US Environment Protection Administration (EPA) since early 1980s is more often applied in assessment of the surface waters

quality [9]. This concept takes into account the possibility of joint action of adverse factors, at that their weight coefficients can vary dependent on symbasis (the measure of dependencies' similarity) or additivity (the measure relative to the system as a whole, equal to the sum of values relative to its components). Such an approach excludes the use of the fixed MPCs while substituting them for the special investigations in order to assess risks, more grounded and informative. In extreme case, the risk assessment could give limit values for the adverse factors concentration (level) coinciding with MPC.

The proposed below method of the surface waters pollution assessment takes into account the class of danger through increasing weight coefficients. When setting this value they apply concurrently several indicators. GOST 12.1.007–76 defines the list of values and rules of the danger class assigning. Concentration indicators capable of causing a lethal outcome being input in an organism by various ways are the main indicators for determination of the danger class. An indicator corresponding the highest class is considered the decisive one [12]. For instance, extremely dangerous substances of the class 1 are able to cause a lethal outcome even in the smallest quantity. For a human being even 15 mg per 1 kg of the body weight peroral doze could be lethal. In case of the through-skin impact a 100 mg per 1 kg quantity would be lethal. Maximal permissible concentration of such substances in are is less than 0.1 mg/m³ [12].

As we noted above, MPC in the developed countries periodically are subjects for revision and refining based on the latest researches. Many researchers emphasized the necessity of revision of methods of the surface waters pollution degree assessment. The National Report on the Water Resources Use and Protection in the Republic of Uzbekistan focused on these issues [7]. The Report underlined the necessity of the modern criteria development in order to assess water quality and sustainability of ecosystems associated with the water factor.

The analysis of a number of methods of surface waters' quality assessment resulted in the proposal in [13] to use a method suggested by V.V. Shabanov [14]. The main distinctive feature of the proposed model is an introduction of the super-norm pollution multiplicity indicator which can, on the one hand, characterize the water pollution level without taking into account the hydro/chemical background, an, on the other hand, can be determined through the water/economic balance components.

At present, they in Russia have developed the "Method of comprehensive assessment of the surface waters' pollution degree by hydro/chemical indicators" (authors V.P. Yemelyanova, Y.Y. Lobchenko) [15]. This document has been approved and implemented by Rosgidromet 03.12.2002 instead of earlier active "Methodical recommendations on formalized comprehensive assessment of surface and sea water quality by hydro/chemical indicators" [8]. The most informative integrated estimations obtained with the "Method of comprehensive assessment of the surface waters' pollution degree by hydro/chemical indicators" are the following:

- water pollution specific combinatory index (WPSCI);
- class of water quality.

WPSCI is to be determined by 16 gradations. He water quality class is determined based on the WPSCI values when surface waters are divided into 5 classes from "conditionally clean" to "extremely polluted" in respect of the pollution degree. The integrated indicators can be applied for solution of a wide spectrum of tasks of analysis, assessment,

classification, and forecasting of the surface waters pollution when developing any nature/protective measures.

According to the proposed method [16] the WPI calculating is performed against all ingredients whose values are higher than MPC with taking into account the danger class according to the formule

$$I = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{P_i}; \tag{3}$$

where I is the WPI value;

$K_1 = 0,1n+0,4$;

K_2 is a coefficient taking into account the degree of ingredients' danger for human health;

C_i is the value of MPC excess of the i -th ingredient;

P_i is the MPC value;

n is the quantity of ingredients with MPC exceeding a unit.

Values of K_2 coefficient were determined with participation of appropriate experts. We have obtained the following values of K_2 coefficient (Table).

Table. Numerical values of K_2

Number of ingredients exceeding maximal permissible concentration	1–3		≥4	
	Danger class	III, IV	One ingredient of Class I or II, the rest are of Class III and IV	One ingredient of Class I or II or two ingredients of Class II, the rest are of Class III and IV
K_2	1.0	1.1	1.2	1.5

Experimentally we have developed the maps of the Uzbekistan territory zoning in terms of the surface waters' quality according to the methods (1) and (3). These maps have enabled to reveal the most problematic territories that require immediate actions in order to remove the strong pollution sources. In Fig. 2 we present an example of the hydro/ecological map of the Republic of Uzbekistan developed according to the method (3).

We have developed the map based on many-year data with INTERGRAPH and ArcGIS soft/hardware complexes. The process employed the system of fishery MPCs which is more strict in terms of water quality and more consistent with ecological requirements than hygienic MPS [17]. Analysis has shown that this map is in a good agreement with data concerning sickness rate in the regions of Uzbekistan.

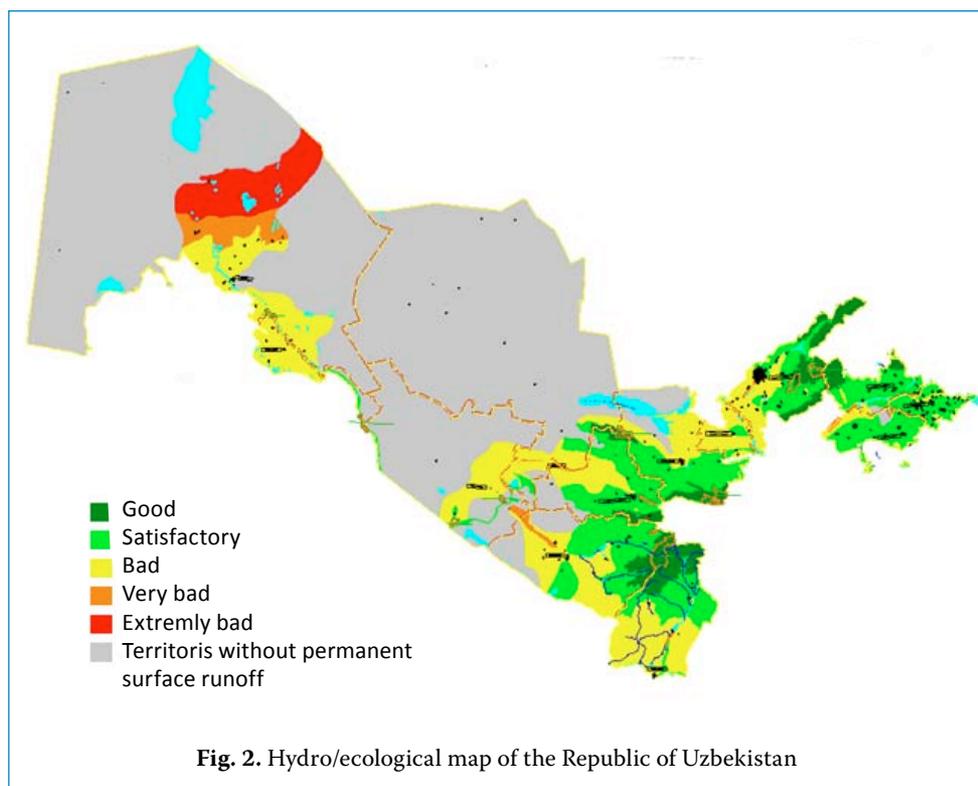


Fig. 2. Hydro/ecological map of the Republic of Uzbekistan

CONCLUSIONS

The method of the water pollution index assessment based on the “Methodical recommendations on formalized comprehensive assessment of surface and sea water quality by hydro/chemical indicators” was developed as early as in the Soviet times and it does not satisfy current demands. The “Method of comprehensive assessment of the surface waters’ pollution degree by hydro/chemical indicators” developed and applied in operative practice in Russia is more informative. It has been adopted by Rosgidromet in 2002 instead of earlier active “Methodical recommendations on formalized comprehensive assessment of surface and sea water quality by hydro/chemical indicators”.

The author proposes the methods based on the WPI calculation with the use of the big amount of initial information. These methods are more reliable in comparison with the currently used methods. In particular, the author suggests the surface water quality assessment method with taking into account the ingredients’ class of danger. The proposed methods require further refinement but as a whole, in our opinion, they provide more authentic estimate of, the surface water pollution degree in comparison with those that currently Uzgidromet uses. The hydro/ecological map developed with the use of this method gained a high appraisal of experts in Hannover at Expo-2000 when it was exhibited there among other best achievements of scientists of Uzbekistan.

REFERENCES

1. *Gaevaia T.Ia., Pisareva V.N.* 1995g. Ekologicheskaiia situatsiia v Uzbekistane. [Environmental situation in Uzbekistan] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa: <http://igpi.ru/e404.html>. Data obrashcheniia: 02.03.2019.
2. *Rafikov V.A.* Problemy Aral'skogo moria. Chto dal'she? [Problems of the Aral Sea. What's next?] Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Geofizicheskie metody resheniia aktual'nykh problem sovremennoi seismologii , posviashchennoi 150-letiiu Tashkentskoi nauchno-issledovatel'skoi geofizicheskoi observatorii.Tashkent 15-16 oktiabria 2018g. P. 377–382.
3. *Normatova Sh.A., Ashurova M.D., Ermatova G.A., Khozhimatov Kh.O., Sultonov G.N., Boltaboev U.A.* Aktual'nye problemy ekologii i zdorov'ia naseleniia v Uzbekistane. [Current problems of ecology and public health in Uzbekistan] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa: <https://publikacia.net/archive/2014/5/2/60ch>. Data obrashcheniia: 03.03.2019.
4. Fond zashchity genofonda Priaral'ia [Foundation for the Aral Region genetic fund protection] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa:> Evoliutsiia Aral'skogo moria. aralgenfond.org. Data obrashcheniia: 11.01.2019.
5. *Usmanov I.A., Khodzhaeva G.A., Musaeva A.K.* K voprosu sovershenstvovaniia monitoringa vodnykh ob'ektov v Uzbekistane. [On the issue of improvement of the water bodies' monitoring in Uzbekistan] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-sovershenstvovaniya-monitoringa-vodnyh-obektov-v-uzbekistane>. Data obrashcheniia: 02.03.2019.
6. Ekologicheskaiia katastrofa Aral'skogo moria. [Environmental disaster in the Aral Sea] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa: www.godmol.ru. Data obrashcheniia: 23.01.2019.
7. Uzbekistan National Report. Seminar on the role of ecosystems as water suppliers (Geneva, 13-14 december 2004) .Natsional'nyi doklad ob ispol'zovanii i okhrany vodnykh resursov v Respublike Uzbekistan. (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa: <http://nauka.xpdx.ru/17raznoe/606568-1-seminar-the-role-ecosystems-water-suppliers-geneva-13-14-december-2004-uzbekistan-national-report-nacionalniy-d.php>. Data obrashcheniia: 12.03.2019.
8. Metodicheskie rekomendatsii po formalizovannoi kompleksnoi otsenke kachestva poverkhnostnykh i morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazateliam. [Methodical recommendations on the formalized comprehensive assessment of the surface and sea waters against hydro/chemical indicators] M., 1988.11 pp.
9. Predél'no dopustímaia kontsentrátsiia [Maximal permissible concentration] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa:<https://ru.wikipedia.org/wiki/>. Data obrashcheniia: 02.03.19.
10. Kachestvo poverkhnostnykh vod v Respublike Uzbekistan za 2011-2015 gg. [The surface water quality in the Republic of Uzbekistan] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa: http://livingasia.online/la_data/kachestvo-poverkhnostnykh-vod-v-respubl-2/. Data obrashcheniia: 07.02.2019.
11. *Reimers N.F.* Prirodopol'zovanie: Slovar'-spravochnik. [Nature use: Reference Dictionary] M.: Mysl', 1990. 637 pp.
12. Klassy opasnosti vrednykh khimicheskikh veshchestv. [The hazardous chemical substances' classes] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa: <https://vtohod.ru/klassy/klassy-opasnosti-vrednyh-himicheskikh-veshchestv-i-othodov>. Data obrashcheniia: 03.03.2019.

13. *Miagkova N.V.* Vozmozhnosti sovershenstvovaniia metodov otsenki kachestva vody v respublike Uzbekistan. [Possibilities for improvement of the water quality assessment methods in the Republic of Uzbekistan] (Elektronnyi resurs). Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-sovershenstvovaniya-metodov-otsenki-kachestva-vody-v-respublike-uzbekistan>. Data obrashcheniia: 12.02.2019.
14. *Shabanov V.V., Markin V.N.* Metodika ekologo-vodokhoziaistvennoi otsenki vodnykh ob»ektov. [Methods of the water bodies' ecological/water/economic assessment] Monografiia. M.: FGBOU VPO RGAU MSKhA im. K.A.Timiriazeva, 2014. 162 s.
15. RD 52.24.643-2002. Metodicheskie ukazaniia. Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagriaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazateliyam. [Methodical instructions. Method of comprehensive assessment of the surface waters' pollution degree against hydro/chemical indicators] Vved.03.12.2002. Sankt-Peterburg 2003. 55 pp.
16. Patent № IDP 04390. Sposob kompleksnoi otsenki kachestva rechnykh vod [Method of comprehensive assessment of the river waters quality] /Kurbanov B.T. i dr. Gosudarstvennoe patentnoe vedomstvo RUz. Opublikovano 23.06.2000g.

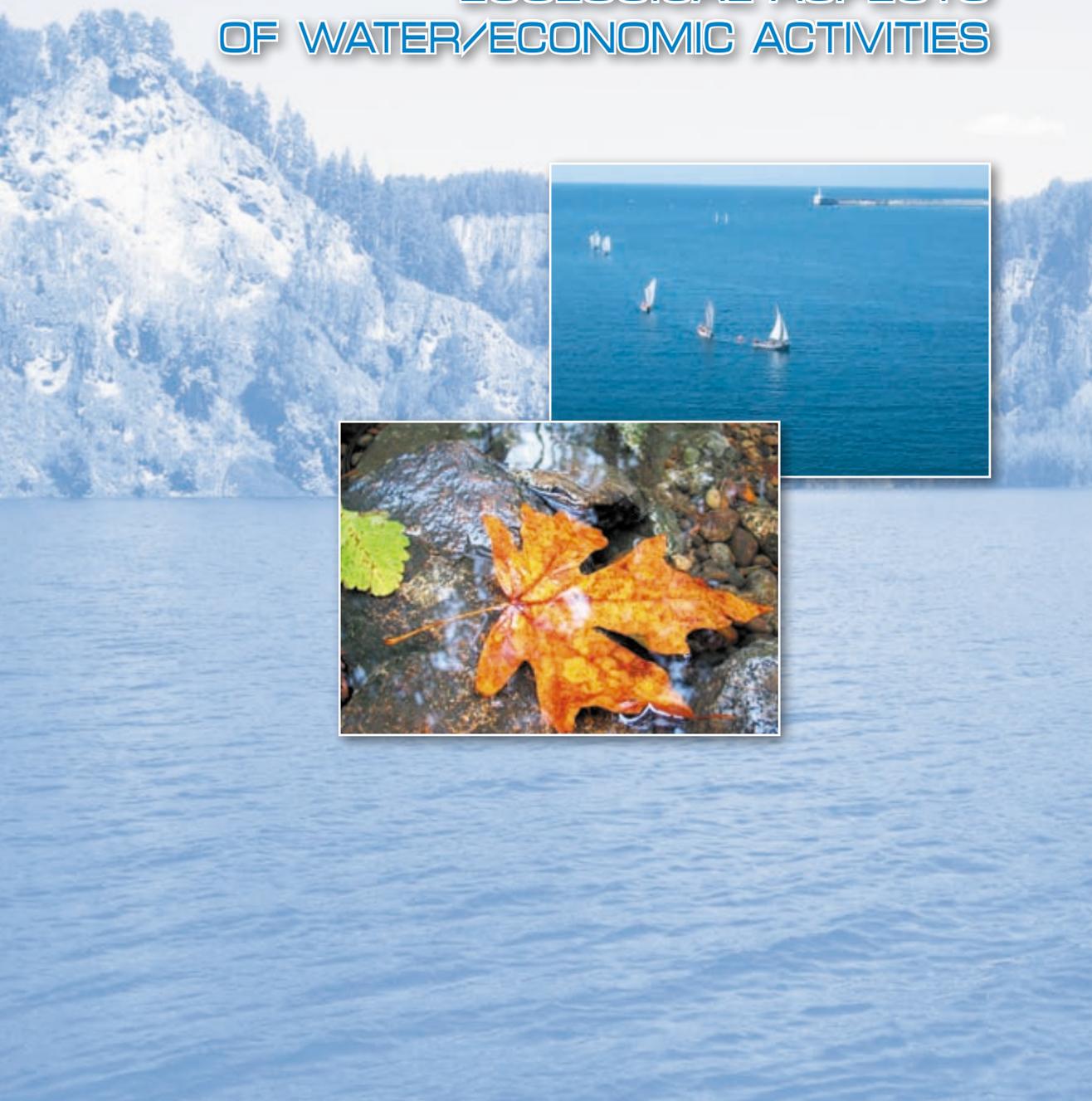
About the authors:

Bakhtiyor T. Kurbanov, Ph.D. of Physics and Mathematics, Senior Researcher, Head of Laboratory, National Center for State Cadastre, Geodesy and Cartography of the State Committee on Land Resources, Geodesy, Cartography and State Cadastre, Republic of Uzbekistan, 100097, Tashkent, Avenue Bunyodkor, 28 tel. (99894) 6493976, e-mail: bk1948@bk.ru

For citation: *Kurbanov B.T. On the Issue of the Uzbekistan surface water quality assessment // Water sector of Russia. 2019. No. 5. P. 80-96.*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ECOLOGICAL ASPECTS OF WATER/ECONOMIC ACTIVITIES



ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МОРСКОЙ ВОДЫ НА РАЗВИТИЕ ГИДРОИДА *GONOTHYRAEA LOVENI* (ALLMAN) НА ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТАХ В БУХТЕ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)*

Л.Б. Далёкая

E-mail: dalekaya 1950@mail.ru

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского», Российская академия наук, г. Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ: Рассмотрено влияние температуры морской воды на оседание и развитие гидроида *Gonothyraea loveni* (Allman) в конкретной точке акватории, что позволяет проследить связь сезонных изменений температуры морской воды с процессом оседания планул и развитием гидроида *G. loveni* на искусственных субстратах различной экспозиции в Севастопольской бухте. Наблюдения проводили на протяжении двух периодов: с 1979 по 1987 гг., с 2011 по 2015 гг. Температурный диапазон 5–10 °С соответствует оседанию планул на пластины с сообществом в возрасте 10 сут в осенний и весенний периоды. Пик оседания выявлен при температуре воды 9 °С. В это время отмечено наибольшее количество пластин с осевшими гидроидами (22 %). Численность гидротек в диапазоне температур 11–19 °С достигает максимальных значений за счет оседания и активного роста колоний, т. к. частота встречаемости пластин с гидроидами в этот период снижается в два раза и остается на этом уровне при более высоких температурах (17–24 °С).

С увеличением экспозиции субстратов до 30 сут основная масса пластин с гидроидом (80 %) сосредоточена в области температур 6–11 °С. При температуре воды в море 16–24 °С пластин с гидроидом менее 5 %. Динамические изменения в сообществах показывают, что рост колоний происходит при температуре 5–9 °С с максимальной интенсивностью от 10 до 15 °С.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидробионты, развитие гидроида *Gonothyraea loveni* (Allman), температура морской воды, Севастопольская бухта, Черное море.

Температура морской воды оказывает влияние на формирование сообществ макрообрастания, их структуру и сукцессию, численность видов, процессы деления, роста и деструкции гидробионтов.

* Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ по теме «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», рег. № АААА-А18-118020890074-2

© Далёкая Л.Б., 2019

Диапазон благоприятных для развития макрообрастателей температур колеблется от величин близких к нулю до 70 °С [1]. Отклонения от температурного оптимума происходят как при снижении, так и при увеличении температуры, что определяет приуроченность оседания видов в определенные периоды года, а также смещение временных и количественных границ этого процесса [1, 2].

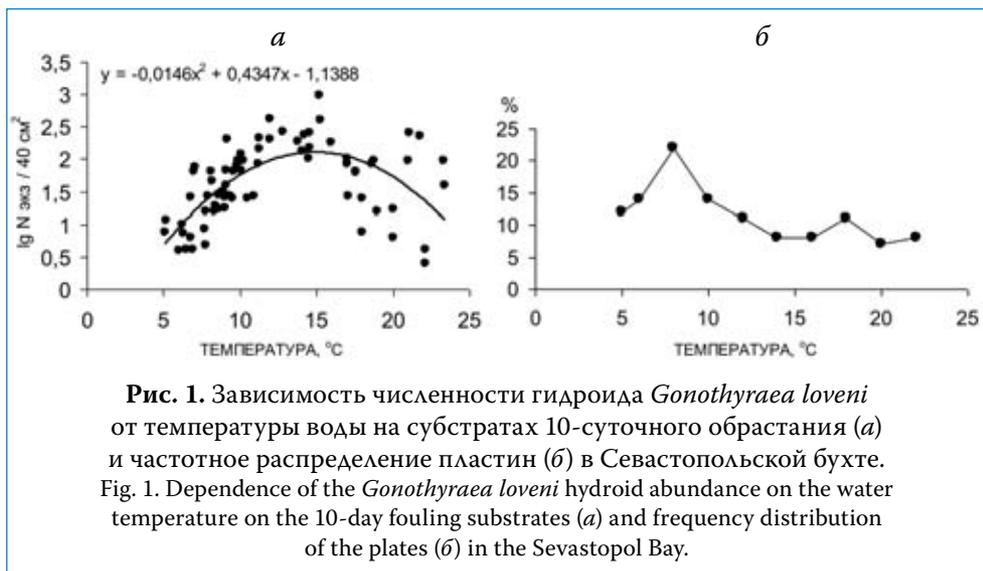
Одним из основных компонентов обрастания искусственных субстратов в различных регионах являются гидроиды [2–4], что также выявлено для Севастопольской бухты, где в сообществах обрастания доминирует *Gonothyrea loveni* (Allman). Для этого вида описаны стадии сукцессии различной интенсивности и продолжительности в зависимости от начала развития сообществ на субстратах многомесячной экспозиции [5, 6].

Известно, что гидроиды развиваются на различных глубинах, поэтому созревание их половых продуктов на разных горизонтах происходит неравномерно, а период оседания продолжается все лето до поздней осени, кривая оседания часто носит пульсирующий характер [2]. Волнение, скорость потока и турбулентность влияют на скорость роста колоний гидроидов за счет увеличения их пищедобывающих способностей [7]. Поэтому выявление динамики оседания и развития гидроида важно проводить в конкретной точке акватории при фиксированной глубине и удаленности от берега. Целью проведенного исследования являлось выявление связи сезонных изменений температуры морской воды, оседания планул и развития гидроида *G. loveni* на искусственных субстратах различной экспозиции.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Состав и структуру сообществ обрастания, количественные показатели гидроидов фиксировали на попарно соединенных стеклянных пластинах, которые экспонировали на глубине 1 м. Установку в море и изъятие субстратов проводили ежедекадно и в начале каждого месяца в течение года. Наблюдения проводили в вершинной части Севастопольской бухты в районе насосной станции ГРЭС на протяжении двух периодов: с 1979 по 1987 гг., с 2011 по 2015 гг. Видовой состав и численность макрообрастателей определяли на живом материале в кюветах с морской водой под бинокуляром [1]. Для анализа отбирали пластины, на которых развивались гидроиды. Определяли среднюю численность гидротек из 4–6 пластин для каждой точки наблюдений. Для 10-суточных пластин – 64 точки, для 30-суточных – 56, для многомесячных – 102 точки.

Зависимость численности гидроида *G. loveni* на пластинах 10-суточной экспозиции от температуры морской воды представлена на рис. 1а.



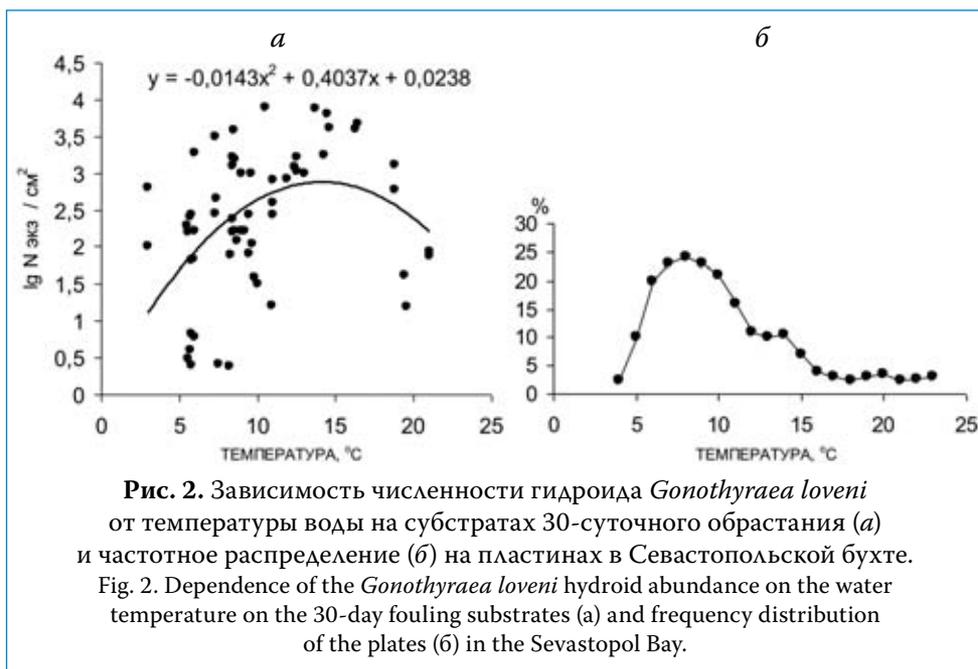
В температурном диапазоне 5–10 °С установлена восходящая линия с размахом колебаний численности гидротек 3–229 экз/40 см². Численность гидротек в диапазоне температур 11–19 °С достигает максимальных значений (до 3981 экз/40 см²), при этом нисходящий участок кривой соответствует температуре воды 18–24 °С. В это время (май–июнь) выявлен максимальный разброс значений численности гидроида – от 2 до 1259 экз/40 см². Частотное распределение (%) показало наибольшее количество пластин с осевшими гидроидами в температурном диапазоне 6–10 °С (рис. 1б). Пик оседания отмечен при температуре воды 9 °С. Максимальные значения численности гидротек в температурном интервале 11–16 °С (рис. 1а) достигаются за счет активного роста колоний, т. к. частота встречаемости пластин с гидроидами в этот период существенно снижается и остается на этом уровне при более высоких температурах (17–24 °С).

Аналогичные результаты получены на Баренцевом море, где оседание гидроида не происходит только зимой, а интенсивный рост с максимальными размерами колоний до 40–50 мм наблюдается в июне–августе [8]. В обрастании экспериментальных субстратов в бухте Золотой рог и портах западного побережья Камчатки появление и прекращение оседания планулы гидроида *Obelia longissimi* (Pallas) происходит только при температуре около 8 °С [2].

Известно, что гидроиды не отличаются особой избирательностью к качеству субстрата и при благоприятных условиях оседание планулы происходит незамедлительно. В период массового оседания отмечали присут-

ствие развивающихся организмов через 1–2 сут. Из планулы формируется гидрант и начинается активный рост колонии [9].

На рис. 2 зависимость численности гидроида от температуры морской воды на субстратах 30-суточной экспозиции представлена одновершинной кривой с неравномерным распределением точек. Увеличение экспозиции субстратов до 30 сут позволяет оседать и развиваться большему количеству планул в любой момент функционирования сообщества, а высокие значения численности (относительно 10-суточного сообщества) связаны с выраженным линейным ростом колоний и формированием большого количества гидрантов (рис. 2 а).



Основная их масса (80 %) сосредоточена на графике в области, соответствующей значениям температуры 6–11°C (рис. 2б). При температуре воды в море 16–24 °C величина частотного распределения на субстрате 30-суточной экспозиции составляет менее 5 %, что определяется, помимо влияния температурного фактора, массовым развитием на субстрате колонияльного оболочника *Botryllys schlosseri* (Pallas), преимущественно в мае–сентябре. До этого периода оболочник встречался в единичных экземплярах. Обладая высоким темпом прироста биомассы, *B. schlosseri* не только препятствует оседанию планул гидроида, но и вытесняет поселения, застилая субстрат разрастающимися колониями. При этом отдельные сохра-

нившиеся колонии *G. loveni* зачастую имеют в сообществе незначительную численность. В октябре, при снижении температуры воды, численность *B. schlosseri* постепенно уменьшается и в отдельные годы наблюдается менее выраженный второй период оседания гидроида.

За более короткий интервал (10 сут) формирования сообщества процесс вытеснения оболочником гидроида не успевает проявиться и наблюдается исключительно на образцах 30-суточной и более длительной экспозиции. Так, при температуре 15–23 °С отмечено развитие большего количества гидроида (рис. 1а) по сравнению с 30-суточным сообществом (рис. 2а).

Ранее, в ходе лабораторного эксперимента показано, что оптимальными условиями для *G. loveni* является диапазон температур 10–17 °С [10], при этом отклонения от температурного оптимума вызывают изменения жизненного цикла гидроида. При температуре менее 6–7 °С и более 19–20 °С выявлен переход колоний *G. loveni* к «анабиозному» состоянию с резорбцией гидрантов и вертикальных побегов, а гидрориза (корневищное основание колонии, с помощью которого гидроид прикрепляется к субстрату) с дифференцированными клетками длительное время переносит неблагоприятные условия. В природном эксперименте это наблюдалось в декабре-январе и июле-августе. Таким образом, увеличение экспозиции субстратов до 30 сут способствует оседанию большего количества планул, а также увеличению численности гидротек *G. loveni* за счет роста колоний. При температуре воды выше 15 °С отмечено вытеснение гидроида с субстрата колониями оболочника.

В сообществах 2- и 12-месячного возраста гидроид *G. loveni* развивается при широком диапазоне температур – от 5 до 23 °С (рис. 3а).

Очевидно, что разброс значений численности гидроида в многомесячном обрастании происходит за счет роста колоний и ограничения оседания планул на субстрат, занятый другими макрообрастателями. Высокие значения численности выявлены на субстратах длительной экспозиции, как правило, за счет отдельных, сильно разросшихся колоний.

Величина численности гидротек в многомесячном сообществе характеризует развитие поселений *G. loveni* в данный момент, но не отражает процессов, происходящих в колониях (рост, редукция). Поэтому более показательной является не статическая характеристика поселений, а динамические изменения в сообществах. Для этого была рассчитана зависимость между отношением конечной (N_t) и начальной (N_0) численности гидротек (кратность увеличения численности) в поселениях гидроида в течение месяца и температурой воды (рис. 3б).

Показатель кратности увеличения численности гидротек подвержен существенным изменениям в течение месяца. Если величина прироста численности гидротек положительна, то наблюдается рост колоний. Этот про-

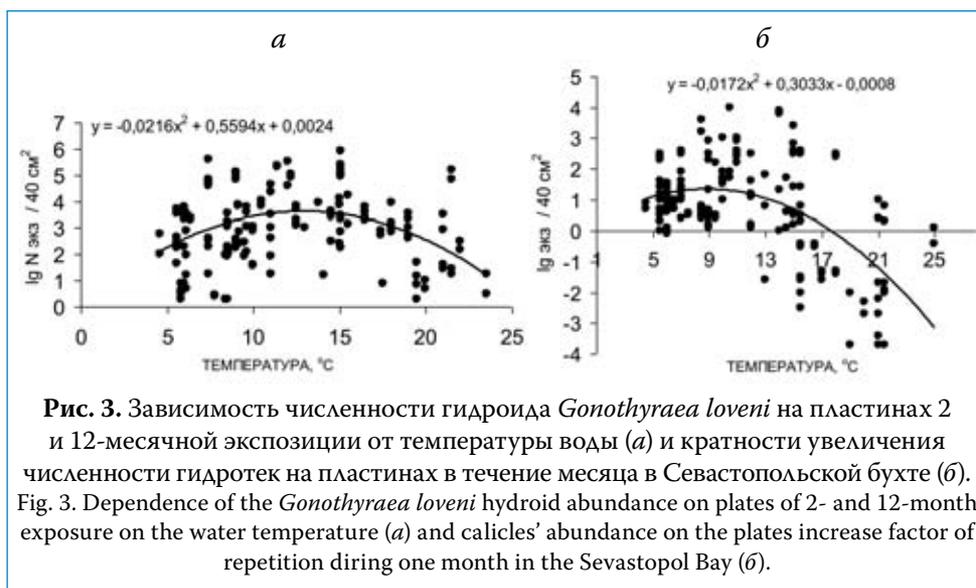


Рис. 3. Зависимость численности гидроида *Gonothyrea loveni* на пластинах 2 и 12-месячной экспозиции от температуры воды (а) и кратности увеличения численности гидротек на пластинах в течение месяца в Севастопольской бухте (б).
Fig. 3. Dependence of the *Gonothyrea loveni* hydroid abundance on plates of 2- and 12-month exposure on the water temperature (а) and calicles' abundance on the plates increase factor of repetition during one month in the Sevastopol Bay (б).

цесс наиболее активно происходит при температуре 5–9 °С. Максимальные значения показателя кратности увеличения численности гидротек обнаружены при диапазоне температур от 10 до 15 °С, а с увеличением температуры их обилие уменьшается. При температуре более 17 °С величина кратности увеличения численности гидротек отрицательна, что характеризует активную редукцию колоний.

Связь численности гидротек в колониях с температурой воды является не прямой, а опосредованной, поскольку с температурой связана динамика кормовой базы. По опубликованным данным по изучению структуры колоний гидроидов при смене режимов кормления, известно, что недостаток пищи замедляет скорость их роста, интенсивность ветвления и деструкции [11, 12]. В свою очередь, рост и ветвление гидроидов при благоприятных условиях кормового режима (повышенное потребление зоопланктона) приводит к ускорению прироста числа гидрантов в колониях, что в дальнейшем увеличивает ее пищедобывающие возможности [13].

ВЫВОДЫ

Детальное изучение фенологии оседания личинок в различные сезоны позволяет выявить закономерности формирования сообществ обрастания. На образцах, экспонируемых в море 10, 30 сут в течение года возможно проследить оседание личинок даже при их незначительном содержании в планктоне, а при массовом оседании – активный рост колоний, что позволяет определить зависимость этого процесса от температуры морской воды.

На искусственных субстратах в вершинной части Севастопольской бухты гидроид *G. loveni* обнаружен в широком температурном диапазоне – от 5 до 23 °С. При 6–10 °С выявлено наибольшее количество пластин 10, 30-суточной экспозиции с осевшими гидроидами. Пик оседания (23 % пластин) отмечен при температуре воды 9 °С. В температурном интервале 11–16 °С максимальные значения численности гидротек достигаются за счет активного роста колоний, т. к. частота встречаемости пластин с гидроидами в этот период существенно снижается (10–12 %) и остается на этом уровне при более высоких температурах.

В сообществах 2 и 12-месячного возраста рост колоний гидроида *G. loveni* наиболее активно происходит при температуре 5–9 °С. Максимальные увеличения численности гидротек обнаружены при диапазоне температур от 10 до 15 °С, с увеличением температуры их обилие уменьшается, а при температуре более 17 °С происходит редукция колоний.

Выявление температур, благоприятных для оседания и развития гидроида позволяет в оптимальные сроки культивировать вид с целью получения биологически активных веществ с минимальным количеством сопутствующих организмов. Анализ особенностей развития обрастателей на искусственных субстратах в перспективе способствует определению эффективных методов борьбы с этим видом биоповреждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брайко В.Д.* Обрастание в Черном море. Киев:Наукова думка, 1985. 250 с.
2. *Горин А.Н.* Зависимость распределения основных организмов-обрастателей Японского моря от некоторых факторов среды обитания. Обрастание в Японском и Охотском морях. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. № 3. С. 45–70.
3. *Далёкая Л.Б.* Культивирование гидроида *Obelia loveni* (Allm.) и оценка структурных характеристик поселений / Труды южного научно-исследов. ин-та морского рыбного хозяйства и океанографии. Керчь, 2008. Т. 46. С. 71–78.
4. *Звягинцев А.Ю.* Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2005. 431 с.
5. *Далёкая Л.Б.* Первичная сукцессия сообществ обрастания на искусственных субстратах в Севастопольской бухте // Наук. зап. Терн. нац. пед. ун-та, Сер. биол. 2010, № 3 (44). С. 69–71.
6. *Далёкая Л.Б.* Гидроиды в обрастании искусственных субстратов / Биоразнообразие и устойчивое развитие. Симферополь, 2012. С. 356–358.
7. *Раилкин А.И., Бесядовский А.Р., Примаков И.М., Колдунов А.В.* Взаимодействие прибрежных бентосных сообществ Белого моря с придонным слоем / под ред. д-ра биол. наук А.И. Раилкина. Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2012. 408 с.
8. *Кузнецова И.А., Зевина Г.Б.* Обрастание в районах строительства приливных электростанций на Баренцевом и Белом морях / Труды ИО АН СССР, 1967. Т. 85. С. 18–28.

9. Марфенин Н.Н. Функциональная морфология колониальных гидроидов. СПб:ЗИН РАН, 1993. 153 с.
10. Марфенин Н.Н., Косевич И.А. Биология гидроида *Obelia loveni* (Allm.): образование колоний, поведение и жизненный цикл гидрантов, размножение // Вестник Московского университета. Сер.16. Биология. 1984, № 3. С.16–24.
11. Марфенин Н.Н. Рост колонии *Obelia loveni* в зависимости от количества пищи / III съезд совет. океанол.– Биол. океана. Л, 1987. Ч. II. С. 128–130.
12. Марфенин Н.Н. Функционирование распределительной системы в колониях гидроидов: новейший метод и факты / Фундаментальные исследования современных губок и кишечнополостных. Л., 1989. С. 78–80.
13. Косевич И.А. Взаимодействие локальных и общеколониальных процессов во время роста колонии *Obelia loveni* (Allm.). Губки и кишечнополостные. Современное состояние и перспективы исследования. Л, 1988. С. 85–90.

Для цитирования: Далекая Л.Б., Название статьи Влияние температуры морской воды на развитие гидроида *Gonothyraea loveni* (Allman) на искусственных субстратах в бухте Севастопольской (Черное море) // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 98-107.

Сведения об авторе:

Далёкая Людмила Борисовна, младший научный сотрудник, лаборатория фиторесурсов отдела биотехнологии и фиторесурсов, ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского», РАН, Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Нахимова 2; e-mail: dalekaya 1950@ mail.ru

**THE SEA WATER TEMPERATURE IMPACT UPON GONOTHYRAEA LOVENI
(ALLMAN) HYDROID DEVELOPMENT ON THE ARTIFICIAL SUBSTRATES
IN THE SEVASTOPL BAY (THE BLACK SEA)**

Lyudmila B. Dalyokaya

E-mail: dalekaya 1950@ mail.ru

Russian Academy of Sciences A.O. Kowalewski Institute of Marine Biological Researches, Sevastopol. Russia

Abstract: The effect of seawater temperature on the subsidence and development of the *Gonothyraea loveni* (Allman) hydroid at a specific point in the water area was discussed. This allows us to trace the connection of seasonal changes in sea temperature with the process of sedimentation of planules and the development of hydroid *G. loveni* on artificial substrates of various exposures in the Sevastopol bay. Observations were carried out over two periods: from 1979 to 1987. and from 2011 to 2015. The temperature range of 5-10 °C corresponds to the subsidence of planula on plates with a community 10 days aged in the autumn and spring periods. The peak of subsidence was detected at a water temperature of 9 °C. At this time, the greatest number of plates with settled hydroids was detected (22%). The number of hydrotecas in the temperature range of 11-19 °C reaches maximum values due to sedimentation and active growth of colonies, since the frequency of occurrence of plates with hydroids during this period is halved and remains at this level at higher temperatures (17-24 °C).

With an increase in the exposure of substrates up to 30 days, the bulk of the plates with hydroid (80%) are concentrated in the temperature range of 6–11 °C. When the temperature

of water in the sea is 16-24 °C, plates with hydroids are less than 5%, which is determined in addition to the effect of temperature by the massive subsidence of *Botryllus schlosseri* (Pallas), which replaces the hydroid. In communities of 2-12 months of age, the hydroid *G. loveni* develops over a wide range of temperatures, from 5 to 23 °C. Dynamic changes in communities show that the growth of colonies occurs at a temperature of 5-9 °C with a maximum intensity of 10 to 15 °C. At temperatures above 17 °C, the reduction of colonies occurs.

Key words: subsidence, development of hydroid *Gonothyrea loveni*, the temperature of the sea water of the Sevastopol Bay, the Black sea

About the authors:

Lyudmila B. Dalyokaya, Junior Researcher, Russian Academy of Sciences A.O. Kowalewski Institute of Marine Biological Researches Department of Biotechnology and Phyto/resources Laboratory of Phyto/resources, ul. Nakhimova, 2, Sevastopol, Russia; e-mail: dalekaya 1950@mail.ru

For citation: *Dalyokaya L.B. The sea water temperature impact upon *Gonothyrea loveni* (allman) hydroid development on the artificial substrates in the sevastopol bay (the Black sea) // Water sector of Russia. 2019. No. 5. P. 98-107.*

REFERENCES

1. *Braiko V.D.* Obrastanie v Chyornom more [Fouling in the Black Sea]. Kiev: Naukova dumka, 1985. 250 p.
2. *Gorin A.N.* Zavisimost raspredeleniya osnovnykh organizmov – obrastatelei Yaponskogo morya ot nekotorykh faktorov srede obitaniya. [Dependance of the Sea of Japan main fouling organisms on some factors of environment] Obrastanie v Yaponskom I Okhotskom moryakh. – Vladivostok: DVNS AN SSSR, 1975. №3. P. 45–70.
3. *Dalyokaya L.B.* Kultivirovanie gidroida *Obelia loveni* (Allm.) i otsenka strukturnykh kharakteristik poseleny [The *Obelia loveni* (Allm.) hydroid cultivation and assessment of the colonies' structural characteristics]. Trudy yuzhnogo in-ta morskogo rybnogo khozyaystva i okeanografiyi. Kerch, 2008. T. 46. P. 71–78.
4. *Zwyaginzev A.Yu.* Morskoe obrastanie v severo-zapadnoy chasti Tihogo okeana [Marine fouling in the North-Western part of the Pacific Ocean]. – Bladivostok: Dalnauka, 2005. 431 p.
5. *Dalyokaya L.B.* Pervichnaya suktsessia soobshtstv obrastaniya na iskustvennykh substratakh v Sevastopolskoy bukhte [Initial succession of the fouling communities on artificial substrates in the Sevastopol Bay]. Ternopol: Nauk sap. ped. un-ta. – cer. boil., 2010, № 3 (44). P. 69-71.
6. *Dalyokaya L.B.* Gidroidy v obrastaniyi iskustvennykh substratov [Hydroids in fouling of artificial substrates]. – Biorasnoobrasie I ustoichivoe rasvitie.: – Simferopol, 2012. P. 356-358.
7. *Railkin A.I., Betsyadobckij A.P., Primakob I.M., Koldunob A.B.* Vzaimodeystviye pribrezhnykh bentosnykh soobshchestv Belogo morya s pridonnyim sloem [Interaction of the White Sea coastal benthos communities with a near-bottom layer] / Pod red. d-ra boil. nauk A.I. Railkina. – SPb.: Izd-bo S.-Peterb. un-ta, 2012. 408 p.
8. *Kuznetsova I.A., Zevina G.B.* Obrastanie v rayonah stroitelstva prilivnykh elektrostantsiy na Barentsevom i Belom moryah [Fouling in the rizing tide power station construction areas in the Sea of Barents and the White Sea] : Nauka, 1967. P. 18–28.
9. *Marfenin N.N.* Funktsionalnaya morfologiya kolonialnykh gidroidov [Functional morphology of colonial hydroids]. SPb: ZIN RAN, 1993. 153 p. (in Russ.).

10. *Marfenin N.N., Kocevich I.A.* Biologiya gidroida *Obelia loveni* (Allm.): obrazovanie koloniy, povedenie i zhiznenniy tsikl gidrantov, razmnojenie [The *Obelia loveni* (Allm.) hydroid biology: colony formation, hydrants' behavior and life cycle, reproduction]. Vestn. Mosk. un-ta, ser. 16. Biologiya. 1984. № 3. P. 16–24.
11. *Marfenin N.N.* Rost kolonii *Obelia loveni* v zavisimosti ot kolichestva pishchi [The *Obelia loveni* colony growth dependent of food quantity] //III sezd sovet. okeanol. Biol. okeana: L, 1987, ch. II. P. 128–130.
12. *Marfenin N.N.* Funktsionirovanie raspredelitelnoy sistemy v koloniyah gidroidov: noveyshiy metod i fakty. [The distribution system functioning in a hydroid colony: the latest method and facts] // Fundamentalnye issledovaniya sovremennykh gubok i kishichnopolosnykh. tez. dokl. Belomor. bios. MGU. 1989: L, 1989. P. 78–89.
13. *Kocevich I.A.* Vzaimodeystvie lokalnykh i obshchekolonialnykh protsessov vo vremya rosta kolonii *Obelia loveni* (Allm.) [Interaction of local and all-colony processes during the *Obelia loveni* (Allm.) colony growth]. Gubki i knidarii. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy issledovaniya: L, 1988. P. 85–90.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРОЦИАНИДА НИКЕЛЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ В ПРОБАХ ПРИРОДНЫХ ВОД

**В.С. Семенищев, С.М. Титова, А.В. Воронина,
А.Ф. Никифоров, М.О. Блинова**

E-mail: vovius82@mail.ru

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия*

АННОТАЦИЯ: В работе представлены результаты тестирования двух неорганических сорбентов для селективного концентрирования цезия в схеме радиохимического анализа ^{137}Cs в пробах природных вод. В качестве сорбентов использованы ферроцианид никеля-калия, диспергированный в матрице диоксида циркония, полученной золь-гель методом с последующей сушкой при $100\text{ }^\circ\text{C}$ (сорбент Т-35, производства АО «Термоксид»), и ферроцианид никеля-калия, химически нанесенный на матрицу термически обработанного ($400\text{ }^\circ\text{C}$) гидратированного диоксида титана (сорбент НКФ-ГДТ, разработка УрФУ). Показано, что в динамических условиях сорбент НКФ-ГДТ обладает существенно лучшими сорбционными свойствами, чем Т-35, несмотря на близкие сорбционные характеристики в статических условиях. Для обоих сорбентов обнаружено, что степени сорбции цезия из закисленной морской воды ($\text{pH} = 2$) существенно выше, чем из нейтральной и слабощелочной ($\text{pH} = 8,2$), что можно объяснить образованием относительно стабильных псевдорадиоколлоидных форм цезия при $\text{pH} = 8,2$, которые разрушаются при закислении раствора.

Установлено, что сорбент НКФ-ГДТ может быть использован для селективного концентрирования ^{137}Cs из различных типов проб природных вод. Схема радиохимического анализа была протестирована с использованием 7,2 л пробы воды из р. Теча (Челябинская область) с добавлением 0,1 мг/л стабильного цезия для определения выхода с помощью прибора ICP-MS. Суммарный химический выход цезия при концентрировании составил 91,7 %, удельная активность ^{137}Cs в пробе – $1,36 \pm 0,21$ Бк/л.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цезий, ферроцианид, радиохимический анализ, природная вода, морская вода, р. Теча, радиоактивное загрязнение.

© Семенищев В.С., Титова С.М., Воронина А.В., Никифоров А.Ф., Блинова М.О., 2019

Испытания ядерного оружия, штатная работа предприятий ядерного топливного цикла и радиационные аварии являются основными источниками радиоактивного загрязнения природных вод. Определение содержания техногенных радионуклидов в природных водах необходимо как с точки зрения охраны здоровья человека [1], так и для понимания геохимических процессов [2–5]. Так, например, соотношение активностей $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ может использоваться как показатель источника и времени поступления радиоактивного цезия в природные объекты [6]. Как правило, интерес к данной проблеме существенно возрастает после серьезных радиационных аварий, таких как авария на ЧАЭС (1986 г.) [7] или на АЭС Фукусима-1 (2011 г.) [8].

В настоящее время разработано значительное количество методик, позволяющих проводить экспрессный анализ содержания ^{137}Cs в питьевой воде. В их основе использованы методы селективной сорбции или соосаждения цезия из пробы воды с последующей десорбцией цезия или непосредственным измерением насыщенного сорбента на гамма-спектрометре или бета-радиометре [9]. Для количественного определения ^{137}Cs может также использоваться масс-спектрометрия [10], а для определения ^{134}Cs описано применение жидкостинтилляционной спектрометрии [11]. В качестве селективных сорбентов для цезия наиболее часто применяют сорбенты на основе ферроцианидов, молибдатов и вольфраматов [12]. Поскольку осадки этих соединений, как правило, мелкодисперсные и сложны для использования в динамическом режиме, наиболее распространены следующие композиционные сорбенты на их основе: композитный сорбент на основе смеси вольфрамата и молибдата циркония [13], титановольфрамат на основе полианилина [14], фосфомолибдат аммония на основе полиакрилонитрила (АМР-РАN) [9], цирконил-молибдопирофосфат [15], молибдофосфат олова на основе полиакриламида [16], ферроцианид никеля-калия на основе таких носителей как полиакрилонитрил [17], алюмосиликаты [18], целлюлоза [19], гидратированный диоксид титана [20], а также ферроцианиды железа [21].

Авторами статьи исследована возможность использования композитных неорганических сорбентов на основе ферроцианида никеля-калия для концентрирования цезия-137 в радиохимическом анализе проб природных вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках данного исследования проведено тестирование двух сорбентов: сорбента Т-35, промышленно производимого АО «Термоксид» (г. Заречный), и сорбента НКФ-ГДТ, разработанного кафедрой радиохимии и прикладной экологии УрФУ. Сорбент Т-35 представляет собой ферроцианид никеля-калия, диспергированный в матрице диоксида циркония, полученной золь-гель методом с последующей сушкой при 100 °С [22]. Сорбент

НКФ-ГДТ является ферроцианидом никеля-калия, химически нанесенным на матрицу термически обработанного (400 °С) гидратированного диоксида титана. Физико-химические сорбционные свойства сорбента НКФ-ГДТ описаны в работе [20]. В экспериментах сорбенты использовали без какой-либо предварительной подготовки.

Эксперименты по сорбции цезия проводили с применением отстоянной и отфильтрованной водопроводной воды в качестве аналога природной пресной воды, а также с использованием имитата морской воды, приготовленного в соответствии с [23]. Концентрацию стабильного цезия устанавливали на уровне 1 мг/л, рН растворов задавали внесением растворов NaOH или HCl. В качестве радиоактивного индикатора применяли ¹³⁷Cs. В статических экспериментах навеску сорбента вносили в раствор, который анализировали на бета-радиометре УМФ-2000, отбирая аликвоты до и после сорбции. Объем раствора составлял 50 мл, масса сорбента принята равной 20 мг, время сорбции – 1 неделя. По результатам измерений рассчитывали безразмерную величину степени сорбции S и коэффициенты распределения цезия K_d (мл/г) по уравнениям (1) и (2):

$$S = \frac{I_{in} - I_f}{I_{in}}, \quad (1)$$

$$K_d = \frac{S}{1 - S} \cdot \frac{V}{m}, \quad (2)$$

где I_{in} – скорость счета аликвоты до сорбции, имп/с;

I_f – скорость счета аликвоты после сорбции, имп/с;

V – объем раствора, мл;

m – масса сорбента, г.

В динамических экспериментах раствор пропускали через колонку с сорбентом. Активность растворов измеряли на 63-63-мм NaI(Tl) сцинтиляционном гамма-спектрометре Атомтех МКС АТ-1315 после установления радиоактивного равновесия с дочерним гамма-излучателем ^{137m}Ba.

Для тестирования методики на реальной пробе была отобрана проба воды из р. Течи объемом 7,2 л (дата отбора 23.03.2019) в точке пересечения реки с автомобильной дорогой Екатеринбург–Челябинск (55°36'23"с.ш., 61°18'48"в.д.). Для удаления взвешенных веществ пробу фильтровали на вакуумной фильтровальной установке через бумажный фильтр «синяя лента». Химический состав и концентрацию элементов в водной пробе определяли масс-спектрометрически на ICP-MS-спектрометре NexION 350. В качестве трассера для определения химического выхода ¹³⁷Cs в пробу внесли 0,1 мг/л стабильного цезия. Пробу пропускали через колонку, содержащую 1,5 г сорбента НКФ-ГДТ, отбирая для анализа на ICP-MS по 50-мл

аликвоты раствора через каждый литр пропущенной через колонку пробы. Проскок цезия В определяли по формуле (3):

$$B = \frac{C}{C_0} \cdot 100 \% \quad (3)$$

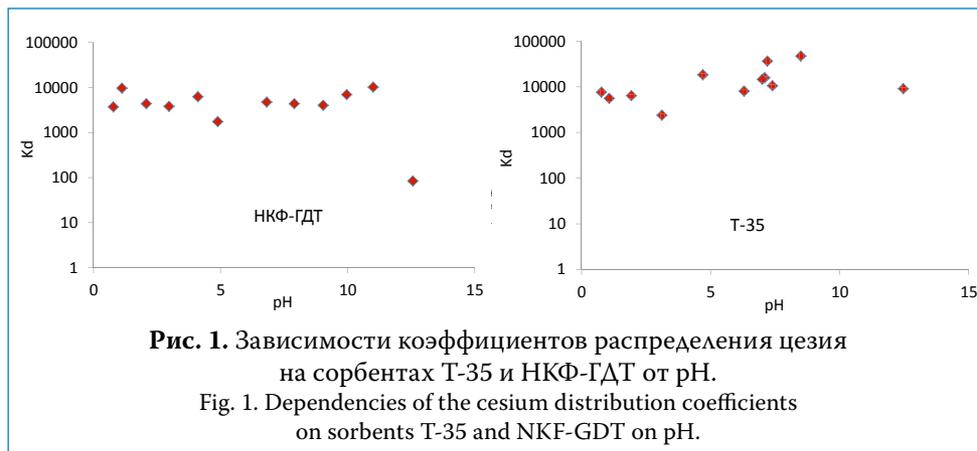
где C_0 и C – концентрации цезия до и после сорбции, мг/л.

Раствор после сорбции собирали в одну 10-литровую канистру, из которой по окончании процесса отобрали 50-мл аликвоту для определения средней величины проскока цезия в процессе сорбции. Насыщенный сорбент после сорбции извлекли из колонки, высушили при температуре 60 °С и измерили его активность на гамма-спектрометре.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что величина рН раствора – это один из показателей, наиболее существенно влияющих на сорбцию катионов. Авторами поставлена серия экспериментов по определению влияния рН на сорбцию цезия сорбентами Т-35 и НКФ-ГДТ в статических условиях. Концентрация стабильного цезия составляла 1 мг/л, в качестве имитата природной пресной воды была взята отстоянная и отфильтрованная водопроводная вода.

На рис. 1 представлены зависимости коэффициентов распределения цезия на сорбентах Т-35 и НКФ-ГДТ от рН раствора.



Результаты показали, что для обоих ферроцианидных сорбентов (Т-35, НКФ-ГДТ) характерна независимость коэффициентов распределения цезия от рН (в интервале рН от 0,5 до 11), что связано с высокой селективностью ферроцианидной фазы к радионуклидам цезия. Коэффициенты распределения цезия для обоих сорбентов сопоставимы и составляют порядка 10^4 мл/г. В то же время для сорбента НКФ-ГДТ наблюдалось снижение ко-

эффицента распределения цезия в щелочной среде при рН более 13, связанное с частичным разрушением фазы ферроцианида никеля-калия. Фаза ферроцианида никеля в составе сорбента Т-35 оказалась более устойчивой в щелочной среде. В целом результаты показали, что оба сорбента потенциально пригодны для концентрирования цезия из водных проб в интервале рН от 0,5 до 11.

Предварительные эксперименты по концентрированию цезия из водных проб в динамических условиях проводили, используя в качестве рабочего раствора 1 л отстоянной и отфильтрованной водопроводной воды с концентрацией стабильного Cs 1 мг/л, содержащей метку ^{137}Cs (1000 – 1500 Бк). После установления равновесия с $^{137\text{m}}\text{Ba}$ (0,5 – 1 ч) измеряли активность исходной пробы в сосуде Маринелли. Далее пробу прокачивали через колонку с сорбентом (1, 1,5 или 2,5 г) со скоростью 1 л/ч в другой сосуд Маринелли. Затем 1 л водопроводной воды промывали шланг насоса, после установления радиоактивного равновесия измеряли активность конечной пробы и промывной воды на гамма-спектрометре. Результаты предварительных экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Степени сорбции цезия в динамических условиях из 1 л водопроводной воды на колонках с различным количеством НКФ-ГДТ и Т-35
Table 1. The cesium sorption degrees in dynamic conditions from 1 l of tap water on columns with different quantity of NKF-GDT and T-35

Масса сорбента, г	1	1,5	2,5
НКФ-ГДТ	94,5 %	98,7 %	99,9 %
Т-35	55,7 %	69,9 %	91,3 %

По результатам предварительных экспериментов установлено, что, несмотря на близкие сорбционные свойства в статических условиях, сорбент НКФ-ГДТ имеет значительно лучшие характеристики при сорбции в динамических условиях, чем сорбент Т-35. Все дальнейшие эксперименты проводили при массе НКФ-ГДТ 1,5 г, Т-35 – 2,5 г. В качестве рабочих растворов протестированы водопроводная вода (рН = 7,7), закисленная водопроводная вода (рН = 2 и рН = 1), имитат морской воды при рН = 8,2, а также имитат морской воды, закисленный до рН = 2. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Полученные данные показали, что в целом для сорбента НКФ-ГДТ характерны существенно более высокие степени извлечения цезия, чем для сорбента Т-35. Для любых типов природных вод они составляют более 85 % при использовании 1,5 г сорбента и скорости пропускания 1 л/ч. Таким образом, сорбент НКФ-ГДТ можно успешно использовать для селективного

концентрирования цезия в методах радиохимического анализа природных вод. При этом концентрирование цезия из 1-литровой водной пробы позволяет в 2,3–2,5 раза повысить эффективность регистрации цезия и, как следствие, повысить чувствительность анализа (табл. 3).

Таблица 2. Степени сорбции (S) и реализованные коэффициенты распределения (K_d , мл/г) цезия на сорбентах НКФ-ГДТ и Т-35 в динамических условиях из различных рабочих растворов объемом 1 л
Table 2. Sorption degrees (S) and the realized cesium distribution coefficients (K_d , ml/g) on NKF-GDT and T-35 sorbents in dynamic conditions from different 1 l volume work solutions

Проба	Т-35, 2,5 г		НКФ-ГДТ, 1,5 г	
	S, %	K_d , мл/г	S, %	K_d , мл/г
Водопроводная вода (pH = 7,7)	91,3	$4,2 \cdot 10^3$	98,7	$5,1 \cdot 10^4$
Закисленная водопроводная вода (pH = 2)	68,5	$8,7 \cdot 10^2$	90,3	$6,2 \cdot 10^3$
Закисленная водопроводная вода (pH = 1)	50,2	$4,0 \cdot 10^2$	86,1	$4,1 \cdot 10^3$
Имитат морской воды (pH = 8,2)	73,2	$1,1 \cdot 10^3$	86	$4,1 \cdot 10^3$
Закисленный имитат морской воды (pH = 2)	91,8	$4,5 \cdot 10^3$	96,4	$1,8 \cdot 10^4$

Таблица 3. Эффективность регистрации гамма-излучения в фотопике 662 кэВ на гамма-спектрометре Атомтех МКС АТ-1315 в различных геометриях измерения
Table 3. Effectiveness of the gamma-radiation registration in 662 keV photon peak on Atomtech MKS AT-1315 gamma-spectrometer

Геометрия измерения	Точечная	Сосуд Маринелли, 1 л	Сосуд Дента, 0,1 л	Колонка с сорбентом
Эффективность регистрации, %	4,9	1,6	2,06	3,7– 4,0

Представленные в табл. 2 данные показывают также, что для обоих сорбентов степень сорбции цезия из закисленного имитата морской воды (pH=1) была существенно выше, чем из имитата морской воды при pH=8,2. Данный факт можно объяснить наличием слабоустойчивых в кислой среде псевдорадиоколлоидных форм цезия, которые могут образовываться за счет адсорбции ^{137}Cs на поверхности коллоидных частиц, таких как пыль из воздуха, гидроксид железа и т. д. [24]. Аналогичные данные по наличию псевдорадиоколлоидов ^{137}Cs в природных водах упоминаются в статье [25]. Для подтверждения этого предположения образцы имитатов морской воды

с $\text{pH} = 2$ и $\text{pH} = 8,2$, меченные ^{137}Cs , были профильтрованы через ядерный фильтр с размером пор $0,14\text{--}0,18$ мкм. Содержание коллоидных форм цезия в закисленном имитате морской воды ($\text{pH} = 2$) составило 10 ± 6 %, тогда как в исходном имитате ($\text{pH} = 8,2$) – $19,2 \pm 6,0$ %. Водопроводная вода также содержала $13,6 \pm 6,0$ % псевдорадиоколлоидных форм цезия. Ранее было показано [26], что в присутствии сорбента НКФ-ГДТ эти нестабильные псевдорадиоколлоиды разрушаются, а после сорбции содержание коллоидных форм цезия падает до $4,9 \pm 1,2$ %. Таким образом, присутствие относительно прочных псевдорадиоколлоидных форм цезия в имитате морской воды приводит к снижению сорбции из данного типа проб.

При радиохимическом анализе возможно непосредственное гамма-спектрометрическое измерение в насыщенном сорбенте содержания цезия после его сорбции из водной пробы. Однако в ряде случаев более удобной может оказаться предварительная десорбция цезия с последующим измерением активности раствора. В частности, такой подход дает возможность использовать бета-радиометрию вместо гамма-спектрометрии, что позволяет добиться меньшего предела обнаружения за счет более высокой эффективности регистрации, исключить необходимость выгрузки радиоактивного сорбента из колонки, а также устранить неопределенность результатов измерения, связанную с неравномерностью распределения цезия в колонке и произвольностью взаимного расположения детектора и источника. Для аналогичных сорбентов на основе ферроцианида никеля-калия и молибдофосфата аммония было показано, что десорбция цезия возможна лишь концентрированными солями аммония. Например, 10-кратный объем $5\text{M NH}_4\text{Cl}$ десорбирует 92 % Cs из колонки [27] (также можно использовать NH_4NO_3 [28]), либо через разрушение сорбционной фазы сильнощелочными растворами (3 – 5 М NaOH).

Проведены эксперименты по изучению возможности количественной десорбции цезия из насыщенного сорбента НКФ-ГДТ в динамических условиях. Установлено, что суммарная степень десорбции цезия при пропуске 20 мл $5\text{M NH}_4\text{Cl}$ через колонку с 0,5 г насыщенного сорбента НКФ-ГДТ не превышает 25 %, поэтому использование хлорида аммония в качестве десорбирующего раствора признано бесперспективным. Изучена возможность использования растворов гидроксида натрия для десорбции цезия. Через колонку с 1,5 г сорбента НКФ-ГДТ, насыщенного цезием в предыдущих экспериментах, пропускали растворы NaOH с концентрациями 1, 3 и 5 моль/л, отбирая на анализ фракции по 5 мл. Данные фракции разбавляли до 100 мл и измеряли активность цезия в стандартной геометрии Дента (0,1 л). Результаты представлены на рис. 2.

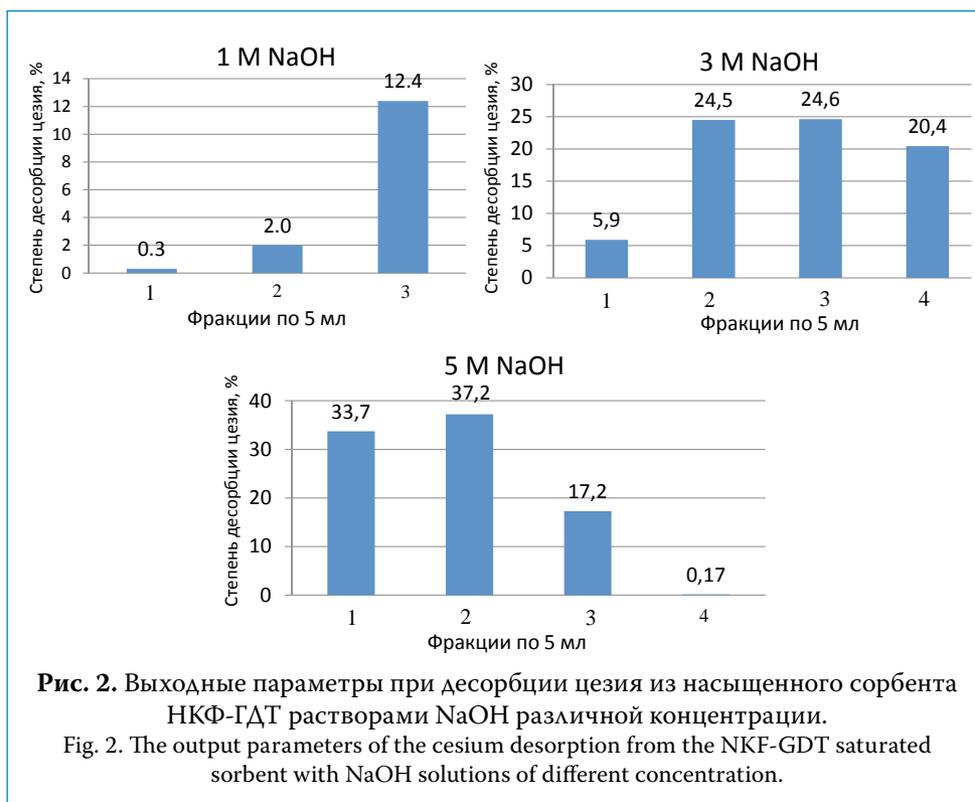


Таблица 4. Суммарные степени десорбции цезия из 1,5 г сорбента НКФ-ГДТ различными элюентами

Table 4. Summarized degrees of cesium desorption from 1.5 g NKF-GDT sorbent with different eluents

Элюент	20 мл 5M NH ₄ Cl	15 мл 1M NaOH	20 мл 3M NaOH	15 мл 5M NaOH
Суммарная степень десорбции, %	24,8	14,7	75,5	88,1

Наилучшие результаты по десорбции были достигнуты при использовании в качестве десорбирующего раствора 5 М NaOH: суммарная степень десорбции в 15 мл раствора составила 88,1 %, тогда как при использовании 3 М NaOH в 20 мл раствора вымывается только 75,5 %. Однако при этом невозможно повторное использование сорбента, поскольку при десорбции происходит полное разрушение фазы ферроцианида никеля-калия. Рассчитано, что при радиохимическом анализе 1 л пресной воды концентрирова-

ние цезия на 1,5 г сорбента НКФ-ГДТ с последующей десорбцией цезия в 15 мл 5М NaOH обеспечит химический выход ^{137}Cs в концентрат на уровне 89 %. Таким образом, можно признать, что десорбция цезия с колонки нецелесообразна, т. к. она приводит к увеличению объема конечной пробы, разрушению сорбента и снижению выхода цезия в конечную пробу.

Благодаря высокой сорбционной емкости изучаемые сорбенты потенциально пригодны для концентрирования цезия из водных проб большого объема. Так, емкость сорбента Т-35 составляет 60 мг/г [22], а для сорбента НКФ-ГДТ эта величина достигает 240 мг/г [20]. Для тестирования схемы анализа отобрана проба воды объемом 7,2 л из р. Течи, широко известного водного объекта, в который в течение второй половины XX в. регулярно производили сбросы низкоактивных радиоактивных отходов радиохимического предприятия. Химический состав воды, определенный по ICP-MS, представлен в табл. 5. Значение pH пробы составило $7,72 \pm 0,05$.

Таблица 5. Содержание основных элементов в пробе воды из р. Течи
Table 5. The main elements content in a water sample from the Techa River

Элемент	Na	K	Rb	Cs	Mg	Ca	Sr	Fe	S	Cl
Концентрация, мг/л	46,2	5,62	0,0062	0,0049	23,8	59,2	0,53	0,27	63,9	30,2

Непосредственное измерение 1-литровой пробы в сосуде Маринелли на гамма-спектрометре показало, что удельная активность ^{137}Cs в воде находится ниже предела обнаружения для данного спектрометра (<3 Бк/л). Пробу воды отфильтровали через бумажный фильтр «синяя лента» и пропустили через колонку, содержащую 1,5 сорбента НКФ-ГДТ, со скоростью 1,1 л/ч. На рис. 3 представлена выходная кривая сорбции цезия в координатах « $C/C_0 - V$ », где C/C_0 – отношение концентрации цезия после сорбции к начальной концентрации, а V – объем пропущенного раствора в колоночных объемах.

Суммарный химический выход цезия составил 91,7 %, что оказалось заметно ниже, чем в случаях экспериментов на модельных растворах. Это можно объяснить как относительно высокой концентрацией конкурирующих ионов в пробе (Na^+ , K^+), так и чуть более высокой скоростью пропускания пробы. После сорбции сорбент был извлечен из колонки, высушен и непосредственно измерен на гамма-спектрометре в течение 10 000 с. Рассчитанная активность ^{137}Cs в пробе воды из р. Течи составила $1,36 \pm 0,21$ Бк/л.

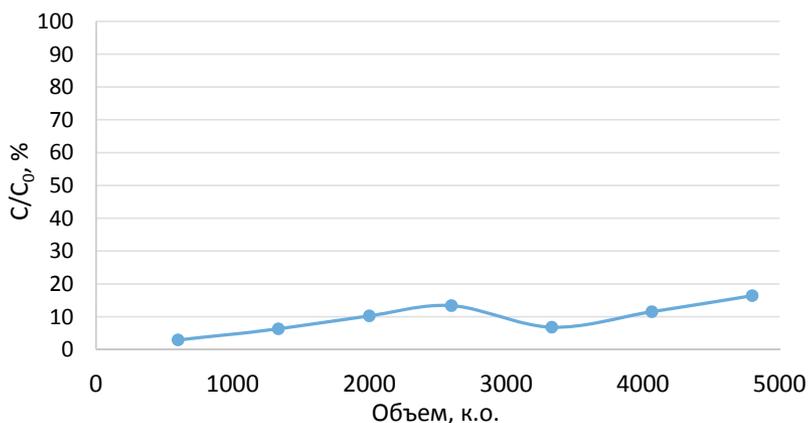


Рис. 3. Выходная кривая сорбции цезия из 7,2-л пробы воды из р. Течи.
Fig. 3. The cesium sorption from 7.2 l water sample from the Techa River output curve.

ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования получены данные о возможности применения двух неорганических сорбентов на основе ферроцианида никеля-калия (НКФ-ГДТ и Т-35) для концентрирования ^{137}Cs при радиохимическом анализе природных вод. В статических условиях оба сорбента имеют сходные сорбционные характеристики, но в динамических условиях сорбент НКФ-ГДТ характеризуется существенно более высокими показателями, чем Т-35. Для обоих сорбентов было обнаружено, что степень сорбции цезия из закисленной морской воды ($\text{pH} = 2$) существенно выше, чем из незакисленной ($\text{pH} = 8,2$), что можно объяснить образованием в этих условиях относительно стабильных псевдорadioколлоидных форм цезия. Показано, что сорбент НКФ-ГДТ может быть использован для селективного концентрирования ^{137}Cs из различных типов природных вод, в частности, необработанных и закисленных проб пресной и морской воды.

При использовании колонки с 1,5 г сорбента НКФ-ГДТ и расходе пробы 1 л/ч степень сорбции цезия составляла не менее 85 %, а в случае необработанной пресной воды эта величина достигала 98,7 %. Наиболее эффективным элюентом для десорбции цезия с насыщенного сорбента НКФ-ГДТ оказался раствор 5М NaOH, обеспечивающий выход цезия 88,3 % в 15 мл элюата. Схема анализа протестирована с использованием 7,2 л пробы воды из р. Течи, в которую добавили 0,1 мг/л стабильного цезия для определения выхода ^{137}Cs с помощью прибора ICP-MS. Суммарный химический выход цезия при концентрировании равен 91,7 %, а удельная активность ^{137}Cs в пробе составила $1,36 \pm 0,21$ Бк/л. Таким образом, результаты лабораторных испы-

таний разработанной методики радиохимического анализа ^{137}Cs на модельных растворах и реальных пробах показали ее высокую чувствительность и достаточную экспрессность. Дальнейшие исследования будут нацелены на усовершенствование методики с целью повышения скорости анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cook M.C., Stukel M.J., Zhang W., Mercier J.-F., Cooke M.W. The determination of Fukushima-derived cesium-134 and cesium-137 in Japanese green tea samples and their distribution subsequent to simulated beverage preparation // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. Vol. 153. P. 23–30.
2. Aoyama M. Long-range transport of radiocaesium derived from global fallout and the Fukushima accident in the Pacific Ocean since 1953 through 2017—Part I: Source term and surface transport // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018. Vol. 318. P. 1519–1542.
3. Breier C.F., Pike S.M., Sebesta F., Tradd K., Breier J.A., Buesseler K.O. New applications of KNiFC-PAN resin for broad scale monitoring of radiocesium following the Fukushima Dai-ichi nuclear disaster. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2016. Vol. 307. P. 2193–2200.
4. Gulin S.B., Egorov V.N., Duka M.S., Sidorov I.G., Proskurnin V.Yu., Mirzoyeva N.Yu., Bey O.N., Gulina L.V. Deep-water profiling of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Black Sea: a further insight into dynamics of the post-Chernobyl radioactive contamination // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015. Vol. 304. P. 779–783.
5. Daraoui A., Tosch L., Gorny M., Michel R., Goroncy I., Herrmann J., Nies H., Synal H.-A., Alfmov V., Walther C. Iodine-129, Iodine-127 and Cesium-137 in seawater from the North Sea and the Baltic Sea // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. Vol. 162-163. P. 289 – 299.
6. Mahmood Z.U.W., Yui M.O., Khalid M.A., Yusof M.A.W., Mohamed N. Marine radioactivity of Cs-134 and Cs-137 in the Malaysian Economic Exclusive Zone after the Fukushima accident // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018. Vol. 318. P. 2165–2172.
7. Hirose K., Aoyama M., Sugimura Y. Plutonium and cesium isotopes in river waters in Japan // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1990. Vol. 141. P. 191–202.
8. Povinec P.P., Hirose K., Aoyama M. Fukushima Accident: Radioactivity Impact on the Environment. Elsevier, 2013. 222 p.
9. Pike S.M., Buesseler K.O., Breier C.F., Dulaiova H., Stastna K., Sebesta F. Extraction of cesium in seawater off Japan using AMP-PAN resin and quantification via gamma spectroscopy and inductively coupled mass spectrometry // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2013. Vol. 296. P. 369-374.
10. Cao L., Zheng J., Tsukada H., Pan S., Wang Z., Tagami K., Uchida S. Simultaneous determination of radiocesium (^{135}Cs , ^{137}Cs) and plutonium (^{239}Pu , ^{240}Pu) isotopes in river suspended particles by ICP-MS/MS and SF-ICP-MS // *Talanta*. 2016. Vol. 159. P. 55–63.
11. Aroma H., Helariutta K., Ikonen J., Yli-Kaila M., Koskinen L., Siitari-Kauppi M. Analysis of ^3H , ^{36}Cl , ^{133}Ba , ^{134}Cs and ^{22}Na from synthetic granitic groundwater:

- an in situ through diffusion experiment at ONKALO // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018. Vol. 318. P. 1161–1169.
12. *Voronina A.V., Betenekov N.D., Semenishchev V.S., Nedobukh T.A.* Analysis of Radionuclides in Environmental Samples. In: Walther C., Gupta D.K. (Eds.). *Radionuclides in the Environment. Influence of chemical speciation and plant uptake on radionuclide migration*. Springer, 2015. P. 231–253.
 13. *Kumar S.S., Sivaiah M.V., Venkatesan K.A., Krishna R.M., Murthy G.S., Sasidhar P.* Removal of cesium and strontium from acid solution using a composite of zirconium molybdate and zirconium tungstate // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2003. Vol. 258. P. 321–327.
 14. *El-Naggar I.M., Zakaria E.S., Ali I.M., Khalil M., El-Shahat M.F.* Chemical studies on polyaniline titanotungstate and its uses to reduction cesium from solutions and polluted milk // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2012. Vol. 112. P. 108–117.
 15. *Shady S.A.* Selectivity of cesium from fission radionuclides using resorcinol-formaldehyde and zirconyl-molybdopyrophosphate as ion-exchangers // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 167. P. 947–952.
 16. *Khanchi A.R., Yavari R., Pourazarsa S.K.* Preparation and evaluation of composite ion-exchanger for the removal of cesium and strontium radioisotopes // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2007. Vol. 273. P. 141–145.
 17. *Kamenik J., Dulaiova H., Sebesta F., Stastna K.* Fast concentration of dissolved forms of cesium radioisotopes from large seawater samples // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2013. Vol. 296. P. 841–846.
 18. *Воронина А.В., Блинова М.О., Куляева И.О., Санин П.Ю., Семенищев В.С., Афонин Ю.Д.* Сорбция радионуклидов цезия из водных растворов на природных и модифицированных алюмосиликатах // *Радиохимия*. 2015. Т. 57. № 5. С. 446–452.
 19. *Воронина А.В., Чайкина Т.И., Никифоров А.Ф., Дриккер Б.Н., Вураско А.В., Фролова Е.И.* Сорбенты на основе технической целлюлозы для очистки радиоактивно-загрязненных вод и реабилитации природных водоемов // *Водное хозяйство России*. 2013. № 5. С. 45–53.
 20. *Воронина А.В., Семенищев В.С., Ноговицына Е.В., Бетенев Н.Д.* Исследование ферроцианидных сорбентов на основе гидратированного диоксида титана с применением физико-химических методов // *Радиохимия*. 2012. Т. 54. № 1. С. 66–70.
 21. *Remez V.P., Semenishchev V.S., Voronina A.V., Ioshin A.A.* The Sorben-Tec system for rapid dosimetric evaluation of ¹³⁷Cs in drinking water // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2017. Vol. 311. P. 135–140.
 22. Шарыгин Л.М., Муромский А.Ю., Калягина М.Л. Структура и свойства селективного к цезию гранулированного неорганического катионообменника // Сорбционные и хроматографические процессы. 2006. Т. 6. № 6. С. 965–971.
 23. *Millero F.J., Feistel R., Wright D.G., McDougall T.J.* The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale // *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2008. Vol. 55. Iss. 1. P. 50–72.

24. *Semenishchev V.S., Ryabukhina V.G., Voronina A.V., Mashkovtsev M.A., Nikiforov A.F.* The study of selectivity of caesium sorption by a natural and surface-modified glauconite in presence of potassium and ammonium ions // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2016. Vol. 309. P. 583–588.
25. *Степанец О.В., Лигаев А.Н., Борисов А.П., Травкина А.В., Шкинев В.М., Данилова Т.В., Мирошников А.Ю., Мигунов В.И.* Геоэкологические исследования Обь-иртышского речного бассейна в пределах Ханты-мансийского автономного округа-Югра в 2006–2007 годы // *Геохимия*. 2009. № 7. С. 699–713.
26. *Воронина А.В., Ноговицына Е.В.* Некоторые особенности кинетики сорбции цезия полифункциональным ферроцианидным сорбентом // *Радиохимия*. 2015. Т. 57. № 1. С. 69–75.
27. *Sebesta F., Stefula V.* Composite ion exchanger with ammonium molybdophosphate and its properties // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1990. Vol. 140. P. 15–21.
28. *Brewer K.N., Todd T.A., Wood D.J.* AMP-PAN column tests for the removal of Cs-137 from actual and simulated INEEL high-activity wastes. *Czechoslovak Journal of Physics*. 1999. Vol. 49. P. 959–964.

Для цитирования: Семенищев В.С., Титова С.М., Воронина А.В., Никифоров А.Ф., Блинова М.О. Применение композитных сорбентов на основе ферроцианида никеля для анализа радионуклидов цезия в пробах природных вод // *Водное хозяйство России*. 2019. № 5. С. 108–123.

Сведения об авторах:

Семенищев Владимир Сергеевич, канд. хим. наук, доцент, кафедра радиохимии и прикладной экологии, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: vovius82@mail.ru

Титова Светлана Михайловна, ассистент, кафедра редких металлов и наноматериалов, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: avotitms@mail.ru

Воронина Анна Владимировна, канд. хим. наук, доцент, заведующий кафедрой, кафедра радиохимии и прикладной экологии, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: av.voronina@mail.ru

Никифоров Александр Федорович, д-р хим. наук, профессор, кафедра радиохимии и прикладной экологии, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: alex.f.nikiforov@mail.ru

Блинова Марина Олеговна, канд. хим. наук, доцент, кафедра радиохимии и прикладной экологии, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19, e-mail: m.o.blinova@urfu.ru

THE USE OF COMPOSITE SORBENTS BASED ON NICKEL FERROCYANIDE IN
DETERMINATION OF CESIUM RADIONUCLIDES IN NATURAL WATER SAMPLES

Vladimir S. Semenishchev, Svetlana M. Titova, Anna V. Voronina,
Aleksandr F. Nikiforov, Marina O. Blinova

E-mail: vovius82@mail.ru

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract: The paper presents results of two inorganic sorbents for the cesium selective concentration in the scheme of ^{137}Cs radio/chemical analysis in natural water samples. Nickel/potassium ferrocyanide dispersed in a zirconium dioxide matrix obtained by the sol/gel method with subsequent drying at 100 °C (T-35 sorbent produced by AO "Termoksid"), and nickel/potassium ferrocyanide chemically deposited upon a matrix of hydrated titanium dioxide thermally treated at 400 °C (NKF-GDT sorbent developed by UrFU). We have shown that in the dynamic conditions NKF-GDT sorbent possesses significantly higher sorption properties in comparison with T-35 in spite of close to similar sorption characteristics in the static conditions. For both sorbents we have shown that the degree of cesium sorption from acidulated sea water (pH = 2) is significantly higher than from neutral or low-alkaline water (pH = 28.2). This can be explained by formation of relatively stable pseudo/radio/colloid forms of cesium at pH = 28.2 that are to be destroyed with the solution acidulation.

The authors have stated that NKF-GDT sorbent can be used for ^{137}Cs selective concentration from various types of natural water samples. The radio/chemical analysis scheme has been tested with 7.2 l water sample from the Techa River (Chelyabinsk Oblast) with addition of 0.1 mg/l of stable cesium for determination of the output with ICP-MS instrument. Total chemical output of cesium in the process of concentration was 91.7 % and specific activity of ^{137}Cs in the sample was 1.36 ± 0.21 Bq/l.

Key words: cesium, ferrocyanide, radio/chemical analysis, natural water, sea water, the Techa River, radioactive contamination.

About the authors:

Vladimir S. Semenishchev, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Ural Federal University Chair of Radio/chemistry and Applied Ecology, ul. Mira, 19, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: vovius82@mail.ru

Svetlana M. Titova, Assistant, Ural Federal University Chair of Rare Metals and Nano/materials, ul. Mira, 19, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: avotitms@mail.ru

Anna V. Voronina, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Ural Federal University Chair of Radio/chemistry and Applied Ecology, ul. Mira, 18, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: av.voronina@mail.ru

Prof. Aleksandr F. Nikiforov, Doctor of Chemical Sciences, Ural Federal University Chair of Radio/chemistry and Applied Ecology, ul. Mira, 19, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: alex.f.nikiforov@mail.ru

Marina O. Blinova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Ural Federal University Chair of Radio/chemistry and Applied Ecology, ul. Mira, 19, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: m.o.blinova@urfu.ru

For citation: Semenishchev V.S., Titova S.M., Voronina A.V., Nikiforov A.F., Blinova M.O. *The Use of Composite Sorbents based on Nickel Ferrocyanide in Determination of Cesium Radionuclides in Natural Water Samples // Water Sector of Russia. 2019. No. 5. P. 108-123.*

REFERENCES

1. Cook M.C., Stukel M.J., Zhang W., Mercier J.-F., Cooke M.W. The determination of Fukushima-derived cesium-134 and cesium-137 in Japanese green tea samples and their

- distribution subsequent to simulated beverage preparation // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. Vol. 153. P. 23–30.
2. *Aoyama M.* Long-range transport of radiocaesium derived from global fallout and the Fukushima accident in the Pacific Ocean since 1953 through 2017—Part I: Source term and surface transport // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018. Vol. 318. P. 1519–1542.
 3. *Breier C.F., Pike S.M., Sebesta F., Tradd K., Breier J.A., Buesseler K.O.* New applications of KNiFC-PAN resin for broad scale monitoring of radiocesium following the Fukushima Dai-ichi nuclear disaster. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2016. Vol. 307. P. 2193–2200.
 4. *Gulin S.B., Egorov V.N., Duka M.S., Sidorov I.G., Proskurnin V.Yu., Mirzoyeva N.Yu., Bey O.N., Gulina L.V.* Deep-water profiling of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the Black Sea: a further insight into dynamics of the post-Chernobyl radioactive contamination // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015. Vol. 304. P. 779–783.
 5. *Daraoui A., Tosch L., Gorny M., Michel R., Goroncy I., Herrmann J., Nies H., Synal H.-A., Alfimov V., Walther C.* Iodine-129, Iodine-127 and Cesium-137 in seawater from the North Sea and the Baltic Sea // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. Vol. 162-163. P. 289 – 299.
 6. *Mahmood Z.U.W., Yii M.O., Khalid M.A., Yusof M.A.W., Mohamed N.* Marine radioactivity of Cs-134 and Cs-137 in the Malaysian Economic Exclusive Zone after the Fukushima accident // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018. Vol. 318. P. 2165–2172.
 7. *Hirose K., Aoyama M., Sugimura Y.* Plutonium and cesium isotopes in river waters in Japan // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1990. Vol. 141. P. 191–202.
 8. *Povinec P.P., Hirose K., Aoyama M.* Fukushima Accident: Radioactivity Impact on the Environment. Elsevier, 2013. 222 p.
 9. *Pike S.M., Buesseler K.O., Breier C.F., Dulaiova H., Stastna K., Sebesta F.* Extraction of cesium in seawater off Japan using AMP-PAN resin and quantification via gamma spectroscopy and inductively coupled mass spectrometry // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2013. Vol. 296. P. 369–374.
 10. *Cao L., Zheng J., Tsukada H., Pan S., Wang Z., Tagami K., Uchida S.* Simultaneous determination of radiocesium (^{135}Cs , ^{137}Cs) and plutonium (^{239}Pu , ^{240}Pu) isotopes in river suspended particles by ICP-MS/MS and SF-ICP-MS // *Talanta*. 2016. Vol. 159. P. 55–63.
 11. *Aromaa H., Helariutta K., Ikonen J., Yli-Kaila M., Koskinen L., Siitari-Kauppi M.* Analysis of ^3H , ^{36}Cl , ^{133}Ba , ^{134}Cs and ^{22}Na from synthetic granitic groundwater: an in situ through diffusion experiment at ONKALO // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018. Vol. 318. P. 1161–1169.
 12. *Voronina A.V., Betenekov N.D., Semenishchev V.S., Nedobukh T.A.* Analysis of Radionuclides in Environmental Samples. In: Walther C., Gupta D.K. (Eds.). Radionuclides in the Environment. Influence of chemical speciation and plant uptake on radionuclide migration. Springer, 2015. P. 231–253.
 13. *Kumar S.S., Sivaiah M.V., Venkatesan K.A., Krishna R.M., Murthy G.S., Sasidhar P.* Removal of cesium and strontium from acid solution using a composite of zirconium molybdate and zirconium tungstate // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2003. Vol. 258. P. 321–327.
 14. *El-Naggar I.M., Zakaria E.S., Ali I.M., Khalil M., El-Shahat M.F.* Chemical studies on polyaniline titanotungstate and its uses to reduction cesium from solutions and polluted milk // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2012. Vol. 112. P. 108–117.
 15. *Shady S.A.* Selectivity of cesium from fission radionuclides using resorcinol-formaldehyde and zirconyl-molybdopyrophosphate as ion-exchangers // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 167. P. 947–952.

16. *Khanchi A.R., Yavari R., Pourazarsa S.K.* Preparation and evaluation of composite ion-exchanger for the removal of cesium and strontium radioisotopes // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2007. Vol. 273. P. 141–145.
17. *Kamenik J., Dulaiova H., Sebesta F., Stastna K.* Fast concentration of dissolved forms of cesium radioisotopes from large seawater samples // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2013. Vol. 296. P. 841–846.
18. *Voronina A.V., Blinova M.O., Kulayeva I.O., Sanin P.Y., Semenishchev V.S., Afonin Y.D.* Sorbtsiya radionuklidov tseziya iz vodnykh rastvorov na prirodnykh i modifitsirovannykh alyumosilikatakh [Sorption of cesium radionuclides from water solutions on natural and modified aluminum silicates] // *Radiokhimiya*. 2015. V. 57. No 5. Pp. 446–452.
19. *Voronina A.V., Chaykina T.I., Nikiforov A.F., Driker B.N., Vurasko A.V., Frolova Y.I.* Sorbenty na osnove tekhnicheskoy tsellulozy dlya chistki radioaktivno-zagryaznennykh vod i reabilitatsiy prirodnykh vodoyomov [Technical cellulose-based sorbents for radioactively-polluted waters treatment and natural water bodies' rehabilitation] // *Water Sector of Russia*. 2013. No 5. Pp. 45–53.
20. *Voronina A.V., Semenishchev V.S., Nogovitsina Y.V., Betenekov N.D.* Issledovaniye ferrotsianidnykh sorbentov na osnove gidratirovannogo dioksida titana s primeneniym fiziko-khimicheskikh metodov [Studies of the ferrocyanide sorbents on the base of hydrated titanium dioxide with application of physical/chemical methods] // *Radiokhimiya*. 2012. V. 54. No 1. Pp. 66–70.
21. *Remez V.P., Semenishchev V.S., Voronina A.V., Ioshin A.A.* The Sorben-Tec system for rapid dosimetric evaluation of ¹³⁷Cs in drinking water // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2017. Vol. 311. P. 135–140.
22. *Sharygin L.M., Muromskiy A.Y., Kalyagina M.L.* Struktura i svoystva selektivnogo k tseziyu granulirovannogo neotganicheskogo kationoobmennika [The structure and properties of a granulated inorganic cation-exchanger selective to cesium] // *Sorbtsionniye i khromatograficheskiye protsessy*. 2006. V. 6. No 6. pp. 965–971.
23. *Millero F.J., Feistel R., Wright D.G., McDougall T.J.* The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale // *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2008. Vol. 55. Iss. 1. P. 50–72.
24. *Semenishchev V.S., Ryabukhina V.G., Voronina A.V., Mashkovtsev M.A., Nikiforov A.F.* The study of selectivity of cesium sorption by a natural and surface-modified glauconite in presence of potassium and ammonium ions // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2016. Vol. 309. P. 583–588.
25. *Stepanets O.V., Ligayev A.N., Borisov A.P., Travkina A.V., Shkinev V.M., Danilova T.V., Miroshnikov A.Y., Migunov V.I.* Geoekologicheskkiye issledovaniya Ob-irtyshskogo rechnogo basseyna v predelakh Khanty-mansiyskogo avtonomnogo okruga-Yugra v 2006-2007 gody [Geo/ecological researches of the Ob-Irtysh river basin within the boundaries of the Khanty-Mansy Autonomous District-Yugra in 2006-2007] // *Geokhimiya*. 2009. No 7. Pp. 699–713.
26. *Voronina A.V., Nogovitsina Y.V.* Nekotoriye osobennosti kinetiki sorbtsiy tseziya polifuntsionalnym ferrotsianidnym sorbentom [Some special features of the cesium sorption kinetics with poly/fictional ferrocyanide sorbent] // *Radiokhimiya*. 2015. V. 57. No 1. Pp. 69–75.
27. *Sebesta F., Stefula V.* Composite ion exchanger with ammonium molybdophosphate and its properties // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1990. Vol. 140. P. 15–21.
28. *Brewer K.N., Todd T.A., Wood D.J.* AMP-PAN column tests for the removal of Cs-137 from actual and simulated INEEL high-activity wastes. *Czechoslovak Journal of Physics*. 1999. Vol. 49. P. 959–964.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ ОТ ИОНОВ МЕДИ МОДИФИЦИРОВАННЫМ КАРБОНАТНЫМ ШЛАМОМ*

Л.А. Николаева, М.Н. Котляр

E-mail: larisanik16@mail.ru

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия*

АННОТАЦИЯ: Представлена технология получения гранулированного сорбционного материала на основе шлама химводоподготовки. Адсорбция изучена в статических и динамических условиях. Эффективность адсорбции по ионам меди – 90,5 %. Построены изотерма адсорбции и кривая адсорбции в динамических условиях катионов меди гранулированным материалом. В ходе эксперимента определена динамическая обменная емкость, полная обменная емкость гранулированного материала. Определены показатели качества фильтрата при пропуске воды через загрузки сорбционного материала, соответствующие ПДК веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопотребления.

Проведено биотестирование водной вытяжки гранулированного сорбционного материала на острую летальную токсичность для рыб *Poecilia Reticulate Peters* и ракообразных *Daphnia Magna*. Полученные результаты подтверждают, что гранулированный сорбционный материал практически не опасен и не приносит вторичного загрязнения в сточные воды. Представлена технологическая схема ионообменной очистки сточных вод гальванических цехов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: очистка сточных вод, гальваническое производство, гранулированный сорбционный материал, ионы тяжелых металлов.

В машиностроительном производстве основными видами сточных вод являются стоки гальванических цехов и травильных отделений. Гальваническое производство является одним из наиболее опасных источников загрязнения поверхностных вод из-за образования большого объема высокотоксичных сточных вод. Со сточной водой в водоемы попадают ионы тяжелых металлов (ИТМ), являющиеся ядами кумулятивного, канцерогенного и мутагенного действия. В сточных водах гальванических цехов эти ионы присутствуют в значительных концентрациях и различных формах, поэтому многие локальные очистные сооружения зачастую не справляют-

* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности (№ 13.6384.2017/БЧ)

© Николаева Л.А., Котляр М.Н., 2019

ся со своей задачей, а концентрация ИТМ на выходе превышает установленные нормы предельно допустимого сброса (ПДС) [1].

Сточные воды гальванических цехов и травильных отделений могут быть концентрированными (отработанные растворы и электролиты) и разбавленными (промывные воды после различных технологических операций). В электролитах концентрация загрязнений составляет 200–250 г/л, в промывных водах 100–200 мг/дм³ [2]. Сточные воды содержат кислоты, щелочи и соли металлов [3].

Существующие реагентные, биологические, электрохимические методы очистки сточных вод не всегда позволяют производить снижение концентрации до норм ПДС, поэтому применение адсорбционных технологий, основанных на использовании отходов производства в качестве сорбционных материалов, на ступенях доочистки является актуальным и перспективным направлением. Простота аппаратного оформления, глубокая степень извлечения, экономическая целесообразность способствуют применению адсорбционного метода очистки сточных вод от ИТМ в промышленных масштабах. Промышленно выпускаемые сорбенты характеризуются высокой стоимостью. Разработка для очистки сточных вод относительно недорогих сорбционных материалов, получаемых из отходов производства, имеет практическое значение. В работе рассмотрена возможность использования многотоннажного отхода энергетики в качестве сорбционного материала при очистке сточных вод промышленных предприятий от ионов меди.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многотоннажный отход энергетики – шлам химводоподготовки (ХВП), образующийся на стадии предварительной очистки сырой воды при проведени известкования и коагуляции. В зависимости от объемов производства электрической и тепловой энергии на объектах теплоэнергетики ежегодно образуется от 6,5 до 7 тыс. т шлама. Шлам удаляется из аппаратов осветлителей в виде пульпы с влажностью 90 %, которая направляется нашламоотвалы для обезвоживания.

Экспериментальные исследования проведены с использованием шлама химводоподготовки Казанской ТЭЦ-1. Выполнен рентгенографический качественный фазовый анализ шлама на дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker, который показал следующий состав: кальцит CaCO_3 – 70 %, брусит $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 9 %, порландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ < 1 %, кварц SiO_2 – 0,5 %, прочие вещества – 17,5 % [4, 5]. Анализ шлама методом газовой хромато-масс-спектрометрии с электронной ионизацией DFS производства «ThermoFisherSch.Cu» выявил на его поверхности типовой набор функциональных групп гуминовых веществ: $-\text{OH}$, $=\text{NH}$, $-\text{CH}_3$, $=\text{CH}_2$, ароматических $-\text{CH}=\text{CH}$ – связей, $-\text{COOH}$ – карбоксильных групп и $-\text{OH}$ –

спиртовых групп до 12 % (масс). Химический состав шлама представлен преимущественно карбонатом кальция. Несмотря на то что в шламе содержатся тяжелые металлы, отход относится к пятому классу опасности, т. е. степень вредного воздействия материала на окружающую природную среду практически неопасна. Основные физико-химические и технологические характеристики шлама представлены в табл.1.

Таблица 1. Физико-химические и технологические характеристики шлама
Table 1. Physical/chemical and technological properties of the slurry

Насыпная плотность	560 кг/м ³				
Зольность сухого шлама	89% (37 % – для замазученного шлама)				
Органический углерод	11%				
Влагоемкость шлама	57% масс.				
Гранулометрический состав	>1,4	1,0÷1,4	0,5÷1,0	0,09÷0,5	<0,09 мм
	26,9 %	5,7 %	8,7%	49,8 %	8,9 %
рН	8,53 (слабощелочная)				

В практике очистки сточных вод на промышленных предприятиях от ионов тяжелых металлов используются адсорбционные или ионообменные фильтры с гранулированной загрузкой. Поэтому на основе мелкодисперсного шлама разработан гранулированный сорбционный материал (ГСМ).

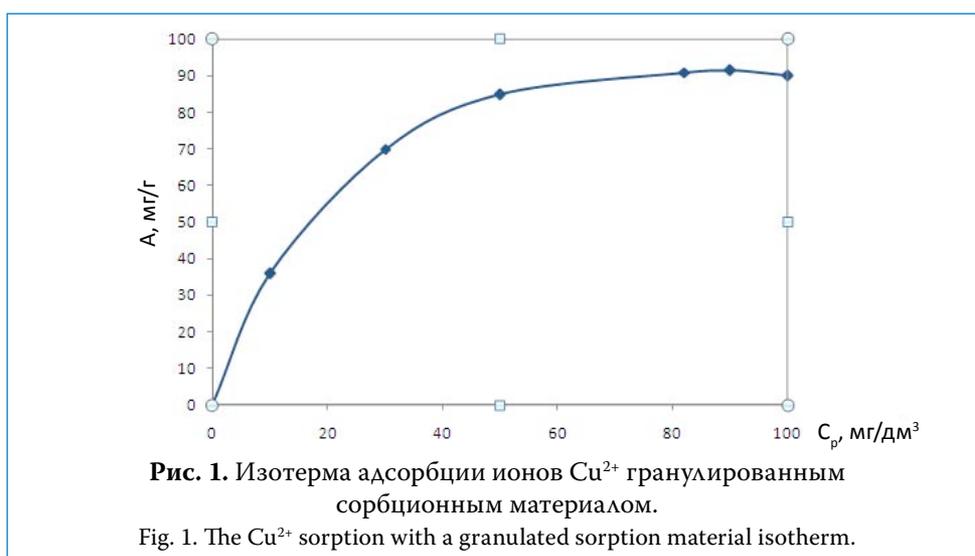
Для получения гранул мелкодисперсный шлам с размером частиц от 0,01 до 0,09 мм смешивали с жидким натриевым стеклом при массовом и объемном соотношении 2:1 соответственно. Данное соотношение подобрано экспериментальным путем: при меньшем соотношении происходит неполное пропитывание шлама жидким натриевым стеклом, при последующем обжиге гранулы осыпаются; при большем соотношении отмечен перерасход связующего. Смесь доводили до однородной массы, окатывание гранул производили вручную. Образовавшиеся гранулы выдерживали в печи при температуре 400 °С в течение 3 ч, далее охлаждали их до комнатной температуры в эксикаторе. В результате гранулы имеют размер 0,5–2,5 мм, характеризуются средней гидрофильностью (влагоемкость – 15 % масс.). Технические характеристики полученного гранулированного материала: суммарный объем пор – 0,592 см³/г, удельная поверхность – 46,2 м²/г, насыпная плотность – 556 кг/дм³, прочность на истирание – 78 %.

Для оценки адсорбционной способности ГСМ по отношению к катионам меди проведены исследования на модельных растворах CuSO₄·5H₂O концентрацией 50 мг/дм³. Эффективность адсорбции по ионам меди составила 90,5 %. Построена изотерма адсорбции ионов Cu²⁺ из водных модельных растворов ГСМ в статических условиях (рис. 1). При этом использован метод переменных навесок и постоянной концентрации.

Одновременно в семь конических колб наливали 100 мл модельного раствора с концентрацией ($C_{\text{Cu}^{2+}} = 100 \text{ мг/дм}^3$), добавляли различные навески ГСМ в количестве 0,01–2 г. После 24 ч перемешивания на лабораторном встряхивателе ГСМ отделяли от раствора с помощью бумажного фильтра и определяли концентрацию Cu^{2+} в фильтрате. Величину адсорбционной емкости (A , мг/г), рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{р}}}{m} \times V, \quad (1)$$

где $C_{\text{исх}}$, $C_{\text{р}}$ – исходная и равновесная концентрации катионов меди, мг/дм³; V – объем модельного раствора, дм³; m – доза шлама, г.



Выпуклая форма изотермы относится к I типу по классификации Брунауэра, Демина и Теллера, соответствует изотерме Ленгмюра L-типа.

Химический состав высушенного гранулированного шлама (влажность 3 %) представлен в основном CaCO_3 и MgCO_3 . Катионы меди Cu^{2+} , вступая с ними в химическую реакцию, образуют следующие труднорастворимые соединения: $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, произведение растворимости ПР = $1,7 \cdot 10^{-34}$, CuCO_3 , ПР = $2,5 \cdot 10^{-10}$ (при температуре 25 °С). Расход ГСМ определяется по следующей реакции: $\text{Cu}^{2+} + \text{CaCO}_3 \text{ или } \text{MgCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_2$.

Для производственных процессов важно изучение адсорбции ионов тяжелых металлов в динамических условиях. Адсорбция в динамических условиях имеет большие технологические, эксплуатационные и экономические преимущества по сравнению с адсорбцией в статических условиях, позволяя более полно использовать емкость сорбента. При использовании

ГСМ следует учитывать, что очищаемая вода должна иметь кислую среду, при контакте с ГСМ она нейтрализуется. Процесс адсорбции ионов меди исследован на ГСМ фракции размером 0,5–2,5 мм на лабораторной установке, представляющей фильтровальную стеклянную колонку диаметром 25 мм. Концентрация ионов меди в модельном растворе равна 50 мг/дм^3 и является средней на входе в адсорбционный фильтр. Высота слоя загрузки – 20 см, масса – 56 г, скорость фильтрации – 3,5 м/ч. Проскок ионов меди фиксируется при концентрации 1 мг/дм^3 . На рис. 2 показана кривая адсорбции катионов меди ГСМ в динамических условиях.

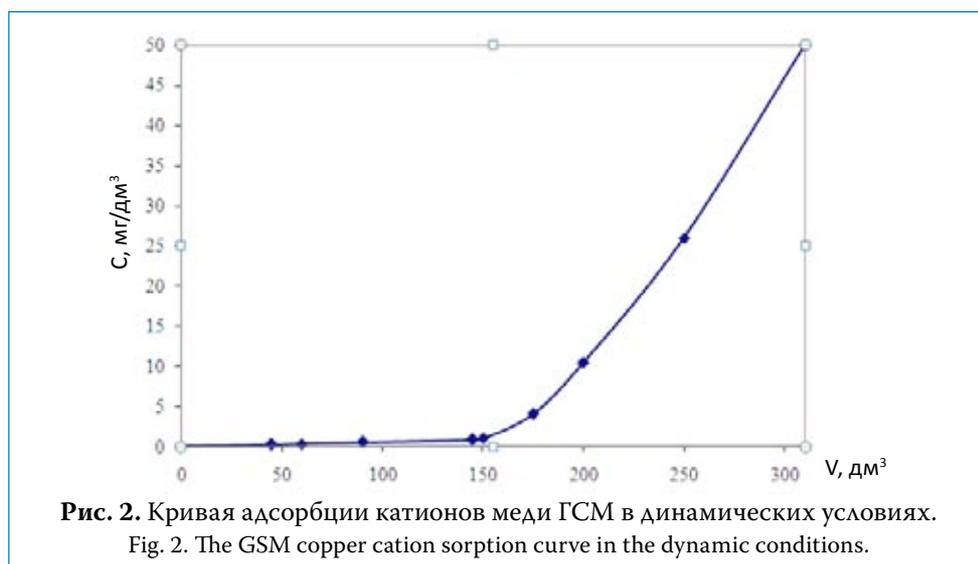


Рис. 2. Кривая адсорбции катионов меди ГСМ в динамических условиях.

Fig. 2. The GSM copper cation sorption curve in the dynamic conditions.

В ходе эксперимента определены динамическая обменная емкость (ДОЕ) и полная обменная емкость (ПОЕ). Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2. Динамическая и полная обменные емкости ГСМ по отношению к катионам меди

Table 2. The GSM dynamic and full exchange capacities in respect of copper cations

Показатель	Значение, мг/г	Объем пропущенной воды, дм^3
ДОЕ	133,9	150
ПОЕ	276,8	310

По уравнению Шилова рассчитано время (τ) и коэффициент защитного действия (K) слоя ГСМ: $\tau = 70,5 \text{ ч}$, $K = 382,6 \text{ ч/м}$.

Фильтрат имеет нейтральное значение величины $\text{pH} = 6,8\text{--}7,5$. После фильтрования через гранулы ГСМ состав воды изменяется, поэтому про-

водился контроль воды на остаточное содержание общей жесткости и pH. Эти показатели фильтрата должны изменяться по ионному обмену функциональных групп сорбционного материала с катионами меди. Выбор метода регенерации отработанного сорбционного материала зависит от эффективности очистки от катионов меди и технико-экономических показателей. Предусмотрена регенерация материала разбавленным раствором H_2SO_4 с нарастающей концентрацией от 0,5–2,5 %, пропускаемым противотоком потока очищаемой воды.

Определены показатели качества фильтрата при пропуске воды через загрузки ГСМ, соответствующие ПДК веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопотребления (СанПин 2.1.4.10749-01) (табл. 3).

Таблица 3. Показатели качества фильтрата при пропуске различных объемов воды в динамических условиях через ГСМ

Table 3. The filtrate quality indicators in the process of different water volumes' passage through GSM in the dynamic conditions

Объем пропущенной воды, $дм^3$	Жесткость $мг-экв/дм^3$ ^{общ'} (ПДК ≤ 7 $мг-экв/дм^3$)	Щелочность $мг-экв/дм^3$ ^{общ'}	Железо $мг/дм^3$ ^{общ'} (ПДК ≤ 0,3 $мг/дм^3$)	Кремний, $мг/дм^3$ (ПДК ≤ 10 $мг/дм^3$)
Исходная вода	2,21	1,51	0,16	0,31
0,2	2,22	5,87	1,72	1,25
0,4	2,22	4,11	0,92	1,25
0,6	2,21	1,22	0,28	1,21
1,0	2,21	1,11	0,16	1,21
10,1	2,22	1,12	0,15	0,8

Результаты, представленные в табл. 3, показывают, что ГСМ не привносит вторичного загрязнения в водную среду. Следует отметить, что процесс очистки водной среды с использованием ГСМ происходит в «мягкой», нейтральной кислой и слабощелочной среде.

Далее проведено биотестирование водной вытяжки ГСМ на острую летальную токсичность для рыб *Poecilia Reticulate Peters* и ракообразных *Daphnia Magna*. Полученные результаты подтверждают, что ГСМ практически неопасен и не привносит вторичного загрязнения в сточные воды.

Одним из наиболее распространенных промышленных методов физико-химической очистки сточной воды от ионов тяжелых металлов является адсорбция. В результате можно осуществлять оборотное водоснабжение гальванических цехов с одновременной утилизацией ценных компонентов. На рис. 3 представлена принципиальная схема установки для очистки сточных вод гальванического процесса [6].



Стоки из емкостей 1,2,3 для усреднения состава и частичного отделения механических примесей направляются в усреднитель (9). Максимальная концентрация загрязняющих веществ – до 400 мг/л. При большей концентрации обязательно разбавление в усреднителях (добавлением чистой воды). Из аппарата (9) стоки насосом подаются в песчано-гравийный фильтр (4) для очистки от механических примесей, скорость фильтрования 5–7 м/ч. Следующая ступень – очистка активированным углем в аппарате (5) от масел, биологических и других загрязнений. Песчано-гравийный и угольный фильтры промываются очищенной водой из сборника чистой воды (8) снизу вверх. Отфильтрованная вода направляется в фильтры (6, 7), заполненные ГСМ. Линейная скорость движения жидкости в аппаратах составляет 10–20 м/ч. По достижении на выходе концентрации сорбируемых ионов 0,02–0,03 мг-экв/дм³ регенерацию проводят раствором серной кислоты концентрацией от 1 до 4 % из емкости (10).

Опыт эксплуатации показывает, что применение данной технологии целесообразно при концентрации ионов меди в сточной воде от 1,5 до 6 мг-экв/дм³ и полном отсутствии загрязнений органического характера. Далее часть очищенных сточных вод направляется на технологические процессы, часть на промывку и приготовление регенерационного раствора.

ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования построены изотерма адсорбции в статических и выходная кривая адсорбции в динамических условиях катионов меди гранулированным материалом. Определена динамическая обменная емкость (ДОЕ = 133,9 мг/г), полная обменная емкость гранулированного материала по отношению к катионам меди (ПОЕ = 276,8 мг/г). По уравнению Шилова рассчитано время τ (70,5 ч) и коэффициент защитного действия слоя К (382,6 ч/м).

Показано, что ГСМ не привносит вторичного загрязнения в водной среде, а также что водная вытяжка ГСМ не оказывает острого токсического действия на рыб *Poecilia Reticulate Peters* и ракообразных *Daphnia Magna*.

Представлена технологическая схема очистки сточных вод гальванического производства, которая включает загруженные разработанным материалом ионообменные фильтры. Применение адсорбционного метода очистки позволяет обеспечить высокую степень очистки сточной воды и ее повторного использования для технологических нужд предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минлигулова Г.А., Шайхиев И.Г. Исследование очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, стоками нефтехимических производств // Вестник казанского технологического университета. 2011. № 6. С. 166–171.
2. Лупейко Т.Г. Баян Е.М., Горбунов М.О. Исследование техногенного карбонатосодержащего отхода для очистки водных растворов от ионов никеля (II) // ЖПХ. 2004. Т. 77. № 1. С. 87–91.
3. Мур Д.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах / пер. с англ. Д. В. Гричука и др.; под ред. Ю. Е. Саета. М.: Мир, 1987. 285 с.
4. Николаева Л.А., Голубчиков М.А. Очистка производственных сточных вод от нефтепродуктов модифицированными сорбционными материалами на основе карбонатного шлама // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. №7. С. 51–58.
5. Николаева Л.А., Шигабутдинова А.Ф. Ресурсосберегающая технология очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов шламом химводоочистки ТЭС // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. № 4. С. 13–15.
6. Макаров В.М., Беличенко Ю.П., Галустов В.С., Чуфаровский А.И. Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях. М.: Машиностроение, 1988. 272 с.

Для цитирования: Николаева Л.А., Котляр М.Н., Очистка сточных вод гальванических цехов от ионов меди модифицированным карбонатным шламом // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С.124-132.

Сведения об авторах:

Николаева Лариса Андреевна, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)», Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51; e-mail: larisani16@mail.ru

Котляр Мирослава Николаевна, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)», Россия, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51; e-mail: kotlyar-mira@mail.ru

ELECTROPLATING PLANTS WASTEWATER TREATMENT FROM COPPER IONS WITH A MODIFIED CARBONACEOUS SLURRY

Larisa A. Nikolaeva, Miroslava N. Kotlyar

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Abstract: The article presents a technique of the granulated sorption material production based on the chemical water treatment slurry. The sorption has been studied in static and dynamic conditions. The sorption effectiveness by copper ions was 90.5 %. The isotherm of adsorption and a curve of adsorption in dynamic conditions of cations of copper has been plotted by the granulated material. During the experiment the dynamic exchange capacity, full exchange capacity of the granulated material has been determined. The filtrate quality indicators in water passage through sorption material loads in accordance with MPC of domestic drinking and recreational purposes water bodies.

The granulated sorption material extract was tested for acute lethal toxicity for *Poecilia Reticulate* Peters fish and *Daphnia Magna* Crustacea. The obtained results affirmed that the granulated sorption material was not practically hazardous and did not bring secondary pollution to wastewaters. The authors have presented a technological scheme of electroplating wastewaters ion-exchange treatment.

Keywords: wastewater, electroplating industry, granular sorption material, heavy metal ions

About the authors:

Prof. Larisa A. Nikolaeva, Doctor of Technical Sciences, Kazan State Power Engineering University, ul. Krasnoselskaya, 51, Kazan, 420066, Russia; e-mail: larisanik16@mail.ru.

Miroslava N. Kotlyar, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State Power Engineering University, ul. Krasnoselskaya, 51, Kazan, 420066, Russia; e-mail: kotlyar-mira@mail.ru.

For citation: Nikolaeva L.A., Kotlyar M.N. *Electroplating Plants' Wastewater Treatment from Copper Ions with a Modified Carbonaceous Slurry* // *Water Sector of Russia*. 2019. No. 5. P. 124-132.

REFERENCES

1. Minligulova G.A., Shaykhiev I.G. Issledovanie oчитki stochnyh vod, soderzhashchih iony tyazhelyh metallov, stokami neftekhimicheskikh proizvodstv [Studies of treatment of waste waters containing heavy metal ions with wastes of chemical/petroleum production] // *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2011. №6. S. 166-171.
2. Lupeyko T.G., Bayan E.M., Gorbunov M.O. Issledovanie tekhnogenogo karbonatosoderzhashchego otkhoda dlya oчитki vodnyh rastvorov otionov nikelya (II) [Researches of a carbonate-containing waste for water solution treatment from nickel (II) ions] // *ZHPH*. 2004. t. 77. № 1. S. 87-91.
3. Mur D.V., Ramamurti S. Tyazhelyemetally v prirodnyh vodah [Heavy metals in natural waters] / Per. s angl. D. V. Grichukai dr.; Pod red. YU. E. Saeta. M.: Mir, 1987. 285 s.
4. Nikolaeva L.A., Golubchikov M.A. Oчитka proizvodstvennyh stochnyh vod ot nefteproduktov modifitsirovannymi sorbtsionnymi materialami na osnove karbonatnogo shlama [Industrial wastewaters treatment from petroleum products with modified sorption material based on carbonaceous slurry] // *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2016. № 7. S. 51-58.
5. Nikolaeva L.A., Shigabutdinova A.F. Resursosberegayushchaya tekhnologiya oчитki stochnyh vod ot ionov tyazhelyh metallov shlamom himvodooчитki TEHS [A resources-saving technique for wastewater treatment in respect of heavy metal ions with TEHS water treatment slurry] // *Ehnergoberezhenie i vodopodgotovka*. 2013. №4. S. 13-15.
6. Makarov V.M., Belichenko YU.P., Galustov V.S., Chufarovskij A.I. Ratsionalnoe ispolzovanie i oчитka vody na mashinostroitelnykh predpriyatiyakh [Rational use and treatment of water art machine-building plants]. M.: Mashinostroenie, 1988. 272 s.

REQUIREMENTS TO MATERIALS TO BE ACCEPTED FOR PUBLICATION IN «WATER SECTOR OF RUSSIA» JOURNAL

Papers in Russian, never published anywhere before, can be accepted for publication. The optimal size of an article is to be 16–24 thousand of characters with blanks, not more than 20 pages including figures and tables.

An article is to be accompanied with a paper with information about the authors (complete name, position, academic degree, full name of an institution/company, postal address, telephone number, fax, e-mail address).

A paper should contain a Universal Decimal Classification index, key words and an abstract. The following structure can be optimal: a brief introducing part with clearly defined and characterized problem under discussion, a conceptual part, concrete conclusions from the stated material, and the list of references.

An article is to be accompanied with the English translation of the name of the article, key words, the abstract, short information on the authors (name, full and abbreviated name of the institution/company, postal address).

The text is to be typed without division of words with width alignment, Times New Roman, 12 point type, 1,5 line spacing, 2,5 cm margins from all sides. Roman figures are to be typed in the Roman type.

Numerical data are to be arranged as tables. The tables should not be ponderous. Each table is to have a number and a name. Tables are to be through numbered. Abbreviation of words in the tables are not allowed, units of measurement excluded. Numerical values in the tables and in the text are to be in the CI units

References are to be presented in a general list in the end of the paper. References are to be numbered and arranged in a bibliographic list in accordance with GOST P 7.0.5 2008 «Bibliographic reference. General requirements and rules of composition». References in the text are to be given in square brackets (for instance, [4]), in successive order.

Figures, drawings, charts, and diagrams are to be inserted into the text as separate files each. General number of figures is not to exceed 10–12.

An electronic version of an article in Microsoft Word is to be sent with e-mail. Photographs, drawings, figures, charts, diagrams are to be presented additionally as separate files in JPEG and TIFF with resolution at least 300 dpi, 9×12 cm at least, all diagrams in Excel.

Manuscripts are reviewed and edited in RosNIIVKh editorial office.

Materials meant for publication are to be submitted to RosNIIVKh, e-mail address info@waterjournal.ru.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ, ПРИНИМАЕМЫХ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛ «ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ»

К публикации принимаются ранее не публиковавшиеся статьи на русском языке. Оптимальный объем статей составляет 0,4–0,6 авторского листа (16–24 тыс. знаков с пробелами, не более 20 с., включая рисунки и таблицы).

Статьи должны иметь **индекс УДК, ключевые слова (10–15 слов) и автореферат** (аннотацию), объем аннотации – 200–250 слов. Оптимальной является следующая структура статьи: краткая вводная часть с четкой формулировкой и характеристикой обсуждаемой проблемы, содержательная часть, конкретные выводы, вытекающие из изложенного материала, список литературы.

К статье необходимо приложить **перевод на английский язык названия, ключевых слов, аннотации и сведений об авторах** (ФИО полностью, должность, ученая степень и ученое звание, полное наименование организации, почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты).

Текст набирается **без переносов** с выравниванием по ширине страницы, шрифт Times New Roman, **кегель 12, межстрочный интервал 1,5, поля 2,5 см со всех сторон**. Римские цифры набираются в английском регистре.

Цифровые данные оформляются в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь порядковый номер и название. Нумерация таблиц – сквозная. Сокращения слов в таблицах не допускаются, за исключением единиц измерения. Численные значения величин в таблицах и тексте должны приводиться в единицах измерения СИ (обязательных).

Ссылки на литературные источники следует давать в квадратных скобках (например, [4]), порядок нумерации последовательный – по мере появления ссылок в тексте статьи.

Цитируемая литература приводится списком в конце статьи. Литературные источники должны быть пронумерованы и оформлены в библиографический список в соответствии с ГОСТом Р 7.0.5 2008. Пристатейный список литературы на латинице References в системе транслитерации LC размещается сразу за списком литературы.

Рисунки, чертежи, графики, схемы, диаграммы вставляются в текст статьи как объект. **Общее количество рисунков в статье не должно превышать 10–12.**

Для публикации представляется электронный вариант статьи в формате текстового редактора Microsoft Word. **Фотографии, рисунки, чертежи, графики, схемы, диаграммы дополнительно представляются в виде отдельного файла (рисунки, чертежи, графики, схемы – в формате Corel Draw, tiff, jpg разрешением 300 dpi размером не менее 9×12 см, диаграммы – в формате Excel).**

Материалы для публикации необходимо направлять в РосНИИВХ по электронной почте info@waterjournal.ru.

Редакторы: Т.М. Принцева, Н.А. Валек

Подписано в печать 23.10.2019. Формат 70×100^{1/16}.

Усл. печ. л. 8,375. Тираж 200 экз.

ООО «ДжиЛайм», тел.: +7(343)362-42-28, www.glime.ru, e-mail: g_lime@mail.ru

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Федеральное агентство водных ресурсов является органом исполнительной власти по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере водных ресурсов. Осуществляя свою деятельность через территориальные и подведомственные организации, Агентство водных ресурсов выполняет, в частности, следующие функции:

- совместно с субъектами Российской Федерации осуществляет меры по предотвращению негативного воздействия вод, находящихся в федеральной собственности, и ликвидации его последствий;
- осуществляет мероприятия по охране водохранилищ федерального значения, перечень которых утвержден Правительством, а также меры по охране других водных объектов, включая моря;
- проводит конкурсы и заключает государственные контракты на размещение заказов по выполнению научно-исследовательских и информационных услуг;
- осуществляет функции государственного заказчика межгосударственных, федеральных целевых, научно-технических и инновационных программ и проектов;
- осуществляет ведение государственного водного реестра и российского регистра гидротехнических сооружений;
- осуществляет разработку и реализацию схем комплексного использования и охраны водных объектов, а также государственный мониторинг водных объектов;
- устанавливает режимы пропуска паводков, специальных попусков наполнения и сброски водохранилищ в интересах всех водопользователей.

117292, Москва, ул. Кедрова, дом. 8, корп. 1

Телефон: (495) 125-52-79 Факс: 125-22-36

E-mail: water@favr.ru, <http://voda.mnr.gov.ru>

ФГБУ РОССИЙСКИЙ НИИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ФГБУ РосНИИВХ является научным подразделением Федерального агентства водных ресурсов и создан для научного обеспечения государственных функций управления использованием и охраны водных ресурсов, разработки нормативно-методической и проектной документации, направленной на устойчивое развитие водного хозяйства России и экономическую безопасность водопользования.

На базе института разрабатываются бассейновые и региональные программы обеспечения объектов экономики и населения водными ресурсами, проекты управления состоянием экосистем, восстановления водных объектов, защиты их от негативного воздействия, прогнозирования состояния проектируемых природно-технических систем, программные комплексы и информационно-справочные системы для решения практических водохозяйственных задач с использованием баз данных и ГИС-технологий.

При институте действуют Экспертный центр по проведению экспертизы деклараций безопасности гидротехнических сооружений (приказ Росприроднадзора № ОМ-03-34/6976 от 16.12.2005).

В структуру института входят филиалы в городах Владивосток, Чита, Пермь, Уфа.

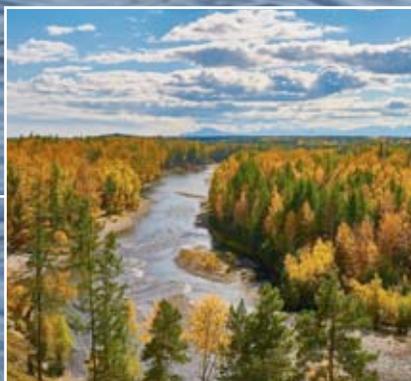
620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23

Телефон/факс: (343) 374-26-79

E-mail: wrm@wrm.ru, <http://wrm.ru>

ТЕМА НОМЕРА

Экология окружающей среды
и состояние водных объектов



Особенности загрязнения
аквальных ландшафтов
в водосборной зоне
оз. Байкал



Вопросы регулирования
диффузных загрязнений
водных объектов