

ISSN 1999-4508

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ:

ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ

WATER SECTOR OF RUSSIA:

PROBLEMS, TECHNOLOGIES, MANAGEMENT

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC/PRACTICAL JOURNAL

№ 6, 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

№ 6, 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. Zaslouovskiy, Dr. of Technical Sciences, Professor, Transbaikal 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, RF Ministry of Economic Development (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

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Оценка качества природных вод на научных полигонах Ямало-Ненецкого автономного округа (Пуровский, Тазовский, Шурышкарский, Полярно-Уральский) <i>Е.В. Агбальян, Р.А. Колесников, А.С. Красненко, Е.Н. Моргун, Е.В. Шинкарук, А.С. Печкин, Р.И. Локтев, Р.М. Ильясов, В.О. Кобелев</i> | 6 |
| Многолетние колебания максимального стока рек горных территорий Армении <i>В.Г. Маргарян</i> | 24 |
| Формирование абсолютных минимумов стока летне-осенней межени в бассейне Верхнего Дона <i>С.В. Бучик, В.А. Дмитриева</i> | 35 |

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Наводнения в Иркутской области 2019 года <i>А.В. Шаликовский, А.П. Лепихин, А.А. Тиунов, К.А. Курганович, М.Г. Морозов</i> | 48 |
| Региональный подход к рыбохозяйственному нормированию содержания взвешенных веществ <i>С.Р. Чалов, В.Н. Леман</i> | 66 |
| Модельная оценка эффективности водопользования в Сибири на примере предприятий водокоммунального хозяйства <i>А.А. Цхай, А.В. Левина</i> | 84 |

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Очистка морской воды от радионуклидов цезия и стронция <i>А.В. Воронина, А.Ю. Носкова, В.С. Семенщев, М.О. Блинова, А.Ф. Никифоров</i> | 102 |
| Влияние сбросов загрязняющих веществ в водные объекты на заболеваемость раком желудка населения Пермского края <i>Т.А. Мещурова, М.Б. Ходяшев</i> | 121 |
| Указатель статей, опубликованных в 2019 году..... | 131 |
| Требования к оформлению материалов..... | 135 |

CONTENT

WATER RESOURCES, WATER BODIES

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| The Natural Waters' Quality Assessment at the Yamalo-Nenets Autonomous District Scientific Grounds (Pyrovskiy, Tazovskiy, Shuryshkarskiy, Polyarno-Uralskiy) <i>Y.V. Agbalyan, R.A. Kolesnikov, A.S. Krasnenko, Y.N. Morgun, Y.V. Shinkaruk, A.S. Pechkin, R.I. Loktev, R.M. Ilyasov, V.O. Kobelev</i> | 6 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Long term fluctuations of the maximal river flow of the mountain areas of Armenia <i>V.G. Margaryan</i> | 24 |
| The Timing of the Onset of Lows of the Summer-Autumn Low Water in the Basin of Upper Don <i>S.V. Buchik, V.A. Dmitrieva</i> | 35 |
| <hr/> | |
| WATER RESOURCES MANAGEMENT | |
| <hr/> | |
| The 2019 Floods in Irkutsk Region <i>A.V. Shalikovskiy, A.P. Lepikhin, A.A. Tiunov, K.A. Kurganovich, M.G. Morozov</i> | 48 |
| Regional Approach to the Fishery Normalization of the Suspended Matter Content <i>S.R. Chalov, V.N. Leman</i> | 66 |
| Model Assessment of the Water Use Effectiveness in Siberia by the example of municipal water companies <i>A.A. Tskhai, A.V. Levina</i> | 84 |
| <hr/> | |
| ECOLOGICAL ASPECTS OF WATER/ECONOMIC ACTIVITIES | |
| <hr/> | |
| Seawater purification from cesium and strontium radionuclides <i>A.V. Voronina, A.Y. Noskova, V.S. Semenishchev, M.O. Blinova, A.F. Nikiforov</i> | 102 |
| Impact of the Pollutants' Discharge to Water Bodies on the Gastric Cancer Incidence among the Perm Kray Population <i>T.A. Meshchurova, M.B. Khodyashev</i> | 121 |
| Index of articles published in 2019..... | 131 |
| Requirements to materials to be accepted..... | 135 |

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

WATER RESOURCES
WATER BODIES



ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД НА НАУЧНЫХ ПОЛИГОНАХ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА (ПУРОВСКИЙ, ТАЗОВСКИЙ, ШУРЫШКАРСКИЙ, ПОЛЯРНО-УРАЛЬСКИЙ)

**Е.В. Агбальян, Р.А. Колесников, А.С. Красненко, Е.Н. Моргун,
Е.В. Шинкарук, А.С. Печкин, Р.И. Локтев, Р.М. Ильясов, В.О. Кобелев**

E-mail: agbelena@yandex.ru

ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард, Россия

АННОТАЦИЯ: В 2018 г. проведены оригинальные исследования водных объектов на научных полигонах Ямало-Ненецкого автономного округа. Водоемы расположены в зонах северной и средней тайги, южной тундры и лесотундры, на восточном склоне Полярного Урала. В пробах поверхностных вод определялись основные гидрохимические показатели. Для интегральной оценки качества вод использовался индекс загрязнения воды (ИЗВ).

Поверхностные воды обследованных водных объектов – низко минерализованные с малыми концентрациями основных анионов и катионов. Все изученные воды по показателю БПК₅ относятся к «грязным» и «очень грязным». В пробах поверхностных вод Полярного Урала выявлены высокие концентрации бенз(а)пирена. Воды полигона Тазовский характеризуются как умеренно загрязненные, воды р. Пур – загрязненные, р. Сыня – грязные. Очень загрязненными являются водные объекты Полярного Урала. Высокие значения ИЗВ связаны с повышенными концентрациями бенз(а)пирена, БПК₅, марганца, меди, цинка, алюминия. Индекс загрязнения воды характеризует неблагоприятную биогеохимическую ситуацию в регионе. В водных объектах Полярного Урала установлен повышенный уровень техногенного загрязнения, источником которого являются процессы горения органического топлива. Поверхностные воды обследованных водных объектов относятся к водам низкого качества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: природная вода, загрязняющие вещества, анионы, катионы, качество вод, полигон Пуровский, полигон Тазовский, полигон Шурышкарский, полигон Полярно-Уральский, Ямало-Ненецкий автономный округ.

На территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) насчитывается около 300 тыс. озер, в основном ледникового происхождения, и более 50 тыс. рек. Самые крупные реки – Обь, Надым, Таз и Пур. Поверх-

© Агбальян Е.В., Колесников Р.А., Красненко А.С., Моргун Е.Н., Шинкарук Е.В., Печкин А.С., Локтев Р.И., Ильясов Р.М., Кобелев В.О., 2019

ностные водные объекты, как нижний (аквальный) уровень в элементарном геохимическом ландшафте, являются областью сноса и в наибольшей степени подвержены химическому загрязнению.

Среди основных путей поступления загрязнителей в водоемы выделяются поверхностный и внутрпочвенный стоки, атмосферный перенос, прямой сброс сточных вод и захоронение отходов [1–5]. По данным официальных источников [6], пресные подземные воды в ЯНАО по своему качественному составу являются физиологически неполноценными для использования населением в качестве питьевых вследствие недостаточной концентрации необходимых организму человека компонентов (кальция, магния, фтора, йода) и низкой минерализации.

Оценка состояния водных объектов как индикаторов экологической ситуации является актуальной задачей. Экологические исследования озерных и речных экосистем включают выявление содержания в водах эндогенных и техногенно-привнесенных химических веществ. Учитывая значительное количество озер и рек на территории округа и их слабую изученность [7–9], большую практическую значимость представляет исследование факторов устойчивости природных вод к загрязнению тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами. Цель данного исследования – оценка состояния поверхностных вод Ямало-Ненецкого автономного округа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2018 г. проведено гидрохимическое обследование водных объектов, расположенных на научных полигонах Пуровский-1, Пуровский-2, Тазовский, Шурышкарский и Полярно-Уральский в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа на территории от восточных склонов Полярного Урала до междуречья Пура и Таза. Полигоны являются частью наблюдательной сети комплексного экологического мониторинга, созданной для оценки и прогноза состояния экосистем в местах традиционного проживания коренного малочисленного населения автономного округа. Полигон Пуровский-1 расположен в зоне средней тайги Пуровского района на 20 км западнее г. Ноябрьска. Полигон Пуровский-2 находится в зоне северной тайги Пуровского района севернее г. Тарко-Сале на 23 км. Полигон Тазовский расположен в зоне южной тундры и лесотундры Тазовского района, удален от пос. Тазовский на 35 км и от с. Газ-Сале на 22 км. Полигон Шурышкарский расположен в зоне средней тайги в окрестностях сел Овгорт, Ямгорт Шурышкарского района (рисунок). Полигон Полярно-Уральский – на восточном склоне Полярного Урала.

Обследованные водные объекты характеризуются весенним половодьем с максимумом в конце мая, летними и весенними паводками, устойчивым



Рисунок. Схема расположения точек отбора проб воды (обозначены цифрами).
Fig. The map of the water sampling points' location.

продолжительным ледоставом и продолжительной зимней меженью. Питание рек и озер, главным образом, снеговое.

На полигонах Пуровский-1 и Пуровский-2 пробы природных поверхностных вод отобраны из следующих водных объектов: р. Пур (проба 1: 64°56'25.10"С 77°39'01.10"В), р. Нехтын-Пырын-Яха (проба 2: 63°09'44.90"С 74°45'44.20"В). На научном полигоне Тазовский изучены гидрохимические показатели вод ручья (проба 3: 67°20'22.70"С 78°57'16.40"В), р. Нунэ-Яха (проба 4: 67°19'14.60"С 78°48'39.50"В), р. Нунэ-Яха (проба 5: 67°10'32.10"С 78°49'28.40"В). На полигоне Шурышкарский исследованы гидрохимические характеристики р. Сыня (проба 6: 64°49'43.17"С 63°58'52.13"В, проба 7: 64°56'22.16"С 64°22'15.03"В). На научном полигоне Полярно-Уральский отобраны пробы из безымянного ручья Полярного Урала (проба 8: 66°52'7.85"С 65°25'50.75"В) и ручья Романтиков (проба 9: 66°54'30.41"С 65°42'24.11"В).

Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». В пробах поверхностных вод определяли следующие показатели: рН, минерализация, главные ионы (Cl^- , SO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}), фториды, бромиды, йодиды, вещества биогенной природы (аммо-

нийный, нитритный и нитратный азот, фосфаты), селен, кремний, тяжелые металлы и металлоиды (Al, Bi, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, V, Cd, Pb, Hg), содержание растворенного кислорода, ХПК (химическое потребление кислорода), БПК₅ (биологическое потребление кислорода), АПАВ, формальдегид, фенолы, нефтепродукты, бенз(а)пирен.

Химические анализы выполнены в лаборатории ООО «ЭКОСТАНДАРТ «Технические решения»», аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Росстандарта России.

При определении концентрации перечисленных ингредиентов использовали аналитические приборы: жидкостно-ионный хроматограф Стайер, рН-метр, анализатор жидкости «Флюорат-02-4М», спектрофотометр UNICO1201, спектрометр эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой серии iCAP 6000OPTIMA 3300, вольт-амперометрический анализатор АКВ-07, газовый хроматограф «Кристаллюкс-4000М». Применялись титриметрические методы и методы на основе тест-наборов. Для интегральной оценки качества вод использовали индекс загрязнения воды (ИЗВ) [10]. В расчетную формулу были включены БПК₅, марганец, алюминий, медь, цинк, бенз(а)пирен.

Содержание органического углерода рассчитывали по формуле: $C_{\text{орг}} = 0,375 \times \text{ХПК}$, концентрация общего растворенного органического вещества принималась равной $2 \times C_{\text{орг}}$ [11, 12]. Оценка лабильного органического углерода проводилась по показателю БПК₅ с использованием коэффициента 0,32 [13].

При оценке экологического состояния водных объектов применяли предельно допустимые концентрации (ПДК) для водоемов рыбохозяйственного назначения. Большинство изученных водоемов используются коренным населением как промысловые угодья и являются местом обитания и воспроизводства ценных видов рыб.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поверхностные воды обследованных водных объектов относятся к низко минерализованным хлоридным водам (минерализация менее 0,2 г/л) и имеют слабокислую реакцию. Показатели минерализации характерны для ультрапресной воды (табл. 1).

Воды во всех обследованных водных объектах характеризуются низкими концентрациями хлорид-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, нитрит-ионов и ионов аммония, натрия, калия, кальция и магния. Концентрация минерального фосфора в поверхностных водах менялась от минимальных значений (на уровне пределов обнаружения – менее 0,05 мг/дм³) для р. Сыня Шурышкарского полигона до максимального показателя (0,37 мг/дм³) для р. Нехтын-Пырын-Яха полигона Пуровский-1. Установлено превышение допустимых рыбохозяйственных норм по содержанию фосфатов в воде

р. Нехтын-Пырын-Яха (полигон Пуровский-1) и Нунэ-Яха (полигон Тазовский), 1,9 ПДК и 1,4 ПДК соответственно.

Таблица 1. Содержание основных катионов и анионов в поверхностных водах Ямало-Ненецкого автономного округа, мг/дм³

Table 1. Content of the main cations and anions in surface waters of the Yamal-Nenetsk Autonomous District, mg/dm³

| № пробы | Катионы | | | | | Анионы | | | | | pH | минерализация |
|------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|---------|---------------|
| | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | NH ₄ ⁺ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | PO ₄ ³⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | | |
| Полигоны Пуровский-1 и Пуровский-2 | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2,17 | 0,76 | 4,04 | 0,67 | 0,09 | 0,0021 | 0,45 | 0,034 | 3,01 | <0,1 | 6,34 | 18,3 |
| 2 | 4,00 | 1,35 | 3,41 | 0,46 | 0,09 | 0,0018 | 0,38 | 0,37 | 0,89 | <0,1 | 6,42 | 22,5 |
| Полигон Тазовский | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 2,46 | 0,91 | 3,37 | 0,56 | <0,04 | <0,0015 | 0,86 | 0,06 | 1,77 | <0,1 | 6,24 | 20,2 |
| 4 | 5,89 | 2,58 | 5,6 | 0,74 | <0,04 | 0,0040 | 0,60 | 0,28 | 4,43 | <0,1 | 6,65 | 38,2 |
| 5 | <1 | 0,18 | 2,07 | 0,48 | <0,04 | 0,0018 | 0,27 | 0,090 | 0,89 | <0,1 | 6,07 | 5,95 |
| Полигон Шурышкарский | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 1,9 | 1,25 | 15,1 | 1,33 | <0,04 | 0,0021 | 0,82 | <0,05 | 1,95 | <0,1 | 6,19 | 39,1 |
| 7 | 1,28 | 1,29 | 5,84 | 1,86 | <0,04 | 0,0036 | 0,23 | <0,05 | 3,55 | <0,1 | 6,77 | 22,3 |
| Полигон Полярно-Уральский | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 3,37 | 1,74 | 7,02 | 2,03 | 0,08 | 0,0018 | 0,34 | 0,12 | 3,37 | <0,1 | 6,54 | 19,9 |
| 9 | 1,62 | 1,1 | 5,63 | 1,49 | 0,09 | 0,0030 | 0,41 | 0,1 | 2,13 | <0,1 | 6,46 | 24,4 |
| ПДК _{рх} | 180 | 40 | 120 | 50 | 0,5 | 0,08 | 40 | 0,2 | 300 | 100 | 6,0-8,5 | – |

Известно, что показатель ХПК проявляет физико-географическую зональность: для поверхностных вод горных районов характерна низкая окисляемость (2–5 мгО₂/л), для тундры – средняя окисляемость (5–10 мгО₂/л), для северной тайги – высокая окисляемость (15–20 мгО₂/л) [14]. Для обследованных водных объектов такая закономерность не выявлена (табл. 2). Показатели ХПК находились в диапазоне от 25,3 мгО₂/дм³ для вод горных районов, 23,6 мгО₂/дм³ для природных вод лесотундры и 29,5 мгО₂/дм³ для северной тайги. Концентрация органического углерода в поверхностных водах варьирует от 4,5 мг/дм³ в р. Сыня (проба 7) до 11,9 мг/дм³ в р. Пур (полигон Пуровский-2).

Концентрация «биологически мягких» органических веществ опосредованно характеризуется показателем БПК₅. Все обследованные водоемы по показателю БПК₅ относятся к грязным (4,0–10,0 мгО₂/дм³) и очень грязным (более 10 мгО₂/дм³). Максимальные значения БПК₅ зафиксированы в р. Сыня (9,6 мгО₂/дм³, проба 6) и водотоках Полярного Урала (9,0 и 10,8 мгО₂/дм³ соответственно). Концентрация лабильного углерода и отношение $C_L/C_{орг}$ наибольшие в р. Сыня и водотоках Полярного Урала.

Таблица 2. Показатели химического и биологического потребления кислорода (ХПК, БПК₅), содержания углерода в поверхностных водах Ямало-Ненецкого автономного округа

Table 2. Indicators of chemical/biological oxygen demand (COD, BOD₅) and carbon content in surface waters of the Yamal-Nenetsk Autonomous District

| Номер пробы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | ПДКрх |
|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ХПК, мгО ₂ /дм ³ | 31,7 | 27,3 | 31,2 | 23,4 | 16,1 | 27,0 | 11,9 | 23,1 | 27,5 | 30 |
| Сорг, мг/дм ³ | 11,9 | 10,2 | 11,7 | 8,8 | 6,0 | 10,1 | 4,5 | 8,7 | 10,3 | – |
| РОВ, мг/дм ³ | 23,8 | 20,4 | 23,4 | 17,6 | 12,0 | 20,2 | 9,0 | 17,4 | 20,6 | – |
| БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³ | 4,3 | 4,5 | 3,7 | 4,1 | 3,6 | 9,6 | 4,5 | 9,0 | 10,8 | 2 |
| С _L , мг/дм ³ | 1,4 | 1,4 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 3,1 | 1,4 | 2,9 | 3,5 | – |
| Сорг/С _L , % | 12 | 14 | 10 | 15 | 20 | 31 | 31 | 33 | 34 | – |

Примечание: РОВ – растворенное органическое вещество, С_{орг} – содержание органического углерода, С_L – содержание лабильного углерода.

Легкоокисляющимися органическими веществами являются формальдегид и фенолы, концентрации которых в природных водах обследуемых водоемов находились на уровне пределов обнаружения. Среднюю скорость окисления имеют анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ), содержание которых также определено на низком уровне.

В пробах поверхностных вод, отобранных из водоемов Полярного Урала, выявлены высокие концентрации бенз(а)пирена – 23,1 нг/дм³. ПДК_{СанПиН} бенз(а)пирена для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 1 нг/л (гигиенический норматив) [ГН 2.1.5.1315-03, СанПиН 2.1.4.1116-02].

Содержание ионов фтора в природных водах обследованных водных объектов не превышает 0,1 мг/м³, брома – 0,1 мг/м³, содержание йода не превышает 0,008 мг/м³.

Результаты исследования проб поверхностных вод выявили повышенные концентрации ионов алюминия в водах рек Пур (полигон Пуровский-2), Нунэ-Яха (полигон Тазовский), Сыня (полигон Шурышкарский) и водотоках Полярного Урала (табл. 3).

Таблица 3. Содержание металлов и металлоидов в поверхностных водах Ямало-Ненецкого автономного округа

Table 3. Content of metals in metalloids in surface waters of the Yamal-Nenetsk Autonomous District

| Номер пробы | Si мг/дм ³ | Al мг/дм ³ | Cr мг/дм ³ | Mn мг/дм ³ | Cu мг/дм ³ | Zn мг/дм ³ | Sr мг/дм ³ | Li мг/дм ³ |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Полигоны Пуровский-1 и Пуровский-2 | | | | | | | | |
| 1 | 6,38 | 0,09 | <0,01 | 0,031 | 0,0068 | 0,016 | <0,1 | 0,018 |
| 2 | 9,67 | 0,04 | <0,01 | 0,025 | 0,0052 | 0,011 | <0,1 | 0,018 |
| Полигон Тазовский | | | | | | | | |
| 3 | <0,5 | <0,04 | <0,01 | 0,018 | 0,0052 | 0,026 | <0,1 | 0,018 |
| 4 | 3,75 | <0,04 | <0,01 | 0,033 | 0,0059 | 0,019 | <0,1 | 0,019 |
| 5 | <0,5 | 0,090 | <0,01 | <0,01 | 0,0037 | 0,014 | <0,1 | 0,018 |
| Полигон Шурышкарский | | | | | | | | |
| 6 | <0,5 | <0,04 | 0,0015 | 0,18 | 0,0037 | 0,038 | 0,08 | 0,013 |
| 7 | <0,5 | 0,10 | 0,012 | 0,10 | 0,0041 | 0,026 | 0,05 | 0,013 |
| Полигон Полярно-Уральский | | | | | | | | |
| 8 | 6,85 | 0,050 | 0,0027 | 0,22 | 0,0050 | 0,019 | 0,051 | 0,013 |
| 9 | 5,77 | 0,10 | 0,0014 | 0,24 | 0,0046 | 0,02 | 0,076 | 0,013 |
| ПДКрх | не норм. | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,001 | 0,01 | 0,4 | 0,08 |

Максимальные концентрации марганца для природных вод Полярного Урала – 0,22 и 0,24 мг/дм³. Его предельно допустимая концентрация для водных объектов рыбохозяйственного назначения составляет 0,01 мг/дм³. Содержание марганца в природных водах всех обследованных водоемов превышает экологические нормативы.

Повышенные концентрации меди и цинка в поверхностных водах выявлены во всех обследованных водоемах. Средние мировые концентрации металлов в поверхностных речных водах, рассчитанные по данным о их

содержании в крупнейших реках разных материков, составляют для меди 1,48 мкг/л, для цинка – 0,60 мкг/л [15].

Содержание ионов селена в природных водах не превышает 0,005 мг/дм³, висмута 0,01 мг/дм³, кобальта 0,001 мг/дм³, никеля 0,005 мг/дм³, свинца 0,001 мг/дм³, ртути 0,0001 мг/дм³, кадмия 0,0005 мг/дм³. Максимальные значения концентраций металлов и металлоидов в водных объектах ЯНАО формируют следующий ряд: Si (9,7 мг/дм³) > Mn (0,24 мг/дм³) > Al (0,1 мг/дм³) > Sr (0,086 мг/ дм³) > Zn (0,038 мг/дм³) > Li (0,019 мг/дм³) > Cr (0,012 мг/дм³) > Cu (0,0068 мг/дм³).

Интегральная оценка качества вод позволила ранжировать исследованные водные объекты в зависимости от класса качества. Значения ИЗВ варьируют от 1,5 до 9,6 (табл. 4). По шкале качества вод [ГОСТ Р51-592-2000] воды полигона Тазовский относятся к умеренно загрязненным (3 класс качества). Поверхностные воды р. Нехтын-Пырын-Яха полигона Пуровский также относятся к умеренно загрязненным водам.

Таблица 4. Интегральная оценка качества вод Ямало-Ненецкого автономного округа
Table 4. An integral assessment of the water quality of the Yamal-Nenetsk Autonomous District

| Номер пробы | ИЗВ | Характеристика | Класс качества |
|--------------------------------------|-----|-----------------------|----------------|
| Полигоны Пуровский-1 и Пуровский - 2 | | | |
| 1 | 2,7 | Загрязненные | 4 |
| 2 | 1,9 | Умеренно загрязненные | 3 |
| Полигон Тазовский | | | |
| 3 | 2,0 | Умеренно загрязненные | 3 |
| 4 | 1,8 | Умеренно загрязненные | 3 |
| 5 | 1,5 | Умеренно загрязненные | 3 |
| Полигон Шурышкарский | | | |
| 6 | 5,1 | Грязные | 5 |
| 7 | 3,4 | Загрязненные | 4 |
| Полигон Полярно-Уральский | | | |
| 8 | 9,6 | Очень грязные | 6 |
| 9 | 9,5 | Очень грязные | 6 |

Воды р. Пур в среднем течении относятся к 4 классу качества. Воды р. Сыня полигона Шурышкарский характеризуются как грязные. Очень грязными являются воды изученных водных объектов Полярного Урала. Высокие значения ИЗВ обусловлены, главным образом, значительными концентрациями бенз(а)пирена, марганца, БПК₅ и меди.

Малая минерализация изученных поверхностных вод обусловлена преобладанием атмосферного питания, значительной заболоченностью водоразделов, а также процессами сезонного промерзания поверхностного слоя грунтов и в связи с этим низкой возможностью обогащения талых вод солями [16]. Пониженная минерализация вод также связана с широким распространением водно-ледниковых отложений песчаного и супесчаного состава.

Низкая минерализация природных вод ЯНАО, низкие концентрации биологически активных элементов обуславливают риски для здоровья населения, связанные с потреблением физиологически неполноценной питьевой воды. Известно, что низкий уровень калия и магния в воде коррелирует с распространённостью сердечно-сосудистых заболеваний, недостаточность кальция приводит к развитию костно-мышечных заболеваний и снижает адаптационные возможности организма человека [17, 18]. Недостаточность йода вызывает формирование заболеваний щитовидной железы, низкий уровень фтора в воде приводит к повышенной заболеваемости населения кариесом [19–21].

В обследованных водных объектах установлено превышение допустимых рыбохозяйственных норм по содержанию фосфатов. Фосфор относится к элементам питания, необходимым для роста и развития фитопланктона, фитобентоса, высших водных растений. Деструкция органического вещества возвращает в водную среду потребленные растениями из воды фосфаты. Неорганический фосфор в поверхностные воды поступает также из осадочных пород [22]. Превышения ПДК для фосфатов могут быть связаны и с загрязнением водных объектов промышленными неочищенными или хозяйственно-бытовыми стоками [23].

Повышенная величина бихроматной окисляемости исследованных вод вызывается влиянием многих факторов: общая биологическая продуктивность водоема, степень загрязнения органическими веществами и соединениями биогенных элементов, уровень поступления органических веществ естественного болотного и торфяного происхождения. Высокие показатели БПК₅ не ассоциируются с наибольшими значениями ХПК, что свидетельствует о различной природе органических веществ в водоемах [24].

Содержание бенз(а)пирена в исследованных образцах природных вод Полярного Урала сопоставимо с его концентрациями в водных объектах крупного мегаполиса. Так, в поверхностных водах р. Екатерингофка Санкт-Петербурга концентрация бенз(а)пирена достигает 44 нг/л, в р. Фонтанке – 3 нг/л, в водах р. Урал Оренбургской области – 2 нг/л [25, 26]. Бенз(а)пирен относится к полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ) с доказанным канцерогенным действием. Основной источник его поступления – процессы горения органического топлива. В водную среду бенз(а)пирен попадает в результате осаждения или вымывания осадками из атмосферы,

загрязненной выбросами, на подстилающую поверхность, далее ПАУ поступают в водные объекты [27]. Донные отложения способны накапливать бенз(а)пирен и повторно загрязнять водные объекты при уменьшении его концентрации в воде.

К природным источникам ПАУ относятся потоки углеводородов в пределах нефтегазоносных районов. В исследованных пробах превышений по нефтепродуктам не выявлено. Существенная роль в поступлении ПАУ в окружающую среду принадлежит транспорту. В последнее время на Полярном Урале получил развитие нерегулируемый туризм, загрязнение водоисточников связано и с данным фактом. Так, департаментом природно-ресурсного регулирования, лесных отношений и развития нефтегазового комплекса ЯНАО в 2015–2016 гг. было выдано разрешений на посещение природного парка «Полярно-Уральский» на 1091 ед. транспортных средств, в 2017–2018 гг. – свыше 1000. Необходимо продолжить исследования для получения дополнительной информации о загрязнении природной среды на данном научном полигоне.

Повышенные содержания алюминия в водной среде связаны, главным образом, с природным фактором. Алюминий поступает в окружающую среду в результате растворения бокситов, алюмосиликатов, глин. Возможен аэротехногенный путь поступления алюминия в водную среду с атмосферными осадками. В кислой среде алюминий находится в виде подвижных ионов гидроксидов $Al(OH)_2^+$ [7, 28].

Повсеместно в обследованных водных объектах выявляются повышенные концентрации марганца. В окружающую среду марганец поступает в процессе выветривания марганецсодержащих минералов: ильменита, пиролюзита, манганита, браунита или выщелачивания железомарганцевых руд. Марганец, выходящий с грунтовыми и подземными водами, в аэробной среде окисляется кислородом до оксида марганца и в виде железомарганцевых корок накапливается на дне рек и озер [29].

Поверхностные воды региона характеризуются повышенным содержанием цинка и меди (халькофильные элементы), которые поступают в водные объекты в результате интенсивного выноса в зоне выветривания. Предельно допустимые концентрации цинка и меди установлены для растворенной формы металлов. При проведении экологического мониторинга используются методики определения валовых содержаний. Возможно необоснованное занижение оценки качества вод [30]. Статистика превышений предельно допустимых концентраций меди и цинка в водных объектах рыбохозяйственного назначения может быть завышена в 1,7 и 2,4 раза соответственно. Повышенные концентрации данных элементов в поверхностных водах связаны с геохимическими особенностями региона исследования.

Показатель ИЗВ в большей степени характеризует неблагоприятную био-геохимическую ситуацию в регионе [16]. Анализ ИЗВ показал, что исследованные воды региона низкого качества. Уровень техногенного загрязнения отражает показатель концентрации бенз(а)пирена. Количественные оценки качества вод требуют разработки новых методов, объективно и с учетом региональной специфики отражающих существующее качество вод [31, 32].

ВЫВОДЫ

На формирование химического состава поверхностных вод оказывает влияние множество факторов, к которым относятся рельеф, климат, особенности гидрографической сети и гидрологического режима, почв и ландшафтов. Кроме того, природными факторами влияния являются литолого-минералогический состав пород, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, растворимость солей, деятельность живых организмов. В настоящее время значительное по интенсивности воздействие на гидрохимические показатели оказывают антропогенные и техногенные факторы.

В ходе проведенного исследования выявлены региональные гидрохимические особенности природных вод на «фоновых» научных полигонах Пуровский, Тазовский, Шурышкарский и Полярно-Уральский. Исследованные природные воды характеризуются низкой минерализацией, являющейся следствием преобладания атмосферного питания и высокой заболоченности водосборных бассейнов. Установлены отклонения гидрохимических показателей природных вод от экологических нормативов по таким характеристикам, как содержание алюминия, марганца, меди и цинка, БПК₅.

Выявлены участки с наиболее неблагоприятной экологической ситуацией. Из техногенных источников в обследованные водные объекты Полярного Урала поступает бенз(а)пирен. Концентрации нефтяных углеводородов установлены на уровне «фоновых» значений. Поверхностные воды изученных водных объектов относятся к водам низкого качества.

Исследования проведены в рамках темы НИР «Комплексный экологический мониторинг территории исконного проживания коренного малочисленного населения Ямало-Ненецкого автономного округа». Создана обширная наблюдательная сеть научного комплексного экологического мониторинга. Изучено современное экологическое состояние экосистем и установлено кумулятивное влияние крупных промышленных объектов, расположенных в регионе, на стабильность природных комплексов и компонентов окружающей среды, в т. ч. поверхностных вод. Сформирована актуализированная база данных на основе результатов исследований для разработки региональных нормативов качества окружающей среды Ямало-Ненецкого автономного округа. Исследования направлены на реализацию Постановления Правительства РФ №149 от 13 февраля 2019 г. «О разработке, установлении и

пересмотре нормативов качества окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г.* Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО // Вестник СПбГУ. 2012. № 7. С. 87–101.
2. *Сорокина Н.В.* Антропогенные изменения северо-таежных экосистем Западной Сибири (на примере Надымского района): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2003.
3. *Моисеенко Т.И., Калабин Г.В., Хорошавин В.Ю.* Закисление водосборов арктических регионов // Известия Российской академии наук. Сер. географ. 2012. № 2. С. 49–58.
4. *Гашкина Н.А.* Пространственно-временная изменчивость химического состава вод малых озер в современных условиях изменения окружающей среды; автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. Москва, 2014.
5. *Кремлева Т.А., Южанина А.А.* Влияние генезиса малых озер Надымского района на химический состав вод и экологическое состояние. Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах / мат-лы III Междунар. школы-семинара молодых исследователей. ТюмГУ, 2018. С. 206–212.
6. Доклад об экологической ситуации в ЯНАО, 2017.
7. *Моисеенко Т.И.* Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука: 2003. 278 с.
8. *Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А., Дину М.И., Хорошавин В.Ю., Кремлева Т.А.* Влияние природных и антропогенных факторов на процессы закисления вод в гумидных регионах // Геохимия. 2017. № 1. С.41–56.
9. *Хорошавин В.Ю.* Оценка потерь водного стока при обустройстве месторождений нефти и газа в криолитозоне /сб. мат-лов Всеросс. науч.-практ. конф., 2016. С. 18–25.
10. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод; утв. Госкомгидрометом СССР 22 сентября 1986 г. М., 1986. 5 с.
11. *Гусева Т.В.* Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справ. Е.М.М.: «Эколайн»: 2000. 148 с.
12. *Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б., Духовичева Т.А., Осипова Л.А.* Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы. 2007. № 26. С. 225–237.
13. *Бульон В.В.* Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л., 1983. 150 с.
14. *Темеров С.В.* Анализ воды и водных экосистем: лабораторный практикум для студ. хим. фак-та. Барнаул, 2012. 46 с.
15. Surface and Ground Water, Weathering, and Soils. Ed. J.I Drever. Vol. 5. Of Treatise on Geochemistry. Ed.: H.D. Holland, K.K. Turekyan. Amsterdam. Elsevier. 2005. 625 p.
16. *Бабушкин А.Г.* Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Новосибирск: Наука, 2007. 152 с.
17. *Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И.* Питьевая вода и здоровье человека: проблемы, направления и методы исследования // Мелиорация и водное хозяйство. 1998. № 3. С. 58–60.

18. Горбачев А.А. Элементный статус населения в связи с химическим составом питьевой воды // Микроэлементы в медицине. 2006. Т. 4. № 2. С. 11–24.
19. Кочергина И.И. Эндемический зоб и другие йододефицитные заболевания // Медицинский совет. 2008. № 3–4. С. 13–18.
20. Самыкина Л.Н., Самыкина Е.В., Дудина Д.А., Ярушина Т.Е. Состояние питьевой воды города Самара как фактор риска развития заболеваний ротовой полости // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. № 1(7). С. 1778–1780.
21. Кузьмина Э.М., Кузьмина И.Н., Лапатина А.В., Смирнова Т.А. Роль фтора в профилактике кариеса зубов: механизм действия, эффективность и безопасность (обзор лит-ры) // Dentalforum. 2013. № 5. С. 65–76.
22. Пименова Е.В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 138 с.
23. Овчинникова С.И., Широкая Т.А., Пашкина О.И. Основные тенденции изменения гидрохимических показателей водной экосистемы Кольского залива (2000–2011 годы) // Вестник МГТУ. 2012. № 3. С. 544–550.
24. Ражинашвили А.А. Показатели содержания органических веществ и компонентов карбонатной системы в природных водах в условиях интенсивного антропогенного воздействия // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2008. Сер. 4. Вып. 4. С. 90–101.
25. Кулиш Т.П. Гидрохимические исследования системы органического углерода озерной воды. Ладожское озеро: прошлое, настоящее и будущее / под ред. В.А. Румянцева, В.Г. Драбковой. СПб., 2002. С. 107–111.
26. Сеитов М.С., Гречкина В.В. Состояние почвы и воды по содержанию бензапирена на территории Илекского района Оренбургской области. Евразийский союз ученых. 2014. С. 145–146.
27. Митрофанова Е.С. Геоэкологическая оценка загрязнения рек и каналов Санкт-Петербурга полициклическими ароматическими углеводородами: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. СПб., 2017. 24 с.
28. Шугалей И.В., Гарабаджиу А.В., Ильюшин М.А., Сударииков А.М. Некоторые аспекты влияния алюминия и его соединений на живые организмы // Экологическая химия. 2012. № 21 (3). С. 172–186.
29. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия марганца в процессах гипергенезиса: обзор // Биосфера. 2013. № 1. С. 21–36.
30. Скороходова А.А., Савичев О.Г. Содержание и формы миграции меди и цинка в природных водах Васюганского болота // Вестник Тюменского государственного университета. 2013. № 368. С. 166–172.
31. Зубарев В.А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. № 2. С. 71–77.
32. Калинин В.М. Экологическая гидрология: уч. пособие. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2008. 144 с.

Для цитирования: Азбалаян Е.В., Колесников Р.А., Красненко А.С., Моргун Е.Н., Шинкарук Е.В., Печкин А.С., Локтев Р.И., Ильясов Р.М., Кобелев В.О., Оценка качества природных вод на научных полигонах Ямало-Ненецкого автономного округа (Пуровский, Тазовский, Шурышкарский, Полярно-Уральский) // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 6–23.

Сведения об авторах:

Агбальян Елена Васильевна, д-р биол. наук, заведующая сектором эколого-биологических исследований, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail: agbelena@yandex.ru

Колесников Роман Александрович, канд. геогр. наук, заведующий сектором геолого-географических исследований, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail: roman387@mail.ru

Красненко Александр Сергеевич, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, сектор эколого-биологических исследований, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail:aleks-krasnenko@yandex.ru

Моргун Евгения Николаевна, канд. биол. наук, научный сотрудник, сектор геолого-географических исследований, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail: morgun148@gmail.com

Шинкарук Елена Владимировна, научный сотрудник, сектор эколого-биологических исследований, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail: elena1608197@yandex.ru

Печкин Александр Сергеевич, младший научный сотрудник, сектор эколого-биологических исследований ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail: a.pechkin.ncia@gmail.com

Локтев Ростислав Игоревич, младший научный сотрудник, сектор геолого-географических исследований, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail: rost.lok@mail.ru

Ильясов Руслан Михайлович, младший научный сотрудник, сектор геолого-географических исследований, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail: frandly@mail.ru

Кобелев Василий Олегович, научный сотрудник, сектор эколого-биологических исследований, ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Россия, 629008, г. Салехард, ул. Республики, д. 20; e-mail: dfcz2007@mail.ru

THE NATURAL WATERS' QUALITY ASSESSMENT AT THE YAMALO-NENETSK
AUTONOMOUS DISTRICT SCIENTIFIC GROUNDS (PUROVSKIY, TAZOVSKIY,
SHURYSHKARSKIY, POLYARNO-URALSKIY)

**Yelena V. Agbalyan, Roman A. Kolesnikov, Aleksandr S. Krasnenko,
Yevgenia N. Morgun, Yelena V. Shinkaruk, Aleksandr S. Pechkin,
Rostislav I. Loktev, Ruslan M. Ilyasov, Vasilii O. Kobelev**

E-mail: agbelena@yandex.ru

State Public Institution of Yamalo-Nenetsk Autonomous District «Scientific Research Centre of the Arctic», Salekhard, Russia

Abstract: Surface water bodies are most vulnerable to chemical pollution. Objective: to study the hydro/chemical indicators of the state of surface waters of the Yamalo-Nenetsk

Autonomous District and to assess their quality. In 2018, original studies of water bodies located in scientific testing grounds of the Yamalo-Nenetsk Autonomous District were conducted. The reservoirs are located in the zone of the northern and middle taiga, southern tundra and forest-tundra, on the eastern slope of the Polar Urals. Sampling was carried out according to generally accepted methods. In the surface water samples, the main hydro/chemical parameters were determined. For an integrated assessment of water quality, the water pollution index (WPI) was used.

The surface waters of the examined water bodies belong to low mineralized waters with low concentrations of basic anions and cations. All studied waters in terms of BOD₅ are classified as dirty and very dirty waters. In the surface water samples of the Polar Urals, high concentrations of benz [a] pyrene were detected. The waters of the Tazovsky landfill belong to moderately polluted waters, the waters of the Purriver are polluted, the waters of the Syny river are dirty. The water bodies of the Polar Urals are very dirty. High values of IZV are associated with elevated concentrations of benz(a)pyrene, BOD₅, manganese, copper, zinc, and aluminum.

The water pollution index more characterizes the unfavorable biogeochemical situation in the region. An elevated level of technogenic pollution due to benzo(a)pyrene, the source of which is the combustion of fossil fuels (pyrogenic), is established in the water bodies of the Polar Urals. The surface waters of the surveyed water bodies are low-quality waters.

Key words: water bodies, natural water, pollutants, anions, cations, water quality, Purovsky polygon, Tazovsky polygon, Shuryshkarsky polygon, Polyarno-Uralsky polygon, YNAO.

About the authors:

Yelena V. Agbalyan, Doctor of Biology, Head of Environmental Studies Sector, Scientific Center of Arctic Research, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: agbelena@yandex.ru

Roman A. Kolesnikov, Candidate of Geographical Sciences, Head of Sector for Geological and Geographical Studies, Scientific Center of Arctic Research, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: roman387@mail.ru

Aleksandr S. Krasnenko, Candidate of Biology Sciences, Researcher, Environmental Studies Sector, Scientific Center of Arctic Research, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: Aleks-krasnenko@yandex.ru

Yevgenia N. Morgun, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Sector of Geological and Geographical Research, Center of Arctic Research, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: morgun148@gmail.com

Yelena V. Shinkaruk, Researcher, Environmental Studies Sector, Scientific Center of Arctic, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: elena1608197@yandex.ru

Aleksandr S. Pechkin, Researcher, Environmental Studies Sector, Scientific Center of Arctic Research, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: a.pechkin.ncia@gmail.com

Rostislav I. Loktev, Researcher of Sector for Geological and Geographical Studies, Scientific Center of Arctic Research, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: rost.lok@mail.ru

Ruslan M. Ilyasov, Researcher, Sector for Geological and Geographical Studies, Scientific Center of Arctic Research, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: frandly@mail.ru

Vasily O. Kobelev, Researcher, Environmental Studies Sector, Scientific Center of Arctic Research, ul. Respubliki, 20, Salekhard, 629008, Russia, e-mail: dfcz2007@mail.ru

For citation: Agbalyan Y.V., Kolesnikov R.A., Krasnenko A.S., Morgun Y.N., Shinkaruk Y.V., Pechkin A.S., Loktev R.I., Ilyasov R.M., Kobelev V.O. *The Natural Waters' Quality Assessment at the Yamalo-Nenetsk Autonomous District Scientific Grounds (Pyrovskiy, Tazovskiy, Shuryshkarskiy, Polyarno-Uralskiy) // Water Sector of Russia. 2019. No. 6. P. 6–23.*

REFERENCES

1. Opekunov A.YU., Opekunova M.G., Kukushkin S.YU., Ganul A.G. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya prirodnoy sredy rayonov dobychi nefi i gaza v YANAO. [Assessment of the ecological state of environment in the oil and gas production areas of YANAO] Vestnik SPbGU. 2012; No. 7: Pp. 87–101.
2. Sorokina N.V. Antropogenniye izmeneniya severo-tayozhnykh hekosistem Zapadnoy Sibiri (na primere Nadym'skogo rayona) [Anthropogenic alterations of the northern-taiga ecosystems of the Western Siberia (the Nadym region as a study case)]. Avtoreferat diss. ... kand. biol. nauk. Tyumen', 2003.
3. Moiseyenko T.I., Kalabin G.V., Khoroshavin V.YU. Zakisleniyevodosborovarticheskikh regionov [Acidulation of the arctic regions catchments]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2012. Pp. 49-58.
4. Gashkina N.A. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' khimicheskogo sostava vod malykh ozer v sovremennykh usloviyakh izmeneniya okruzhayushchey sredy [Spatial-temporal variability of the small lakes water composition in contemporary conditions of the environment changing] .Diss... dokt.geogr. nauk. Moskva, 2014.
5. Kremlova T.A., Yuzhanina A.A. Vliyaniye e genezisa malykh ozer Nadym'skogo rayona na khimicheskiiy sostav vod i ekologicheskoye sostoyaniye. Biogeokhimiya khimicheskikh elementov is oyedineniy v prirodnykh sredakh [The Nadym region small lakes genesis impact on the waters' chemical composition and status. Bio/geo/chemistry of chemical elements and compounds in natural environments]. Materialy III Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh issledovateley. Pod red. Boyeva V.A., Syso A.I., Khoroshavina V.YU. Izd.:Tyum GU: 2018. Pp. 206–212.
6. Doklad ob ekologicheskoy situatsii v YANAO [Report on the ecological situation in YANAO], 2017.
7. Moiseyenko T.I. Zakisleniye vod: faktory, mekhanizmy i ekologicheskkiye posledstviya [Waters' acidulation: factors, mechanisms and ecological consequences]. M.: Nauka: 2003. 278 p.
8. Moiseyenko T.I., Gashkina N.A., Dinu M.I., Khoroshavin V.YU., Kremlova T.A. Vliyaniye prirodnykh i antropogennykh faktorov na protsessy zakisleniya vod v gumidnykh regionakh [The natural and anthropogenic factors' impact on the waters' acidulation processes in humid regions]. Geokhimiya. 2017. Pp. 41–56.
9. Khoroshavin V.YU. Otsenka poter' vodnogo stoka pri obustroytve mestorozhdeniy nefi i gaza v kriolitozone [Assessment of the losses of water flow in development of petroleum/gas deposits in cryolite zone]. V sbornike: Nauchnaya i proizvodstvennaya deyatel'nost' – sredstvo formirovaniya sredy obitaniya: materialy Vserossiyskoy molodozhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiyem). Otv. Redaktory Drozdov D.S., Sadurtdinov M.R. 2016. Pp. 18–25.
10. Vremenniye metodicheskkiye ukazaniya po kompleksnoy otsenke kachestva poverkhnostnykh i morskikh vod [Provisional methodical instructions on integrated assessment of the surface and sea waters quality]: utv. Goskomgidrometom SSSR 22 sentyabrya 1986 g. M., 1986. 5 p.

11. *Guseva T.V.* Hidrokhimicheskiye pokazateli sostoyaniya okruzhayushchey sredy: spravochnyy ematerialy [Hydro/chemical indicators of the environment status: reference materials]. Guseva T.V., Molchanova YA.P., ZaikaYe.A., Vinichenko V.N., AverochkinYe.M.M.: «Ekolayn», 2000. 148 p.
12. *Lozovik P.A., Morozov A.K., Zobkov M.B., Dukhovicheva T.A., Osipova L.A.* Allokhthonnoye i avtokhthonnoye organicheskoye veshchestvo v poverkhnostnykh sodakh Karelii [Allochthonic and autochthonic organic substances in surface sodas of Karelia]. Vodnyy-eresursy. 2007. Pp. 225–237.
13. *Bul'on V.V.* Pervichnaya produktsiya planktona vnutrennikh vodoyomov [The inland water bodies' initial plankton production]. L., 1983. 150 p.
14. *Temerov S.V.* Analiz vody i vodnykh ekosistem [Analysis of water and aquatic ecosystems]. Laboratorniy praktikum dlya studentov 4-go kursa khimicheskogo fakulteta. Barnaul, 2012. 46 p.
15. Sulfate and Ground Water, Weathering, and Soils. Ed. J.I Drever. Vol. 5. Of Treatise on Geochemistry. Ed.: H.D. Holland, K.K. Turekyan. Amsterdam. Elsevier, 2005. 625 p.
16. *Babushkin A.G.* Hidrokhimicheskiy monitoring poverkhnostnykh vod Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga – Yugry [Hydro/chemical monitoring of the Khanty-Mansi Autonomous District –Yurga surface waters]. Babushkin A.G., Moskovchenko D.V. Novosibirsk: «Nauka». 2007. 152 p.
17. *Rakhmanin Y.A., Mikhaylova R.I.* Pit'yevaya voda i zdorov'ye cheloveka: problemy, napravleniya i metody issledovaniya [Drinking water and human health: problems, directions and research methods]. Melioratsiya i vodnoye khozaystvo. 1998. 3. Pp. 58–60.
18. *Gorbachev A.L.* Elementniy status naseleniya v svyazi s khimicheskim sostavom pit'yevoy vody [The population elementary status in connection with the drinking water chemical composition]. Mikroelementy v meditsine. 2006. V. 4. Pp. 11–24.
19. *Kochergina I.I.* Endemicheskiy zob i drugiye yododefitsitniye zabolovaniya [Endemic goiter and other iodine-deficit diseases]. Meditsinskiysovet. 2008. Pp. 13–18.
20. *Samykina L.N., Samykina Y.V., Dudina D.A., Yarushina T.Y.* Sostoyaniye pit'yevoy vody goroda Samara kak faktor riska razvitiya zabolovaniy rotovoy polosti [The drinking water quality in the city of Samara as a risk factor of the mouth cavity diseases]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademiy nauk. 2010. Pp. 1778–1780.
21. *Kuzmina E.M., Kuzmina I.N., Lapatina A.V., Smironova T.A.* Rol' ftora v profilaktike kariyesa zubov: mekhanizm deystviya, effektivnost' i bezopasnost' (obzor literatury) [The fluorine role in preventing of teeth caries: mechanism of effect, effectiveness and safety (literature review)]. Dentalforum. 2013. Pp. 65–76.
22. *Pimenova Y.V.* Khimicheskiye metod yanaliza v monitoring vodnykh obyektov [Chemical analysis methods in water bodies' monitoring]. Perm': Izd-vo FGBOU VPO Permskaya GSKHA, 2011. 138 p.
23. *Ovchinnikova S.I., Shirokaya T.A., Pashkina O.I.* Osnovniy tendentsi i izmeneniya gidrokhimicheskikh pokazateley vodnoy ekosistemy Kol'skogo zaliva (2000–2011 gody) [The main trends in the Kola Bay aquatic ecosystems' hydro/chemical; indicators changes (2000-2011)]. Vestnik MGTU, 2012. Pp. 544–550.
24. *Razhinashvili A.L.* Pokazateli soderzhaniya organicheskikh veshchestv i komponentov karbonatnoy sistemy v prirodnykh vodakh v usloviyakh intensivnogo antropogennogo vozdeystviya [Organic matter and carbon system components content indicators in natural waters in the conditions of the intensive anthropogenic impact]. Vestnik Sankt – Peterburgskogo universiteta, 2008. Ser. 4. V. 4. Pp. 90–101.

25. *Kulish T.P.* Gidrokhimicheskiye issledovaniya sistemy organicheskogo ugleroda ozernoy vody [Hydro/chemical researches of the lacustrine water organic carbon system]. Ladozhskoye ozero: proshloye, nastoyashcheye i budushcheye. Pod red. V.A. Rumyantseva, V.G. Drabkovoy. SPb., 2002. Pp. 107–111.
26. *Seitov M.S., Grechkina V.V.* Sostoyaniye pochvy i vody po sodержaniyu benzapirena na territoriyi Ilekskogo rayona Orenburgskoy oblasti [Soils and waters' status in respect of benzopyren content on the territory of Orenburg Oblast] *Yevraziyskiy soyuz uchenykh.* 2014. Pp. 145–146.
27. *Mitrofanova Y.S.* Geoekologicheskaya otsenka zagryazneniya rek i kanalov Sankt-Peterburga politsiklicheskimiaromaticeskimi uglevodorodami [Geo/ecological assessment of the St. Petersburg rivers and canals pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons]. Avtoref. diss. ... kand. geogr. nauk. Sankt-Petereburg, 2017. 24 p.
28. *Shugaley I.V., Garabadzhiu A.V., Il'yushin M.A., Sudarikov A.M.* Nekotoriye aspekty vliyaniya alyuminiya i yego soyedineniy na zhiviye organizmy [Some aspects of the aluminum/its compounds' impact upon living organisms]. *Ekologicheskay akhimiya.* 2012. 21 (3). Pp. 172–186.
29. *Yudovich Y.E., Ketriz M.P.* Geokhimiya margantsa v protsessakh gipergenezisa: obzor [The manganese geo/chemistry in the hyper/genesis processes: a review]. *Mezhdistsiplinarniy nauchniy i prikladnoy zhurnal «Biosfera»*, 2013. Pp. 21–36.
30. *Skorokhodova A.A., Savichev O.G.* Soderzhaniye i formy migratsyi medi i tsinka v prirodnykh vodakh Vasyuganskogo bolota [Copper and zinc migration content and forms in natural waters of the Vasyugan bog]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013. Pp. 166–172.
31. *Zubarev V.A.* Gidrokhimicheskiye indeksy otsenki kachestva poverkhnostnykh vod. Regional'nyye problemy [Hydro/chemical indices of the surface waters' quality assessment]. 2014. Pp. 71–77.
32. *Kalinin V.M.* Ekologicheskaya gidrologiya: Uchebnoye posobiye [Ecological hydrology: school-book]. Tyumen': Izdatel'stvo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2008. 144 p.

МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АРМЕНИИ

В.Г. Маргарян

E-mail: vmargaryan@ysu.am

Ереванский государственный университет, г. Ереван, Республика Армения

АННОТАЦИЯ: На основе данных фактических наблюдений Армгидромета и литературных источников собраны и проанализированы закономерности многолетних колебаний максимальных расходов воды рек горных территорий Армении в контексте глобального изменения климата. Отмечено, что на реках Армении максимальные расходы в основном проходят в период весенних половодий и формируются преимущественно из снеготаяния и дождевых вод. В период весенних половодий по рекам проходит значительная часть годового стока. В работе проанализированы зависимости модуля максимальных расходов от площадей и высот речных бассейнов, представлен межгодовой ход температур воздуха и атмосферных осадков по данным метеостанций за период весенних половодий.

В результате исследования установлено, что на территории Армении преимущественно наблюдается тенденция уменьшения значений максимального стока рек, что является как результатом хозяйственной деятельности, так и изменения климата. По изученным данным 53 постов (из 84 действующих) на 49 (92 %) отмечена тенденция уменьшения абсолютных максимальных расходов, только на 4 постах наблюдается тенденция увеличения. Это обусловлено тем, что на территории республики в последние годы зафиксирован рост температуры воздуха, увеличение повторяемости оттепелей зимой и уменьшение запаса воды в снеге.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: максимальный сток, весеннее половодье, многолетние колебания, горная территория, изменение климата, Республика Армения.

В условиях глобального изменения климата невозможно переоценить значение сравнительного анализа и оценки многолетних колебаний максимальных расходов, в особенности, с точки зрения проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений, осуществления мероприятий по предотвращению негативного воздействия вод. В данной работе поставлена цель – исследовать, проанализировать и оценить закономерности колебаний максимальных расходов воды рек горных территорий Армении в контексте глобального изменения климата. Для достижения поставленной цели выявлены и исследованы основные физико-географические факторы,

© Маргарян В.Г., 2019

обуславливающие максимальный расход; обработаны данные по максимальному расходу рек изучаемой территории, их гидрологические характеристики; оценены особенности многолетних колебаний максимального расхода рек горных территорий Армении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретической и информационной основой для решения поставленных задач являлись результаты соответствующих исследований. В качестве исходного материала в работе использованы данные фактических наблюдений «Службы по гидрометеорологии и активному воздействию на атмосферные явления» МЧС Республики Армения за весь период инструментальных наблюдений. Максимальные расходы, в основном, изучены для тех рек, которые имеют однородный и длинный ряд наблюдений (40 лет и более). Основные гидрометрические характеристики рек частично представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные гидрометрические характеристики рек и их бассейнов горных территорий Армении

Table 1. Main hydro/metric characteristics of rivers and their basins on the mountain territories of Armenia

| Река – пост | Расстояние от устья, км | Уклон реки, ‰ | | | Основные характеристики водосбора | | | |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|--|
| | | средний от наиболее удаленной точки | средневышенный от наиболее удаленной точки | площадь, км ² | средняя высота, м | средний уклон, ‰ | залесенность, % | |
| Памбак – Ширакамут | 148 | 22,5 | 15,6 | 359 | 2050 | 178 | <5 | |
| Дебед – Айрум | 40 | 12,7 | 11,1 | 3740 | 1770 | 188 | 17 | |
| Аларекс – Дебет | 2,1 | 79,6 | 68,3 | 106 | 2010 | 323 | 38 | |
| Дзорагет – Гаргар | 4,4 | 22,0 | 19,3 | 1450 | 1860 | 97 | | |
| Агстев – Иджеван | 54 | 32,5 | 25,1 | 1270 | 1800 | 238 | 26 | |
| Ахурян – Пахакн | 186 | 5,0 | 5,0 | 220 | 2350 | 129 | – | |
| Дзкнут – Зоракерт | 2,0 | 21 | 21 | 28,0 | 2220 | 130 | – | |
| Иллигет – Джрадзор | 0,2 | 36 | 29 | 67,5 | 1980 | 218 | | |
| Каркачун– Карибджанян | 1.8 | 38 | 31 | 1020 | 2020 | – | – | |
| Касах – Варденис | 66 | 32 | 22 | 441 | 2300 | 157 | 3 | |
| Раздан – Раздан | 113 | 29 | 21 | 697 | 2200 | 234 | 11 | |
| Дзыкнагет – Цовагюх | 1,0 | 34 | 30 | 82,6 | 2220 | 211 | – | |
| Аргичи – Геташен | 5,5 | 14 | 8 | 366 | 2470 | 144 | – | |
| Арпа – Джермук | 105 | 52 | 48 | 199 | 2790 | 188 | 6 | |
| Мегригет – Мегри | 6,0 | 89 | 77 | 324 | 2200 | 464 | 25 | |
| Вохчи – Каджаран | 69 | 140 | 140 | 120 | 2840 | 465 | 7 | |

В работе применены следующие методы: метод математико-статистического анализа, метод сопоставления и сравнения, экстраполяции и корреляции.

В Армении специализированных научных работ по изучению максимального стока рек практически нет. Однако в своих исследованиях изучению максимальных расходов рек уделили внимание Л.В. Азизян, В.Г. Марганян, Б.П. Мнацаканян, З.З. Мурадян, А.Э. Мисакян, С.М. Мусаелян, М.В. Шагинян, В.О. Саргсян, Л.А. Чилингарян, Т.Г. Варданян и др. [1–6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На изучаемой территории максимальные расходы вод горных рек в основном проходят в период весенних половодий и формируются преимущественно из снеготаяния и дождевых вод, они могут проявляться как отдельно, так и вместе (смешанный тип). В период весенних половодий в реках Армении максимальные расходы от снеготаяния наблюдаются в марте-апреле, максимальные расходы от снеготалых-дождевых вод – в апреле-мае, а максимальные расходы, возникающие от дождей, в мае-июне.

Значения максимальных расходов от снеготаяния зависят не только от запаса воды в снеге, но и от продолжительности и характера снеготаяния. Так, при одинаковом запасе воды в снеге значения максимальных расходов могут существенно различаться в зависимости от интенсивности снеготаяния, степени влажности почвы и глубины сезонного промерзания, от температуры воздуха и ряда других причин. Максимальные расходы от снеготаяния в Армении наблюдаются преимущественно в реках Аракс, Ахурян, Касах, Воротан, Вохчи, а также в реках бассейна оз. Севан (Гаварагет, Варденис, Аргичи). Максимальные расходы, образующиеся от смешанного питания, характерны для рек бассейна Куры, где почти половина количества годовых осадков приходится на период весенних половодий. В объеме стока рек бассейна Куры за весь период половодий велика роль именно дождевого питания: в результате дождей формируется 40–90 % наибольших годовых расходов. В процессе формирования дождевых максимальных расходов велика роль фронтальных вторжений, а у малых рек ($F=200 \text{ км}^2$) и у рек низменных районов республики – дождей, имеющих внутримассовое происхождение. Часто дождевые максимальные расходы по своей величине превосходят максимальные расходы от талых стоков. На формирование максимальных расходов большое влияние оказывают уклон бассейна, увлажнение территории прошлого периода, оттепели за холодный период года, запас воды в снеге, жидкие осадки [1, 5, 7, 8, 9].

Анализ спутниковых снимков, диаграмм вертикального разреза атмосферы показал, что значительная часть максимальных расходов рек Армении наблюдается при смещении молодого циклона из Алжира или Египта на территорию республики [10]. Такие процессы наблюдались 15–18 апреля 1968 г., 1–5 мая 1969 г., 5–6 марта 2004 г., 30 апреля–3 мая 2007 г. В это время из-за повышения температуры и ливневых осадков в реках Армении отмечался значительный рост расходов воды: в некоторых реках 6 марта отмечено превышение в несколько раз среднесуточных расходов воды по сравнению с 5 марта, в то же время отмечалось превышение значений максимальных расходов воды по сравнению с абсолютными максимальными значениями, наблюдаемыми ранее.

В период весенних половодий по рекам изучаемой территории проходит значительная часть годового стока, который формируется за счет талых вод, дождей и грунтовых вод и почти у всех рек проявляется в виде хорошо выраженной одной волны. Половодья, как правило, начинаются с третьей декады марта – первой декады апреля и заканчиваются в третью декаду июня – первую декаду июля, продолжаясь в среднем 90–95 дней. В этот период ход гидрографа стока неустойчивый, имеет вид пилообразной волны, что связано с частыми колебаниями температуры, с неодновременным таянием снега и неравномерным распределением жидких осадков. В первые дни интенсивность небольшая, далее она растет вместе с увеличением интенсивности таяния снега и достигает максимума во второй половине апреля-мая. После прохождения максимального расхода сток постепенно уменьшается. Этот период более длителен. Ход уровня воды совпадает с ходом температуры воздуха и осадков. Исследования показывают, что максимальные расходы характеризуются довольно значительной разницей как своих значений, так и даты прохождения (табл. 2). Это касается не только разных рек, но и разных створов одной реки. Так, на территории Армении абсолютные значения максимальных расходов колеблются в пределах от 10,3 м³/с до 759 м³/с.

Обычно величины максимального расхода превышают среднегодовые значения стока в 5–10, а в маленьких реках в 15–25 раз (например, в створе Цовагюх–р. Дзыкнагет в 35 раз). Для рек, имеющих в основном подземное питание, картина иная: величины их максимальных расходов незначительно превосходят средние значения годового стока.

Для всех выбранных рек построены графики изменений абсолютных максимальных расходов (рис. 1, рис. 2). Выяснилось, что в ряде многолетних наблюдений преимущественно преобладает тенденция уменьшения максимальных расходов. Аналогичные данные получены в рамках других исследований [11, 12]. Среди изученных 53 постов (из 84 действующих) на 49 (т. е. в 92 % случаев) наблюдается тенденция уменьшения абсолютных

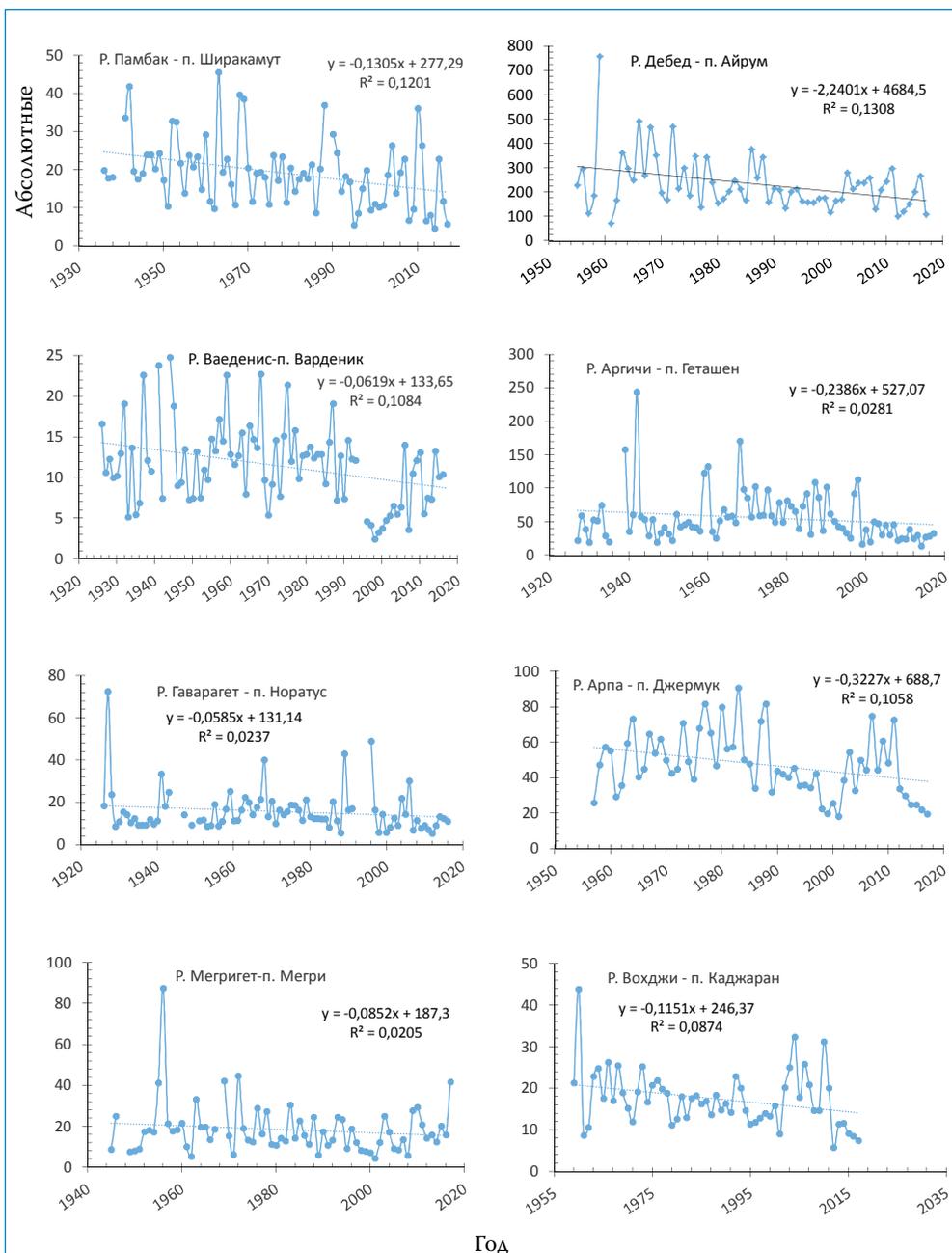


Рис. 1. Динамика изменения абсолютного максимального расхода, м³/с.

Fig. 1. Dynamics of the absolute maximal flow changing, m³/s.

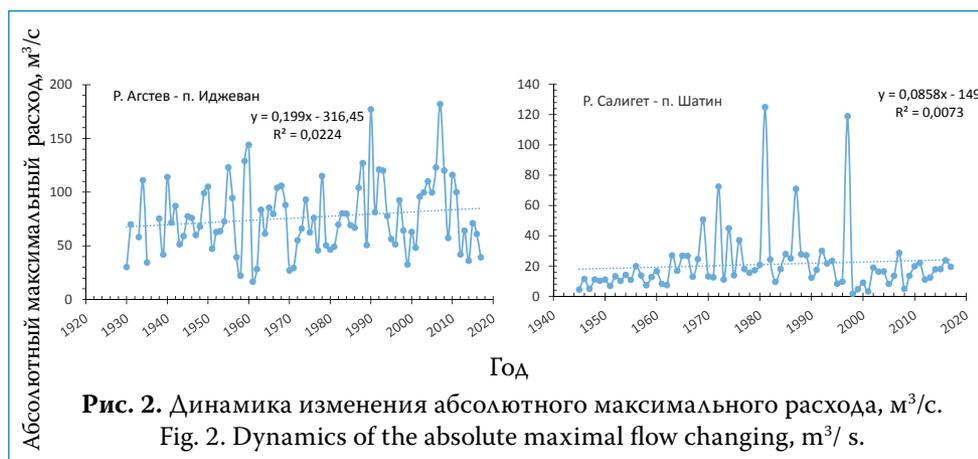
максимальных расходов, только на 4 постах отмечена тенденция увеличения. На наш взгляд, это обусловлено тем обстоятельством, что на территории Армении наблюдается рост температуры воздуха, увеличение повторяемости оттепелей зимой и уменьшение запаса воды в снеге.

Таблица 2. Основные характеристики максимальных расходов рек Армении
Table 2. Main characteristics of the maximal flow of the rivers of Armenia

| Река – пост | Абсолютный максимальный расход, время прохождения | | Максимальный средний расход и модуль | | Ранняя дата прохождения максимальных расходов |
|-----------------------|---------------------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|
| | м ³ /с | Дата | м ³ /с | л/(схкм ²) | Дата |
| Памбак – Ширакамут | 45,6 | 14.06.1963 | 19,3 | 53,8 | 15.03 |
| Памбак – Ванадзор | 83,5 | 09.04.1978 | 33,3 | 37,6 | 06.03 |
| Дебед – Айрум | 759 | 19.05.1959 | 235 | 62,8 | 06.03 |
| Аларекс – Дебет | 80,9 | 23.06.1976 | 20,1 | 189,6 | 27.03 |
| Дзорагет – Гаргар | 395 | 19.05.1959 | 121 | 83,4 | 06.03 |
| Агстев– Иджеван | 182 | 29.04.2007 | 76,5 | 60,2 | 06.03 |
| Ахурян – Пахакн | 23,0 | 20.07.1978 | 11,8 | 53,6 | 11.04 |
| Дзкнут– Зоракерт | 10,3 | 07.06.1963 | 3,60 | 128,6 | 09.03 |
| Иллигет – Джрадзор | 18,0 | 03.03.1964 | 3,92 | 58,1 | 03.03 |
| Каркачун– Карибджанян | 17,2 | 28.06.1972 | 6,09 | 6,0 | 04.03 |
| Касах– Варденис | 151 | 12.04.1972 | 21,2 | 48,1 | 05.03 |
| Раздан– Раздан | 144 | 29.04.1990 | 62,7 | 90,0 | 06.03 |
| Дзыкнагет – Цовагюх | 46,4 | 14.04.1948 | 14,0 | 169,5 | 06.03 |
| Аргичи – Геташен | 244 | 07.05.1942 | 56,2 | 153,6 | 17.03 |
| Арпа – Джермук | 91,0 | 17.05.1983 | 47,5 | 238,7 | 16.04 |
| Мегригет–Мегри | 87,5 | 12.04.1956 | 18,2 | 56,2 | 07.03 |
| Вохчи–Каджаран | 43,9 | 04.07.1960 | 17,5 | 145,8 | 06.05 |

Сделана попытка выявить закономерности для классификации рек, имеющих тенденцию роста или уменьшения абсолютных максимальных расходов, однако эта задача нуждается в дополнительном и всестороннем исследовании.

В данной работе также проанализированы имеющиеся зависимости модуля максимальных расходов от площадей и высот речных бассейнов. Выяснилось, что для всей территории Армении связь между этими величинами четко не выражена, что обусловлено физико-географическими особенностями территории, в особенности ее горным рельефом. Тесную связь можно проследить только для отдельных речных бассейнов.

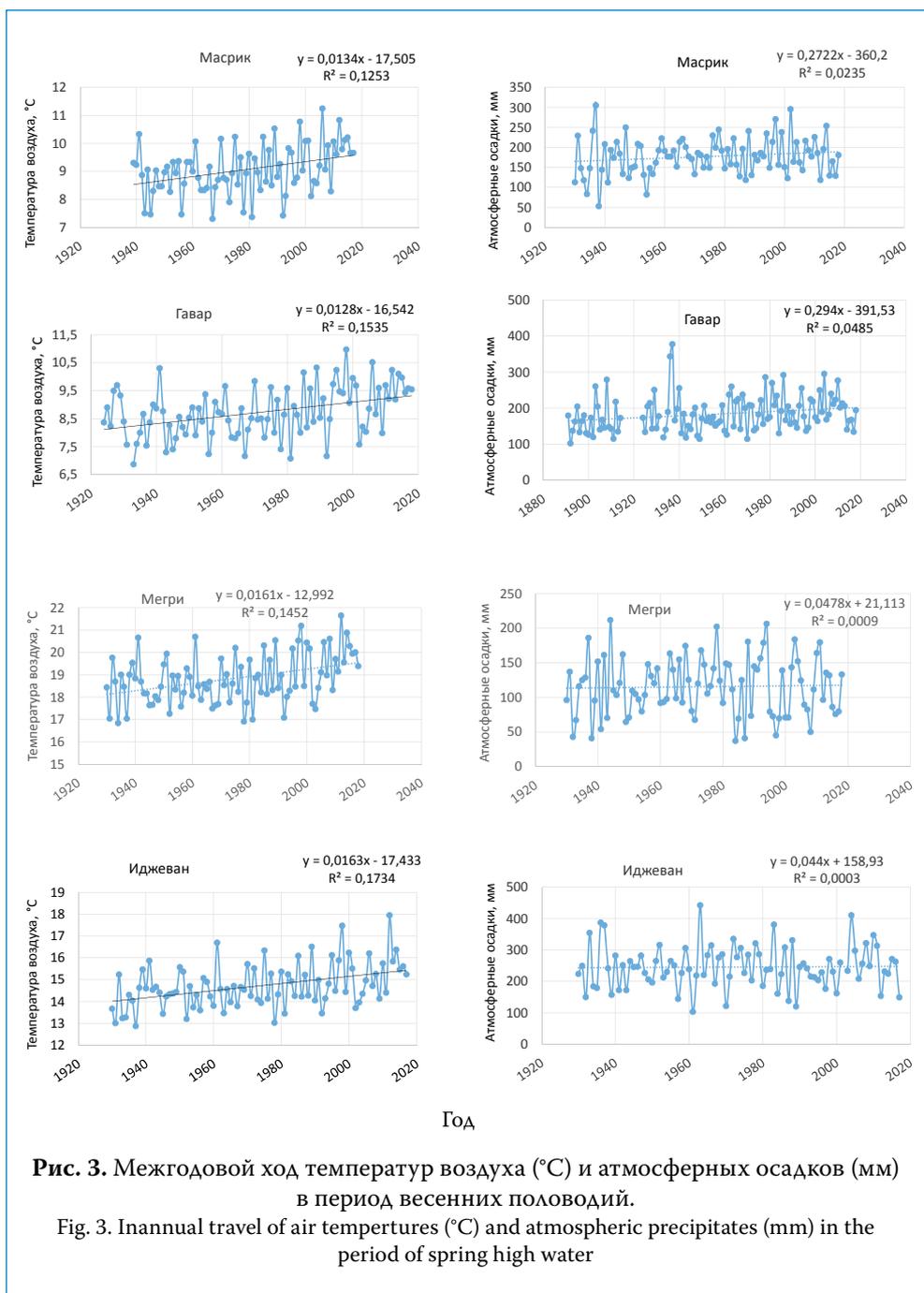


На рис. 3 представлен межгодовой ход (1930–2018 гг.) температур воздуха и атмосферных осадков за период весенних половодий по данным метеостанций. Температура воздуха демонстрирует четко выраженный значимый положительный тренд. Для осадков тренд незначим и положителен, т. е. они, по сути, не оказывают заметного влияния на снижение максимального стока.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования установлено, что для территории Армении наиболее характерны даты прохождения максимального стока в весенне-летний период. В створах изученных рек абсолютные значения максимальных расходов колеблются в пределах от 10,3 до 759 м³/с. Не наблюдается четко выраженной зависимости модуля максимальных расходов от площадей и высот речных бассейнов, что обусловлено физико-географическими особенностями территории, ее горным рельефом. Тесную связь можно проследить только для отдельных речных бассейнов. Временные тенденции в ходе многолетних максимальных расходов воды не носят однозначного характера – наблюдается преобладание отрицательных трендов, преимущественно отмечена тенденция уменьшения значений максимального стока рек.

По данным 53 постов (из 84 действующих) на 49 (92 %) отмечена тенденция уменьшения абсолютных максимальных расходов, только на 4 постах прослеживается тенденция увеличения. Это обусловлено тем, что на территории Армении в последние годы зафиксирован рост температуры воздуха в период весенних половодий, увеличение повторяемости оттепелей зимой и уменьшение запаса воды в снеге.



Изменения максимального стока необходимо учитывать при выполнении гидрологических расчетов и прогнозов стока весеннего половодья. Результаты данного исследования можно использовать при проектировании объектов гидротехнического строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрография Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1981. 177 с. (на арм. яз.).
2. *Маргарян В.Г., Варданян Т.Г.* Закономерности пространственно-временного распределения стока весенних половодий реки Мармарик // Ученые записки ЕГУ. 2011, № 1. С. 30–37 (на арм. яз.)
3. *Margaryan V.G.* Assessment and management challenge of maximum river flow of the spring flood risk of Marmarik Rivers // *Hidrolohiia, hidrokhimii i hidroekolohiia: The scientific collection. The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiyi.* Kyiv, 2018. № 4 (51). Pp. 56–63.
4. *Мурадян З.З.* Расчет и оценка риска экстремальных расходов рек бассейна Аракс Республики Армения: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Ереван, 2014. 32 с. (на арм. яз.)
5. *Шагинян М.Б.* К вопросу формирования максимальных расходов воды рек Армянской ССР // Изд. АН АрмССР, 1963. Т. 16. № 6. С. 47–56.
6. *Чилингарян Л.А., Мнацаканян Б.П., Агабабян К.А., Токмаджян О.В.* Гидрография рек и озер Армении. Ереван: Изд-во «ММ Принт», 2002. 49 с. (на арм. яз.).
7. *Мамедов М.А.* Расчеты максимальных расходов воды горных рек (на примере рек Кавказа). Л.: Гидрометеиздат, 1989. 184 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн р. Аракса. / под ред. А.П. Муранова. М.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 9. 472 с.
9. *Ростомов Г.Д.* Роль снежного покрова в формировании максимальных расходов половодий на реках западной Грузии. Л.: Гидрометеиздат, 1966. Вып. 20. С. 113–119.
10. *Суренян Г.Г.* Синоптический анализ барических полей, формирующих погодноклиматические условия Республики Армения: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Ереван, 2010. С. 145 (на арм. яз.).
11. *Алехтин А.В., Кумани М.В.* Многолетняя динамика основных элементов весеннего стока малых и средних рек Центрального Черноземья // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. 2015. № 21 (218). С. 114–120.
12. *Фролова Н.Л., Белякова П.А., Григорьев В.Ю., Сазонов А.А., Зотов Л.В.* Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 243–255.

Для цитирования: Маргарян В.Г., Многолетние колебания максимального стока рек горных территорий Армении // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 24–34.

Сведения об авторе:

Маргарян Вардуи Гургеновна, канд. геогр. наук, доцент, Ереванский государственный университет, географический и геологический факультет, кафедра физической географии и гидрометеорологии. 0025, Армения, г. Ереван, ул. Алека Манукяна, 1; e-mail: vmargaryan@ysu.am

**LONG-TERM FLUCTUATIONS OF THE MAXIMUM RIVER FLOW OF MOUNTAIN
AREAS OF ARMENIA**

Varduhi G. Margaryan

E-mail: vmargaryan@ysu.am

Yerevan State University, Yerevan, Armenia

Very important is the knowledge of the perennial fluctuations of maximum costs, especially in the context of global climate change. The results of long-term fluctuations in absolute maximum costs make it possible to predict in advance the expected water disasters and work out ways to prevent their danger or mitigate them.

The work studied, analyzed and identified patterns of perennial fluctuations of the maximum water flow of the rivers of mountainous areas of Armenia in context of global climate change. For this purpose collected, processed and analyzed the results of actual observations of Armhydromet, available literary sources. Used in the work methods: mathematical-statistical, geographical, comparison, analysis.

In the study area, the maximum costs are mainly in the period of spring floods and are formed mainly from snowmelt and rainwater, which can occur both separately and together. During the spring floods, which are one of the main stages of the water regime of the rivers of Armenia, a significant part of the annual flow runs along the rivers.

As a result of research, it turned out that in the study area there is mainly a tendency to decrease the values of the maximum flow, which is the result of both human activity and climate change. Among the 53 posts studied (out of 84 active posts), in 49 (that is, in 92% cases) there is a tendency to decrease in absolute maximum expenses, only at 4 posts there is a tendency to increase. This is because in the territory of the republic there is an increase in air temperature, an increase in the frequency of thaws in winter, a decrease in the water supply in the snow.

Key words: maximum flow, spring flood, perennial fluctuations, diminishing trend, mountain territory, Republic of Armenia.

About the author:

Margaryan Varduhi Gurgeni, PhD in Geographical sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology, Yerevan State University. Faculty of Geography and Geology. Alek Manoukian Street 1, Yerevan 0025 Armenia; e-mail: vmargaryan@ysu.am

For citation: *Margaryan V.G. Long term fluctuations of the maximal river flow of the mountain areas of Armenia // Water Sector of Russia. 2019. No.6. Pp. 24–34.*

REFERENCES

1. Gidrigrafiya Armyanskoy SSR [Hydrography of the Armenian SSR]. Yerevan: Izd-vo AN Arm. SSR, 1981. 177 p. (in Armenia.).

2. *Margaryan V.G., Vardanyan T.G.* Zakonomernosti prostranstvenno-vremennogo raspredeleniya stoka vesenikh polovodiy reki Marmarik [Regularities of spatial/temporal distribution of the Marmarik River spring high water periods flow distribution] // Uchniye zapiski EGU. 2011, No1. Pp. 30–37 (in Armenian).
3. *Margaryan V.G.* Assessment and management challenge of maximum river flow of the spring flood risk of Marmarik Rivers // Hidrolohiia, hidrokhimii i hidroekologiiia: The scientific collection. The editor-in-chief Valentyn Khilchevskiy. Kyiv, 2018. № 4 (51). P. 56–63.
4. *Muradyan Z.Z.* Raschet i otsenka riska ekstremalnykh raskhodov rek basseyna Araks Respubliki Armenia [Calculation and assessment of extreme flow risks of the araks River basin rivers of the Republic of Armenia]: avtoref diss. ... kand. geogr. nauk. Yerevan, 2014. 32 c. (in Armenian).
5. *Shaginyan M.B.* K voprosu formirovaniya maksimalnykh raskhodov vody rek Armyanskoys SSR [On the issue of formation of the Armenian SSR maximal river flows] // Izd. AN ArmSSR, 1963. Vol. 16. No. 6. Pp. 47–56.
6. *Chilingaryan L.A., Mnatsakanyan B.P., Agababyan K.A., Tokmadzhyan O.V.* Gidriographia rek i ozer Armeniyi [Hydrography of rivers and lakes of Armenia]. Yerevan: Izdvo «MM Print», 2002. 49 p. (in Armenian).
7. *Mamemodov M.A.* Raschety maksimalnykh raskhodov vody gornyykh rek (na primere rek Kavkaza) [Calculations of the mountain rivers maximal water flows (rivers of Caucasus as a study case)]. L.: Gidrometeizdat, 1989. 184 p.
8. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Basseyn r. Araksa [Resources of surface waters of the USSR. The Araks River basin]. / po red. A.P. Muranova. M.: Gidrometeizdat, 1973. Vol. 9. 472 p.
9. *Rostomov G.D.* Rol snezhnogo pokrova v formirovaniyi maksimalnykh raskhodov polovodiy na rekakh zapadnoy Gruzii [The role of snow cover in formation of the floods maximal flow at the rivers of Western Georgia]. L.: Gidrometeizdat, 1966. Vyp. 20. Pp. 113–119.
10. *Surenyan G.G.* Sinopticheskiy analiz baricheskikh poley, formiruyushchikh pogodno-climaticheskiye usloviya Respubliki Armenia [Synoptic analysis of the barometric fields forming weather/climate conditions of the Republic of Armenia]: avtoref. diss. ... kand. geogr. nauk. Yerevan, 2010. Pp. 145 (in Armenian).
11. *Apukhtin A.V., Kumani M.V.* Mnogoletnyaya dinamika osnovnykh elementov vesennego stoka malykh i srednykh rek Tsentrolnogo Chernozemya [Many-year dynamics of the main elements of the Central Chernozemye small and medium rivers spring flow] // Nauchniye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Yestestvenniye nauki. 2015. No. 21 (218). Pp. 114–120.
12. *Frolova N.L., Belyakova P.A., Grigoryev V.Y., Sazonov A.A., Zotov L.V.* Mnogoletniye kolebaniya stoka rek v basseyne Selengi [Many-year fluctuations of the river flow in the Selenga River basin] // Vodniye resursy. 2017. Vol. 44, No. 3. Pp. 243–255.

ФОРМИРОВАНИЕ АБСОЛЮТНЫХ МИНИМУМОВ СТОКА ЛЕТНЕ-ОСЕННЕЙ МЕЖЕНИ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДОНА

С.В. Бучик¹, В.А. Дмитриева²

E-mail: bychik_svetlana@mail.ru

¹ ООО «Центр-Дорсервис», г. Воронеж, Россия

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Россия

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены сроки наступления минимумов летне-осенней межени в бассейне Верхнего Дона по периодам: от начала наблюдений на постах до 1970 г., 1971–2000, 2001–2017 гг. Выявлены отличающиеся по времени формирования абсолютных минимумов водности три зоны – собственно Дон и правобережные притоки Дона, левобережные притоки Дона, бассейн Хопра. Установлено, что в текущем столетии минимумы водности образуются в выделенных зонах в июле-августе, августе-сентябре, преимущественно в сентябре соответственно, что в среднем на месяц раньше сроков, наблюдавшихся до 1970 г. Основные смещения в датах наступления исследуемой характеристики произошли в 1971–2000 гг., закрепившись в текущем столетии. В бассейне Хопра наблюдается большая согласованность в наступлении абсолютных минимумов, чем в речной системе собственно Верхнего Дона.

Несмотря на увеличение продолжительности половодья и летне-осенней межени, а также тенденцию возрастания водности в период низкого стока, отмечается подвижка дат образования низких экстремумов водности к началу летне-осенней межени. Выявленный характер формирования абсолютных минимумов является следствием внутригодового перераспределения стока и откликом на положительную динамику температуры воздуха, определяющей прямо или косвенно гидрологические процессы на речном водосборе. Более раннее летнее истощение рек может способствовать усилению рисков водопользования в вододефицитный период летне-осенней межени, оказывать негативное влияние на отрасли сельского хозяйства, существенно менять качество воды в водных объектах и создавать экологическую напряженность в бассейне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Верхний Дон, низкая водность, межень, абсолютные минимумы стока, водопользование, гидроэкологические риски.

В современный климатический период в водном режиме Верхнего Дона отчетливо выраженные фазы половодья и межени претерпевают существенные изменения. Летне-осенние паводки носят несистематический характер и не играют важной гидрологической роли. Зимние паводки становятся событием регулярным и характерным для зимнего режима рек. Половодье, паводки и ме-

© Бучик С.В., Дмитриева В.А., 2019

жень в бассейне Дона не равновелики по продолжительности и водности. Современные исследования водного режима Дона указывают на глубокие и значимые изменения во внутригодовом распределении стока, характеристиках сезонного стока, продолжительности и сроках половодья, а также межени [1–4].

Фаза половодья скоротечна, длится 1,5–3 месяца, а ее водность формируется, преимущественно, за счет поверхностного стока от талого снега весной, иногда с добавлением стока от дождей во время половодья, как, например, в 2016 г. на реках Верхнего Дона. Современные изменения в характере половодья прямо или косвенно затрагивают сроки, продолжительность и водность летне-осенней межени.

Формирование стока летне-осенней межени, главным образом, обусловлено разгрузкой подземных вод в русла рек и объемом подземного питания рек в межень. Процесс образования меженного стока сложный, определяется геологическими и гидрогеологическими условиями, гидравлической связью поверхностных и подземных вод, климатическими и метеорологическими факторами [5–10]. В данном исследовании акцентируется внимание на сравнительной характеристике абсолютных минимальных значений стока летне-осенней межени, сроках наступления, условиях формирования экстремумов низкой водности в главной реке и притоках Верхнего Дона в различные временные периоды, а также геоэкологических последствиях гидрологических процессов для водопользования, поскольку водность межени для ряда отраслей экономики страны является лимитирующей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходной информацией для исследования стали сведения об абсолютных минимальных расходах воды и датах их наступления, отмеченных в действующих гидрологических постах Верхнего Дона. Постоянные гидрологические посты размещены на р. Дон и притоках первого и второго порядков: р. Красивая Меча – г. Ефремов; р. Сосна (Быстрая Сосна) – сл. Беломестная и г. Елец; р. Тим – с. Новые Савины; р. Девица – с. Девица; р. Воронеж – г. Липецк-2; р. Лесной Воронеж – сл. Заворонежская; р. Матыра – с. Крутое; р. Битюг – с. Мордово и г. Бобров; р. Тихая Сосна – г. Алексеевка; р. Подгорная – г. Калач; р. Хопер – г. Поворино и г. Новохоперск; р. Ворона – с. Чутановка и г. Борисоглебск; р. Савала – г. Жердевка; р. Чигла – пос. Первомайский. Территориально посты наблюдений расположены в Тульской, Липецкой, Курской, Тамбовской, Белгородской и Воронежской областях. Материалы для исследования заимствованы из публикаций водного кадастра «Ресурсы поверхностных вод», Государственного водного кадастра, гидрологических ежегодников, архивов Воронежского Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

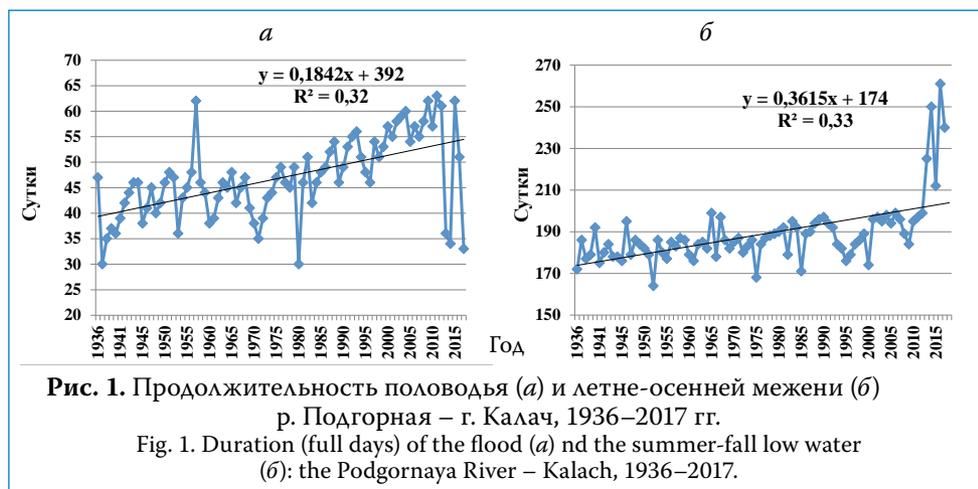
Анализ исходной информации, расчеты и интерпретация полученных результатов выполнялись с помощью методов географо-гидрологического, сравнительного географического и метода математической статистики с использованием программ Statistica, Excell. Сравнение характеристик стока и дат образования минимальной водности (абсолютных минимумов) проводили по следующим периодам: от начала наблюдений по 1970 г., 1971–2000 гг., 2001–2017 гг. за летне-осеннюю межень.

Границы летне-осенней межени определяются в зависимости от продолжительности и даты окончания половодья и начала зимней межени. Летне-осенняя межень исчисляется от конца половодья весной и до появления устойчивых ледяных образований осенью. В случае отсутствия ледостава на реках за границу окончания летне-осенней межени принимается дата перехода температуры воздуха через ноль в сторону отрицательных значений.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Речные водосборы, составляющие единый бассейн Верхнего Дона, располагаются на Среднерусской возвышенности (правобережные притоки Дона), Окско-Донской низменной равнине и Калачской возвышенности (левобережные притоки Дона и р. Хопер с притоками). Главная р. Дон является границей между указанными орографическими образованиями. Общая площадь Верхнего Дона составляет 143 500 км² [3], большая ее часть располагается в лесостепной зоне. Лесная растительность представлена широколиственными, смешанными и хвойными лесами. Леса располагаются отдельными массивами и островками. Природные условия – климат, рельеф, гидрогеологическое строение, почвы, растительность, озера, болота – в совокупности прямо или опосредованно определяют водность рек, а в динамике климата формируют отличительные черты современного гидрологического режима рек Верходонья [11].

Основные черты низкой водности и абсолютных минимумов летне-осенней межени формируются в условиях меняющегося климата, отчетливо увеличении температуры воздуха на европейской территории страны [12], а в бассейне Верхнего Дона – на фоне роста и среднегодовой температуры, и температуры теплого полугодия [3]. Осеннее замерзание рек все чаще смещается по времени на начало зимы, отодвигая тем самым границу окончания летне-осенней межени. Межень удлиняется за счет более позднего перехода температуры воздуха к устойчивым отрицательным значениям и более позднего ледообразования на реках. Одновременно в связи с увеличением продолжительности весеннего половодья на реках бассейна Дона [2, 4] наблюдаются изменения в начальной границе летне-осенней межени и ее приближение по времени к летним месяцам. В целом летне-осенняя межень увеличивается



по времени, также как и продолжительность половодья (рис. 1). Несмотря на то что линейный тренд статистически незначим, тенденция увеличения продолжительности межени фиксируется отчетливо, хотя и неустойчиво.

Второе десятилетие XXI в. отличается низкой водностью и почти отсутствием высоких половодий на большей части Верхнего Дона. Показательным и исключительно низким по водности и продолжительности стало половодье 2019 г. Уже в апреле в р. Дон отмечены уровни воды, характерные для периода летней межени. В связи с аномалией половодья начало летне-осенней межени перемещается на более ранние, по сравнению со средними многолетними, сроки. Это может привести к увеличению общей продолжительности межени и особенностям образования экстремумов водности при условиях сохранения среднестатистических сроков ледообразования.

В формировании абсолютных минимумов правобережных и левобережных притоков Дона отмечаются существенные различия. В период от начала наблюдений по 1970 г. включительно на гидростворах – г. Задонск и г. Лиски р. Дон, а также на всех правобережных притоках Дона абсолютный минимум приходится на сентябрь, несмотря на различную длительность периода от начала наблюдений (от 22 и до 90 лет). Исключение в данном периоде составила р. Тим, у которой август оказался самым низким по водности за 44 года наблюдений. В гидрологических пунктах Задонск, Ефремов, Беломестная, Елец самая низкая водность наступала в ноябре в 2–5 % случаев, а самая ранняя дата истощения приходилась на июнь в 2 % случаев (р. Дон – г. Задонск, р. Дон – г. Лиски), 25 % случаев (р. Тим – с. Новые Савины).

В следующем 30-летнем периоде от 1971 до 2000 гг., равновеликом по продолжительности для всех рек Верхнего Дона, в створах Задонск и Лиски р. Дон, р. Сосна – г. Елец абсолютный минимум водности сме-

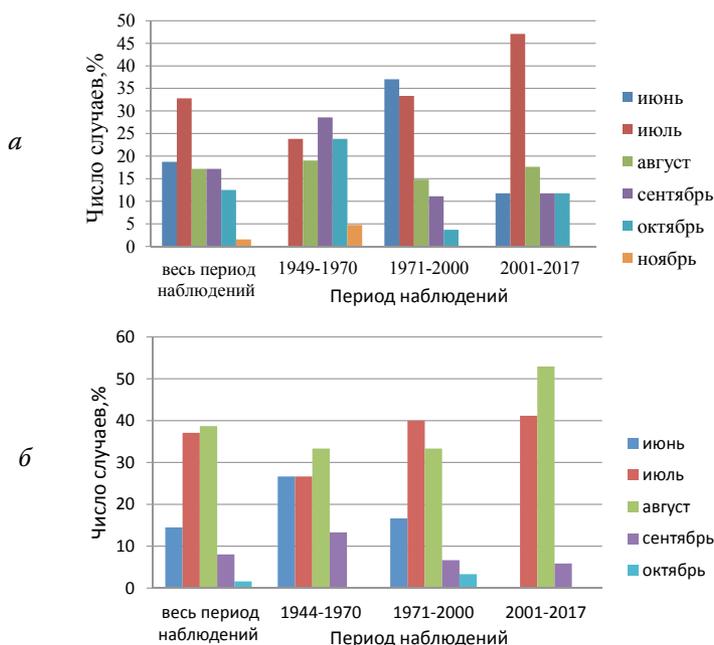


Рис. 2. Наступление абсолютных минимумов летне-осенней межени (с округлением до месяца) в р. Красивая Меча – г. Ефремов (а), р. Девица – с. Девица (б).

Fig. 2. Approach of the absolute lows of the summer-fall low water (with rounding-off to months): the Krasivaya Mecha River – Yefremov (a), the Devitsa River – Devitsa village (b).

стился на август. Таким образом, фиксируется более раннее истощение рек, обусловленное подземным питанием. В р. Сосна в пункте наблюдений Беломестная повторяемость исследуемой характеристики одинакова по значению в сентябре, августе и июле. В реках Красивая Меча и Тим установление абсолютного минимума произошло в июле, а р. Девица – в июле и с перевесом в 4 % – в июне. Таким образом, в последней трети прошлого столетия в реках правобережья Дона наблюдалось более раннее истощение водности рек, а, следовательно, и обмеление рек со сдвижкой в среднем на 1 месяц в сторону более ранних дат.

В XXI в., с 2001 по 2017 гг. наиболее часто самая низкая водность в реках формируется в августе, и только на гидропостах р. Красивая Меча – г. Ефремов, Дон – г. Задонск абсолютные минимумы выпадают на июль (рис. 2).

Сопоставление дат наступления абсолютных минимумов стока в периодах 1971–2000 и 2001–2017 гг. дает основание полагать, что наиболее существенные изменения в водности межени произошли в прошлом, а не в текущем столетии.

Даты наступления абсолютных минимумов водности левобережных притоков и правобережных притоков Дона не согласуются между собой: разброс дат образования абсолютных минимумов водности по месяцам у левобережных притоков более широкий, чем у правобережных притоков. На реках Битюг – с. Мордово, Подгорная – г. Калач в период по 1970 г. в качестве самого раннего месяца фигурирует май в 11 % случаев на р. Битюг и 7 % на р. Подгорная. К этим рекам левобережья Дона с очень ранним истощением водности следует отнести единственную реку из рассмотренных правобережных притоков – Тихую Сосну: в пункте наблюдения у г. Алексеевка в 4 % случаев низкий экстремум водности отмечен в мае. Наиболее часто повторяющимся месяцем, характеризующим самую низкую водность, в одинаковой мере являются август и сентябрь. Для р. Лесной Воронеж таким месяцем стал июль.

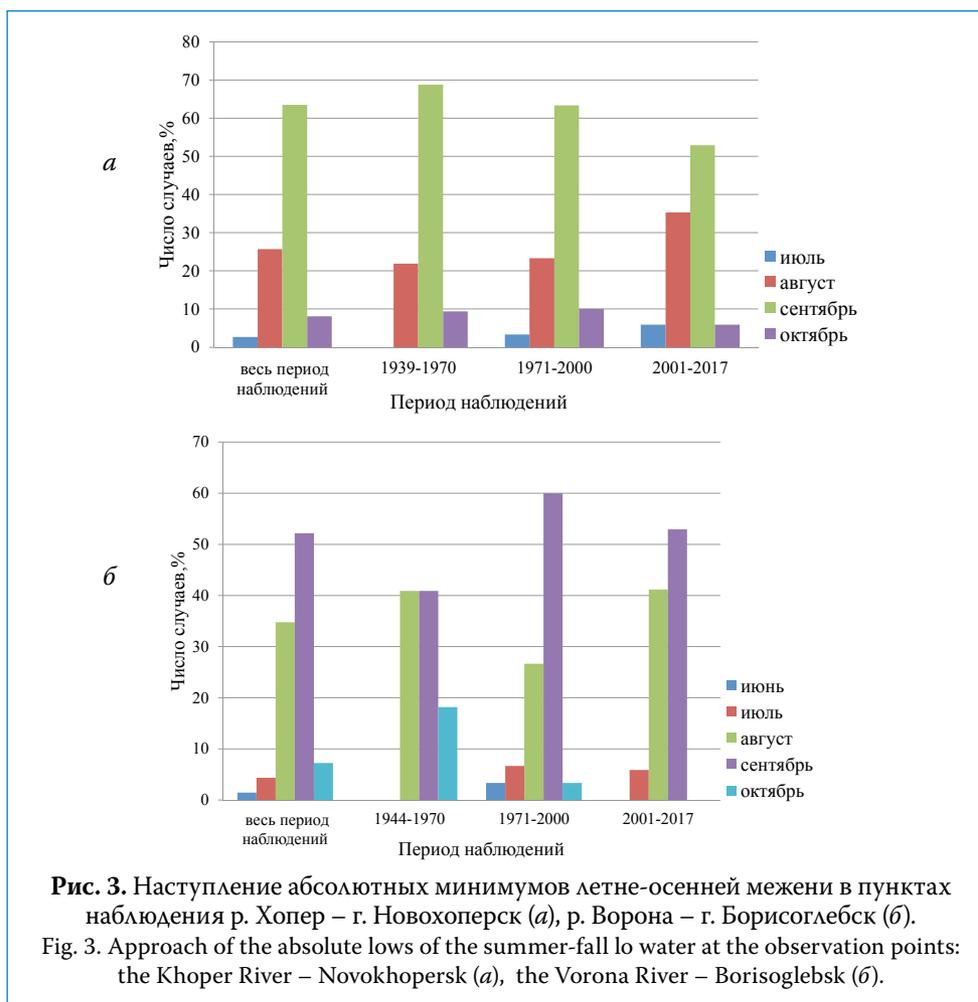
В последующий анализируемый период 1971–2000 гг. на реках Воронеж, Лесной Воронеж, Битюг, Чигла и Подгорная произошло смещение дат наступления абсолютных минимумов водности на месяц раньше (Бобров) или на один-два месяца позже (Липецк, Заворонежская, Калач), или повторился месяц предыдущего периода (Мордово, Первомайский). В качестве самого раннего месяца рассматриваемого события отмечается май (Мордово – 7 %, Калач – 13 %), самого позднего – ноябрь (Крутое – 5 %), во всех остальных пунктах наблюдения – октябрь (Заворонежская, Мордово) и даже сентябрь (Бобров, Первомайский).

В 2001–2017 гг. наиболее часто повторяющимся месяцем при анализе формирования абсолютных минимумов является август. При этом в пунктах Заворонежская, Крутое, Мордово произошла подвижка с сентября на август, в пунктах Бобров, Первомайский – на более поздний месяц с августа на сентябрь, а в пунктах Крутое и Калач повторился август предыдущего периода.

Отдельного рассмотрения требует р. Хопер с притоком Ворона. В верхней части Дона до границы Воронежской области гидрологический режим р. Хопер значительно отличается от режима собственно Дона и притоков Дона. В качестве объектов исследования выбраны р. Хопер с пунктами Поворино и Новохоперск и приток Хопра – р. Ворона с пунктами Чутановка и Борисоглебск, расположенными в Тамбовской и Воронежской областях.

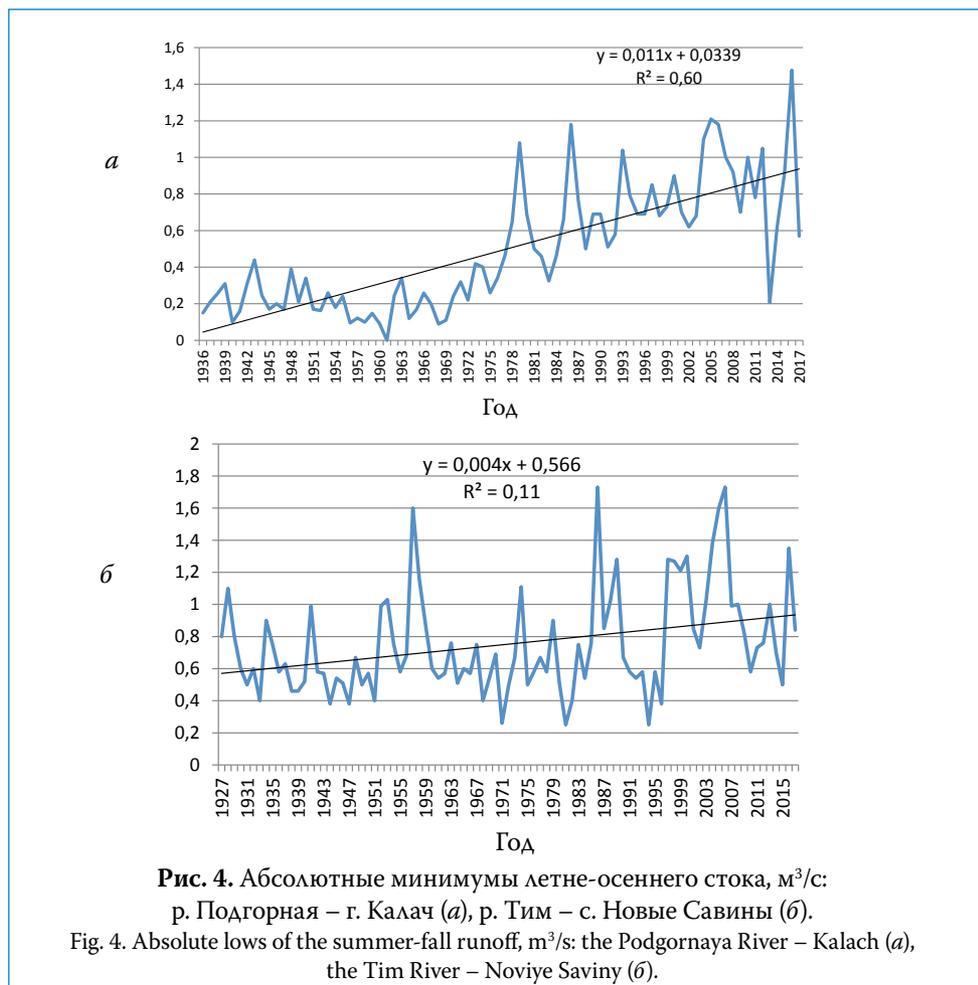
В пунктах наблюдений на реках Хопер и Ворона – г. Борисоглебск во все рассматриваемые периоды (до 1970 г., 1971–2000, 2001–2017 гг.) отмечается сентябрь в качестве приоритетного месяца наступления абсолютного минимума водности (рис. 3). В отдельные годы исключение составляет р. Ворона – с. Чутановка, где месяцем наибольшего истощения нередко выдается август.

Возможно, отсутствующие изменения в датах наступления абсолютных минимумов в бассейне Хопра объясняются слабой реакцией речного сто-



ка на современные климатические процессы. В бассейне Хопра, как и всей остальной части Верхнего Дона, наблюдается уменьшение объема половодья и весеннего стока, сокращение поверхностного питания талыми водами, но доля снегового питания еще достаточно высока и превышает 55–60 % [3, 4]. Во все рассматриваемые периоды отмечается приращение летнего и осеннего стока, что при сокращении весеннего стока частично компенсировало его снижение в годовом объеме.

Современные особенности формирования абсолютных минимумов стока летне-осенней межени, характеризующиеся в большинстве случаев смещением их к датам более раннего месяца по сравнению с предыдущими периодами, очевидно, объясняются изменением водного режима. Главной



причиной более раннего летне-осеннего истощения рек является сокращение объемов снегового половодья, несмотря на удлинение его продолжительности. Аномально низкое половодье 2019 г. сформировало еще более раннее летнее истощение водности рек.

Поверхностное питание в летне-осенний период незначительно, поскольку атмосферные осадки на две трети их объема затрачиваются на испарение. Даже реки, имеющие устойчивое подземное питание, мелеют и обезвоживаются, несмотря на слабую тенденцию увеличения летне-осеннего стока в бассейне Верхнего Дона (рис. 4).

Очевидно, что повышение как среднегодовой, так и сезонной температуры воздуха способствует потере влаги с поверхности водосбора и водного

зеркала, ускоряет снижение водности и смещает даты наступления экстремумов низкой водности.

Календарные подвижки в формировании абсолютных минимумов водности имеют определенные последствия для водопользования и экологического состояния водных объектов. Даже в средние по водности годы в летний сезон возможен дефицит водных ресурсов для водоснабжения предприятий. При более раннем естественном истощении рек разрыв между потребностью в воде и возможностями забора воды из водных объектов может увеличиваться до критического состояния.

С более ранним наступлением абсолютных минимумов воды, сопровождающихся неизбежным сокращением водности, снижается пропускная и самоочищающая способность рек. Если учесть, что практически все названные реки Верхнего Дона задействованы в водохозяйственном механизме и являются не только источниками водоснабжения, но и приемниками сточных вод, то экологическое равновесие в водном объекте нарушается. Объем загрязненных сточных вод, сбрасываемых в реки, достаточно высок. Так, в Воронежской области он достигает 42 % от общего сброса. В этом случае в водном объекте может сформироваться состояние, близкое к кризисному или даже катастрофическому [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе формирования минимумов водности летне-осенней межени в бассейне Верхнего Дона установлено три зоны, отличающиеся по времени наступления абсолютных минимумов (с округлением до месяца) летне-осеннего стока: р. Дон и правобережные притоки Дона; левобережные притоки; р. Хопер с притоками.

В р. Дон и ее правобережных притоках, протекающих в верховье Донского бассейна, наступление абсолютного минимума наблюдается в июле-августе. У левобережных притоков Верхнего Дона приоритетными месяцами наступления абсолютных минимумов водности летне-осенней межени являются август-сентябрь. В речной системе Хопра во все рассматриваемые периоды самая низкая водность формируется в сентябре, за исключением р. Ворона, для которой месяцем наименьшей водности является август.

Наиболее значимые изменения в смещении дат наступления абсолютных минимумов в р. Дон и правобережных притоков произошли в период 1971–2000 гг., эти тенденции закрепились в текущем столетии. В бассейне Хопра наблюдается плавное и постепенное, без резких смещений, наступление абсолютного минимума в пределах календарного месяца.

Изменения в формировании экстремально низкой водности необходимо учитывать при разработке схем водопользования в речном бассейне. В летние

месяцы, особенно напряженные по водопотреблению в сельскохозяйственных отраслях, может возникнуть разрыв между необходимым для надежного водоснабжения количеством воды и фактической водностью вследствие более раннего истощения водного объекта и более продолжительного периода исключительно низкой водности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.
2. Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 2017. 205 с.
3. Дмитриева В.А. Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющихся климата и хозяйственной деятельности. Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2015. 192 с.
4. Дмитриева В.А., Бучик С.В. Генезис максимумов водности рек и изменчивость водного режима в современный климатический период // Водное хозяйство России. 2016. № 5. 50–62.
5. Попов О.В. Подземное питание рек. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 291 с.
6. Курдов А.Г. Минимальный сток рек (основные закономерности формирования и методы расчета). Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1970. 252 с.
7. Владимиров А.М. Минимальный сток рек. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 214 с.
8. Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 296 с.
9. Филиппова И.А. Минимальный сток рек Европейской части России и его оценка в условиях изменения климата: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2014. 27 с.
10. Киреева М.Б., Илич В.П., Фролова Н.Л., Харламов М.А., Сазонов А.А., Михайлюкова В.Г. Вклад климатических и антропогенных факторов в формирование маловодного периода в бассейне р. Дон в 2007–2015 гг. // Геориск. 2017. № 4. С. 18–25.
11. Дмитриева В.А., Бучик С.В. Природные аномалии водности рек Верхнедонского бассейна и их гидроэкологические последствия / Естественные и технические науки. 2019. № 2 (128). С. 153–156.
12. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. Г.1.2. С. 37–72. Режим доступа: http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/html/1.htm (дата обращения: 20.08.2017).
13. Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Китаев Л.М. Негативные гидроэкологические ситуации // Известия РАН. Серия географическая. 1995. № 1. С. 43–53.

Для цитирования: Бучик С.В., Дмитриева В.А. Формирование абсолютных минимумов стока летне-осенней межени в бассейне Верхнего Дона // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 35–46

Сведения об авторах:

Бучик Светлана Васильевна, начальник отдела инженерно-экологических изысканий, ООО «Центр-Дорсервис», 394026, г. Воронеж, Московский пр., д. 5 а; e-mail: bychik_svetlana@mail.ru

Дмитриева Вера Александровна, д-р геогр. наук, профессор, кафедра природопользования, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО ВГУ), Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1; e-mail: verba47@list.ru

THE TIMING OF THE ONSET OF LOWS OF THE SUMMER-AUTUMN LOW WATER
IN THE BASIN OF THE UPPER DON

Svetlana V. Buchik¹, Vera A. Dmitrieva²

E-mail: E-mail: sv.buchik@gtt.vrn.ru

¹ LLC «Center-Dorservis», Voronezh, Russia

² Voronezh State University, Voronezh, Russia

Abstract: Considered the timing of the onset (with rounding up to a month) lows of the summer-autumn low water period in the basin of the Upper Don for the periods: from the beginning of the observations in the posts, before 1970, 1971-2000, 2001-2017. Three zones have been identified that differ in generation time of the absolute lows of water flow: the Don itself and the right-bank tributaries of the Don; the left-bank tributaries of the Don; a basin Hoper.

It is established that in the current century the absolute minimums of water flow are formed in the selected zones in July – August, August-September, mainly in September, respectively, which is about a month earlier than the dates observed before 1970. The main shifts in the onset dates of the investigated characteristic occurred in 1971-2000, fixed in the current century. In the Hoper basin, there is greater consistency in the onset of absolute lows of water flow than in the river system of the Upper Don. Despite the increase in the duration of high water and summer-autumn low water, as well as the tendency of increasing water content in the period of low runoff, there is a movement of formation dates of low extrema of water content to the beginning of summer-autumn low water.

The identified nature of the formation of absolute minimum is apparently the result of intra-annual redistribution of the flow and a response to the positive dynamics of air temperature, which directly or indirectly influences the hydrological processes in the river catchment area. Earlier summer depletion of rivers can contribute to increased risks of water use during the summer-autumn low-water period, adversely affect the agricultural sectors focused on the use of water for agricultural water supply, significantly change the quality of water in water bodies and create environmental tensions in the basin.

Key words: the Upper Don, low water, the absolute minimum flow, water use, hydroecological risks.

About the authors:

Svetlana V. Buchik, ООО «Tsentr-Dorservis», Head of the Department of Engineering/ecological Surveys, Moskovskiy Pr., 5, Voronezh, 394018, Russia; e-mail: bychik_svetlana@mail.ru

Vera A. Dmitrieva, Doctor of Geographic Sciences, Professor, Chair of Nature Use, Voronezh State University, Universitetskaya Ploshchad, 1, Voronezh, Russia; e-mail: verba47@list.ru

For citation: Buchik S.V., Dmitrieva V.A. *The Timing of the Onset of Lows of the Summer-Autumn Low Water in the Basin of Upper Don // Water Sector of Russia. 2019. No. 6. P. 35–46.*

REFERENCES

1. Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie [Water resources of Russia and their use] / Red. I.A. Shiklomanov. Saint-Petersburg, GGI. 2008. 600 s. (in Russian)

2. *Dzhamalov R.G., Kireyeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L.* Vodnie resursi basseina Dona i ih ekologicheskoe sostoyanie [Water resources of the Don River basin and their ecological status]. Moscow, GEOS, 2017. 205 p.
3. *Dmitrieva V.A.* Vodnie resursi Voronejskoi oblasti v usloviyah menyayuschihsya klimata i hozyaistvennoi deyatelnosti [Water resources of Voronezh Oblast in the conditions of changing climate and economical activities]. Voronezh, Izdatelskii dom VGU, 2015. 192 p.
4. *Dmitrieva V.A., Buchik S.V.* Genезis maksimumov vodnosti rek i izmenchivost vodnogo rezhima v sovremennii klimaticheskii period [Genesis of the rivers' water content maximums and the water regime variability in contemporary climatic period]. *Vodnoe hozyaistvo Rossii: problems, technologies, management*, 2016. No. 5. Pp. 50–62.
5. *Popov O.V.* Podzemnoe pitanie rek [Underground replenishment of rivers]. L.: Gidrometeoizdat, 1968. 291 p.
6. *Kurdov A.G.* Minimal'nyi stok rek (osnovnie zakonomernosti formirovaniya i metodi rascheta) [Minimal water flow (the main regularities of formation and methods of calculation)]. Voronezh: Izdatel'stvo Voronezh. gos. un-ta, 1970. 252 p.
7. *Vladimirov A.M.* Minimal'nyi stok rek [Minimal water flow]. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 214 p.
8. *Vladimirov A.M.* Stok rek v malovodniy period [River flow during the low-water period]. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 296 p.
9. *Filippova I.A.* Minimal'nyi stok rek Evropeiskoi chasti Rossii i ego otsenka v usloviyah izmeneniya klimata [The European part of Russia minimal river flow and its assessment in the conditions of climate change]: avtoref. diss.... kand. geogr. nauk. M., 2014. 27 p.
10. *Kireeva M.B., Ilich V.P., Frolova N.L., Harlamov M.A., Sazonov A.A., Mihailyukova V. G.* Vklad klimaticheskikh i antropogennikh faktorov v formirovanie malovodnogo perioda v basseine r. Don v 2007–2015 gg [Climatic and anthropogenic factors' contribution to the low-water period formation in the Don River basin in 2007-2015]. *Georisk*, 2017. Pp. 18–25.
11. *Dmitrieva V.A., Buchik S.V.* Prirodnie anomalii vodnosti rek Verkhnedonskogo basseina i kih gidroekologicheskie posledstviya [The natural river content anomalies in the Upper don basin and their hydro/ecological consequences] / *Estestvennie i tehnikheskie nauki*. 2019. No 2 (128). Pp. 153–156.
12. Vtoroi otsynochnii doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territoriyi Rossiiskoi Federatsiyi [The second estimation report on the climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation. M., Rosgidromet, 2014. G.1.2 Pp. 37–72 Dostupno po ssylke: http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/htm/1.htm (data obrashcheniya: 20.08.2017).
13. *Koronkevich N.I., Zaiceva I.S., Kitaev L.M.* Negativnie gidroekologicheskie situatsiyi [Negative hydro/ecological situations] / *Izvestiya RAN*, 1995. № 1. Pp. 43–53.

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

WATER RESOURCES MANAGEMENT



НАВОДНЕНИЯ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ 2019 ГОДА

А.В. Шаликовский^{1,2}, **А.П. Лепихин**^{3,4,5}, **А.А. Тиунов**^{3,4},
К.А. Курганович^{1,2}, **М.Г. Морозов**⁶

E-mail: vostokniivh@mail.ru

¹ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, г. Чита, Россия

² ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, Россия

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

⁴ «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия

⁵ ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, Россия

⁶ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ: В статье представлены результаты исследования причин наводнений летом 2019 г. в Иркутской области, от которых пострадало более 100 населенных пунктов, а ущерб превысил 35 млрд руб. В наибольшей степени последствия наводнений ощутили на себе города Тулун и Нижнеудинск, расположенные на реках Ия и Уда.

Установлено, что формирование экстремальных паводков было обусловлено действием природных причин – редким сочетанием синоптических факторов с высокой предшествующей увлажненностью водосборов. Антропогенные факторы оказали незначительное влияние. Моделирование позволило выяснить причины формирования необычного паводка в бассейне р. Ия и восстановить хронологию затопления г. Тулун. С применением спектрального анализа космических снимков по индексу MNDWI автоматически идентифицированы объекты, подвергшиеся затоплению. Значительный ущерб от наводнений был обусловлен не только высотой паводков, но и системными проблемами водохозяйственной деятельности. Разработаны рекомендации по снижению риска наводнений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: наводнения, ущерб от наводнений, дождевые паводки, максимальный сток, факторы стока, трансформация паводков, модель формирования стока, модель затопления.

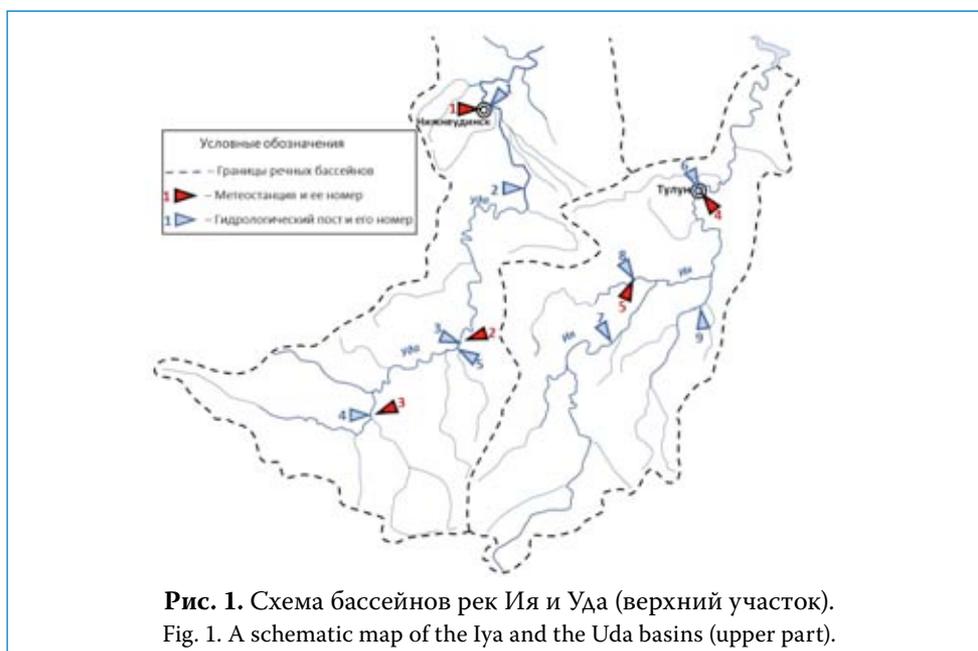
Летом 2019 г. в Иркутской области наблюдались две волны катастрофических паводков. В конце июня от наводнения пострадало 109 населенных

© Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г., 2019

пунктов в 10 районах, расположенных в левобережной части бассейна р. Ангары. Через месяц очередное наводнение затронуло 58 населенных пунктов, большинство повторно, но и также поселения в Слюдянском районе на юго-западном побережье оз. Байкал, где выпало до 500 мм осадков (на метеостанции Хамар-Дабан за 25–29 июля 545 мм, из них 305 мм – за 28 июля).

В результате двух наводнений паводковыми водами унесено 1311 домов, 4191 домов признаны непригодными для проживания, 3846 – подлежащими ремонту. Предварительная сумма ущерба составила 35,152 млрд руб., из них 10,8 млрд руб. – потери от утраченного жилья, 20 млрд руб. – ущерб социальным, административным, инфраструктурным объектам [1]. Погибли 25 человек, 6 числятся пропавшими без вести.

В наибольшей степени от наводнений пострадали города Тулун и Нижнеудинск, расположенные в депрессиях Предсаянского предгорного прогиба – Ийской и Удинской грабенах. Источниками затопления являлись, соответственно, реки Ия и Уда, берущие начало на северных склонах Восточного Саяна (рис. 1). До створов расположения рассматриваемых городов площади водосборов этих рек различаются незначительно, но другие характеристики (тип водного режима, продольные профили и др.) существенно отличаются (табл. 1, рис. 2, рис. 3), что определило и значительные различия в характере их затопления. В июньское наводнение подъем уровня воды р. Уда в г. Нижнеудинск над предпаводковым составил 3,65 м, а р. Ия в г. Тулун – 8,83 м и сопро-

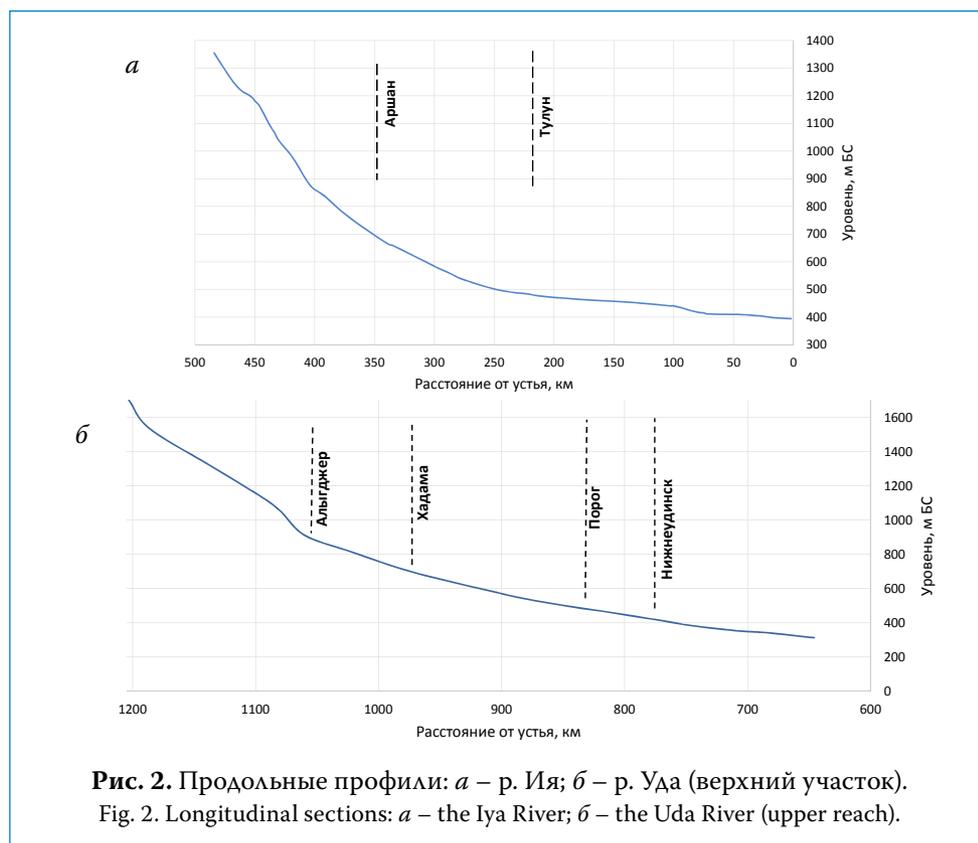


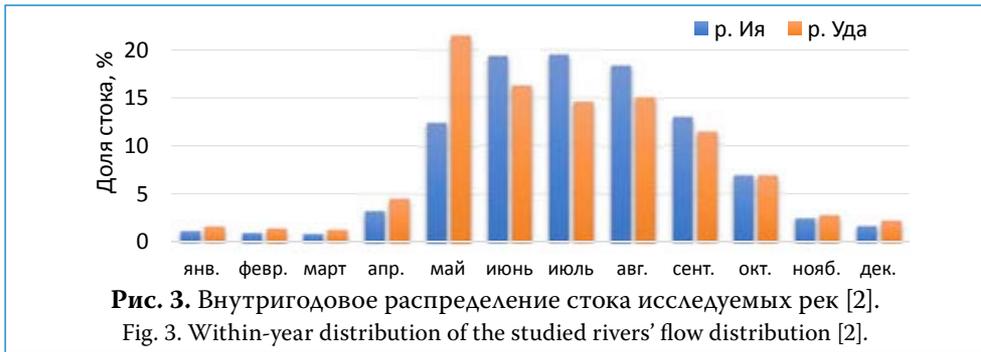
вождался переливом воды через защитные дамбы и образованием залама в отверстии автодорожного моста из остатков унесенных строений и корчей.

Таблица 1. Характеристики рек Ия и Уда

Table 1. Characteristics of the Iya River and the Uda River

| Характеристика | р. Ия (г. Тулун) | р. Уда (г. Нижнеудинск) |
|-------------------------------------------|---------------------|----------------------------|
| Площадь водосбора, тыс. км ² | 14,5 | 15,8 |
| Средняя высота водосбора, м БС | 1007 | 1293 |
| Средний уклон водной поверхности (рис. 2) | 0,0025 | 0,003 |
| Тип водного режима (рис. 3) | Дальневосточный | Восточно-Сибирский |





МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи с инициативным характером данного исследования в качестве исходных данных использованы общедоступные средства получения информации:

- метеорологические данные по станциям наблюдений, передаваемые во Всемирный центр метеоданных (NOAA);
- справочная информация об уровне рек (All Rivers.Info) по гидропостам в городах Тулун и Нижнеудинск;
- информация, опубликованная на сайтах муниципальных образований, в т. ч. оперативные данные об уровнях рек;
- космические снимки свободного доступа и др.

В исследуемых бассейнах выше Тулуна и Нижнеудинска расположено 7 гидрологических постов, на двух из которых (пос. Аршан и с. Уйгат) также проводятся метеонаблюдения (табл. 2). В информационных системах свободного доступа результаты мониторинга по всем постам отсутствуют.

Таблица 2. Действующие гидрологические посты в бассейнах рек Уда и Ия
Table 2. Active hydrological posts in the Uda and Iya basins

| № на рис. 1 | Река | Наименование поста | Расстояние от устья, км | Площадь водосбора, км | Открыт | Отметка «0» поста, м БС | Метеонаблюдения |
|----------------|--------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------|
| Бассейн р. Уда | | | | | | | |
| 1 | Уда | Нижнеудинск | 758 | 15 800 | 01.01.1934 | 401,35 | – |
| 2 | Уда | Порог | 817 | 13 600 | 16.10.1988 | 467,85 | – |
| 3 | Уда | Хадама | 970 | 9760 | 29.12.1965 | 697,40 | – |
| 4 | Уда | Алыгджер | 1062 | 4980 | 23.10.1937 | 912,57 | – |
| 5 | Хадама | Хадама | 0,6 | 419 | 01.07.1973 | 697,41 | – |
| Бассейн р. Ия | | | | | | | |
| 6 | Ия | Тулун | 119 | 14500 | 04.08.1920 | 448,91 | – |
| 7 | Ия | Аршан | 292 | 5140 | 12.05.1941 | 572,42 | + |
| 8 | Икей | Икей | 18 | 2400 | 01.11.1944 | н/д | – |
| 9 | Кирей | Уйгат | 22 | 2950 | 17.06.1949 | 483,92 | + |

В связи с недостатком данных, для анализа паводковой ситуации летом 2019 г. были применены результаты дистанционного зондирования Земли и методы математического моделирования. Для автоматизации выделения затопленных территорий использовался спектральный анализ космических снимков миссии Sentinel-2 Европейского космического агентства (ESA Copernicus) с вычислением модифицированного нормализованного разностного водного индекса MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) [3]:

$$MNDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{Green} + \rho_{SWIR}}, \quad (1)$$

где ρ_{Green} и ρ_{SWIR} – интенсивность излучения в зеленом и коротковолновом инфракрасном участках спектра.

Для спутника Sentinel-2 MNDWI определялся с использованием 3 и 11 спектральных каналов:

$$MNDWI = \frac{\rho_{band3} - \rho_{band11}}{\rho_{band3} + \rho_{band11}}, \quad (2)$$

где ρ_{band3} и ρ_{band11} – интенсивность излучения в 3 и 11 спектральных каналах Sentinel-2.

Граница определения водных поверхностей по MNDWI проходит через ноль, значения индексов больше нуля соответствуют водным поверхностям. Пространственное разрешение зеленого канала Sentinel-2 равно 10 м, коротковолнового инфракрасного – 20 м, поэтому для вычисления индекса предварительно производилось повышение разрешения изображения инфракрасной области до 10 м методом билинейной интерполяции. Для моделирования формирования стока в бассейне р. Ия использовали программный комплекс RiverFlow2D GPU компании Hydronia LLC, представляющий собой двумерную модель, которая позволяет учитывать осадки, испарение и инфильтрацию воды [4].

Для описания участка водосбора р. Ия до г. Тулуна построена модель с применением треугольной нерегулярной сетки со средней длиной ребра элемента 100 м. Количество элементов сетки составило 3 157 429 при числе узлов сетки 1 581 521. Характерные размеры модели стока воды: длина – около 200 км, ширина – от 70 до 110 км, общая площадь модели – около 13 656 км². Для задания морфометрии использована цифровая модель рельефа (ЦМР) местности из базы данных SRTM 30 [5] со средним пространственным разрешением около 50 м. При моделировании процесса формирования стока не учитывались инфильтрация и испарение, т. к. в июне 2019 г. в рассматриваемом районе наблюдалась дождливая погода (рис. 4), приведшая к переувлажнению почв.

Период моделирования составил 8 суток – с 25 июня по 2 июля, из них первые трое суток с осадками, остальные – без осадков. Распределение осадков было принято равномерным по всей площади бассейна.



Моделирование хода затопления г. Тулун проводили с использованием модели в среде RiverFlow 2D GPU [4] со следующими характеристиками: средняя длина ребра элемента треугольной нерегулярной сетки – 10 м; количество элементов сетки – 401 570 при числе узлов сетки 201 984. Характерные размеры модели затопления: длина – около 10 км, ширина – от 1 до 6 км, общая площадь модели – около 23,5 км². Цифровая модель рельефа (ЦМР) местности получена путем оцифровки карт свободного доступа с уточнением расположения берегов р. Ия и защитных дамб по космическим снимкам. Автомобильный мост задан схематично – в виде горизонтальной балки с 9 опорами шириной 2 м.

Для моделирования волны паводка использовали фактически наблюдаемые уровни воды в г. Тулун (рис. 4) и соответствующие расходы, восстановленные по кривой $Q(H)$. Период моделирования составил 15 сут: с 25 июня по 9 июля. Ветер, осадки, испарение, инфильтрация не учитывались в связи с малой долей моделируемой площади по отношению к площади водосбора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

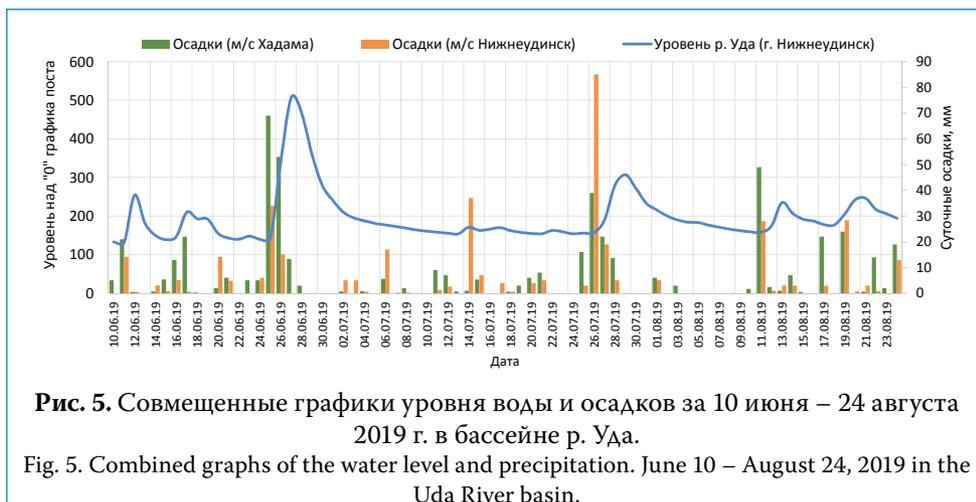
Основной причиной катастрофических паводков в конце июня стали обильные осадки, т. к. с 25 по 27 июня верховья бассейнов рек Ия и Уда находились в центре малоподвижного циклона. За эти дни в с. Икей и пос. Аршан, расположенных в предгорной области бассейна р. Ия, выпало соответственно 218 и 250 мм осадков (более трех месячных норм [6]), а в г. Тулун – 85 мм (на 30 % больше месячной нормы). Метеостанции в бассейне р. Уда зафиксировали за 25–28 июня 91 мм дождя (г. Нижнеудинск) и 112 мм (м/с Хадама). Существенными факторами формирования паводков также являлись высокая увлажненность бассейна и накопление значительных запасов воды в

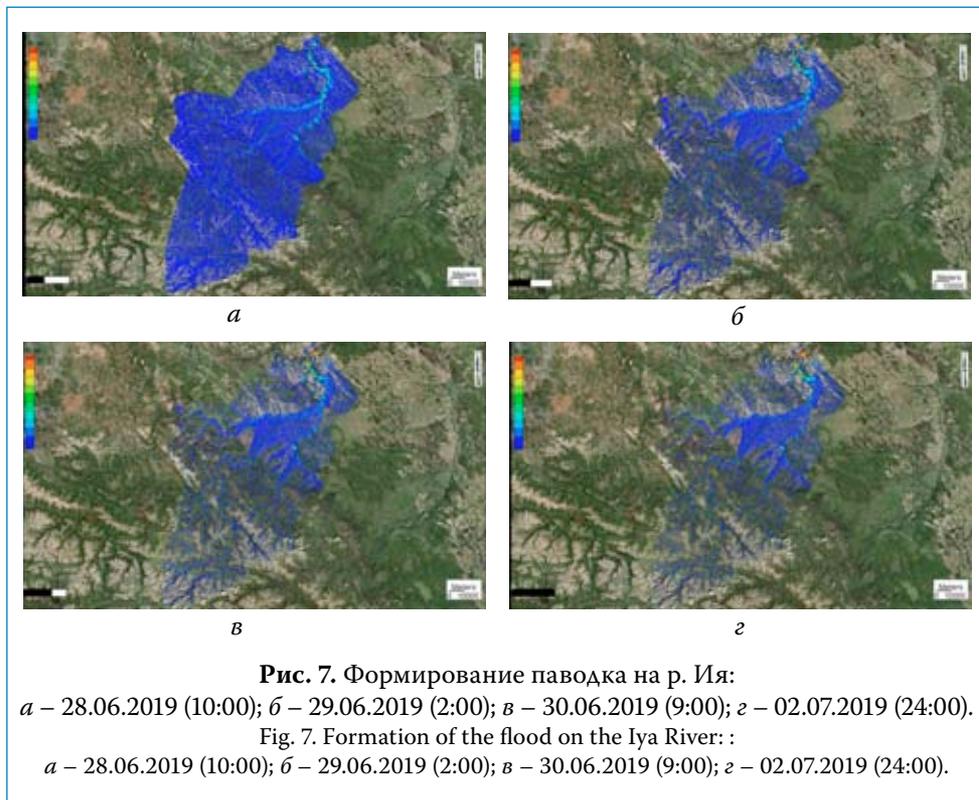
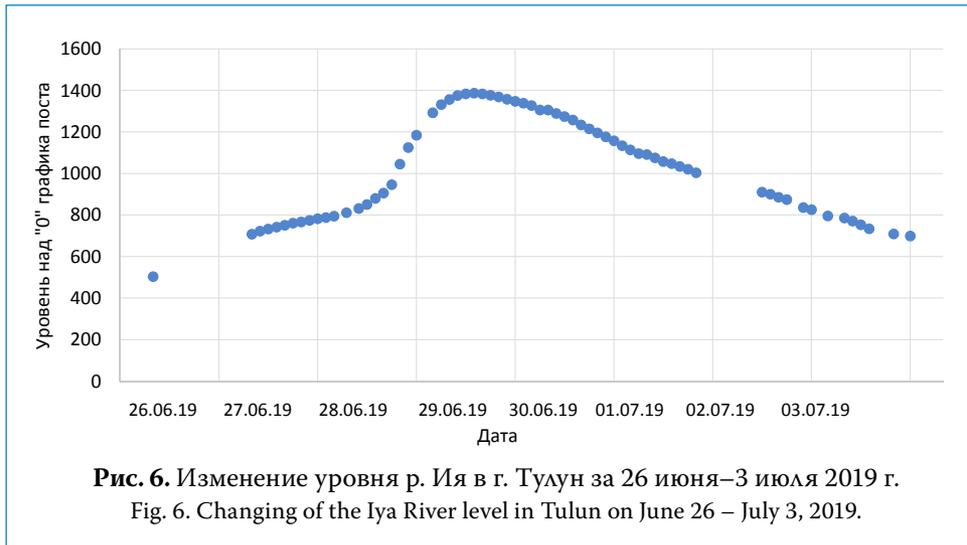
русловой сети. Эти условия были обусловлены прохождением двух циклонов в предшествующие две недели, которые вызвали подъемы уровня воды до двух метров в Тулуне (рис. 4) и 1,5 м в Нижнеудинске (рис. 5). Уровень воды в р. Ия в г. Тулун 18 июня достигал отметки 649 см (при критическом уровне 700 см), а в р. Уда в г. Нижнеудинск – 254 см (при критическом – 320 см).

В Интернет-изданиях также указываются и другие причины рассматриваемого наводнения: таяние снега в высокогорных районах, вырубка леса и ряд «народных» версий. Первые две причины действительно имели место. Так, анализ космических снимков свидетельствует, что остатки снежного покрова еще сохранялись на высокогорных участках, но их площадь составляла десятые доли процента площади водосборов. По данным сайта Global Forest Change [7], уменьшение залесенности за 2000–2018 гг. составило 3–4 % (преимущественно в районе Тулуна). Таким образом, влияние данных факторов во много раз ниже, чем точность оценки количества осадков, выпавших в разных частях бассейнов рек Ия и Уда.

Распространенная «народная» версия о подпоре р. Ия Братским водохранилищем несостоятельна, т. к. по данным РусГидро [8], с 25 по 29 июня уровень водохранилища повысился на 27 см – с 396,61 до 396,88 м, что на 65,9 м ниже максимального уровня р. Ия в г. Тулун. Беспочвенными являются и другие подобные версии наводнения.

Подъем уровня воды в р. Уда у Нижнеудинска начался сразу после начала сильных дождей (25 июня) и за сутки повысился на 198 см, превысив на 20 см критический уровень. 27 июня он достиг максимума в 507 см, а затем начал снижаться. Продолжительность пика паводка с уровнями выше критического составила около 3,5 сут (рис. 5).





Совершенно иной характер имел паводок на р. Ия. Подъем уровня воды у г. Тулун начался через сутки после начала дождя, за сутки он повысился на 205 см (рис. 4). В последующие сутки скорость подъема уменьшилась и в среднем составляла 4,5 см/ч. Днем 28 июля начался интенсивный рост уровня воды с максимальной скоростью в период с 18 до 20 ч, когда уровень воды поднялся на 99 см и достиг отметки 1045 см над «0» графика поста. Подъем уровня воды продолжался еще 18 ч и днем 29 июля достиг максимума – 1387 см (рис. 6). Уровни воды выше критического значения наблюдались около 7 сут.

Подъем уровня р. Ия в г. Тулун продолжался около 80 ч, что вдвое дольше, чем на р. Уда у г. Нижнеудинск. Результаты моделирования паводка (рис. 7), свидетельствуют, что фронт паводочной волны продвигался довольно медленно (в среднем 0,6 м/с). Такой характер формирования паводка обусловлен тем, что долина р. Ия после выхода из гор (пос. Аршан) до г. Тулун очень широкая, часто сливается с заболоченными междуречьями. Русло сильно разветвленное, пойма широкая, заболоченная, местами ее ширина достигает 13–20 км. Уклон свободной поверхности воды на 150-километровом участке перед Тулуном составляет в среднем 0,0004.

На заполнение очень широких пойм было израсходовано огромное количество воды, что трансформировало паводок и значительно растянуло его по времени. Таким образом, на первую волну паводка, сформированную с водосборной площади вблизи Тулуна, наложилась вторая волна с верховий реки. На рис. 8 представлен смоделированный гидрограф второй паводковой волны р. Ия перед г. Тулун, на котором значения расхода даны без учета предшествующих запасов воды в русловой сети.

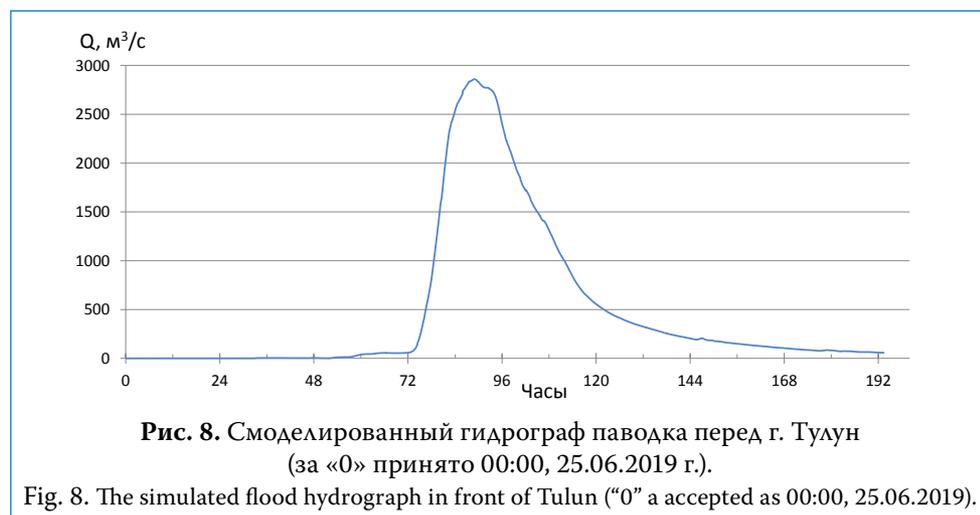




Рис. 9. Затопление г. Тулун по результатам моделирования:
а – 25.06.2019 (06:00); *б* – 29.06.2019 (14:00); *в* – 30.06.2019 (5:00); *г* – 08.07.2019 (15:00).
Fig. 9. Flooding of Tulun according to the simulation results:
a – 25.06.2019 (06:00); *b* – 29.06.2019 (14:00); *v* – 30.06.2019 (5:00); *z* – 08.07.2019 (15:00)

Несмотря на принятые при моделировании достаточно грубые допущения, его результаты хорошо согласуются с результатами наблюдений (рис. 6): ошибка вычисления времени прохождения пика паводка составляет менее 15 % и может быть значительно уменьшена путем калибровки модели. Но даже без уточнения модели результаты расчетов характеризуют специфические особенности формирования высоких паводков в бассейне р. Ия (в створе г. Тулун) – плавное повышение уровня при формировании стока с водосборной площади вблизи Тулуна, переходящее в интенсивное после прихода волны паводка с верховий реки. Данный вывод подтверждается условиями формирования предшествующих катастрофических паводков. Например, в 1980 г. прохождение паводка контролировалось в нескольких створах данного участка [9] и средняя скорость продвижения фронта паводочной волны составила 0,45 м/с на участке от пос. Аршан до с. Евдокимово и 0,64 м/с от с. Евдокимово до г. Тулуна.

На рис. 9 представлены фрагменты результатов моделирования наводнения в г. Тулун, которые, в частности, свидетельствуют о том, что пропускная способность автодорожного моста является недостаточной для пропуска такого паводка, даже при отсутствии сформировавшегося залома. Перелив воды через гребень дамб привел к быстрому затоплению «защищен-



Рис. 10. Затопление г. Тулун по результатам спектрального анализа космических снимков (по индексу MNDWI).

Fig. 10. Flooding of Tulun according to satellite images spectral analysis (by MNDWI index).

ных» территорий и к катастрофическим разрушениям зданий. Разрушения были вызваны не столько большой глубиной затопления, сколько быстрым подъемом уровня воды. В этих условиях вода не успевала поступать внутрь домов: строения либо всплывали под действием выталкивающей «архимедовой» силы, либо были раздавлены гидростатическим давлением (в некоторых странах для уменьшения ущерба действуют правила о необходимости закрепления домов от всплытия и устройства специальных отверстий для быстрого затопления внутренних помещений [10]). На рис. 10 представлены результаты спектрального анализа космических снимков по индексу MNDWI, вычисленного по формуле (2). Данный подход позволяет автоматически идентифицировать все объекты, подвергшиеся затоплению.

Следует отметить, что в рамках данного исследования не установлено влияние изменения климата на формирование катастрофического паводка, что также широко обсуждается в СМИ:

– во-первых, в зависимости от продолжительности выборки можно «доказать» различные тенденции (рис. 11) и даже, несмотря на обилие осадков в 2018–2019 гг., сохраняется тренд на их уменьшение;

– во-вторых, литературные источники свидетельствуют о том, что до организации гидрологических наблюдений на рассматриваемых реках наблюдались аналогичные паводки [11]. Например, в 1912 г. в Нижнеудинске уровень воды в р. Уда превышал максимальный уровень 2019 г. на 2 м;

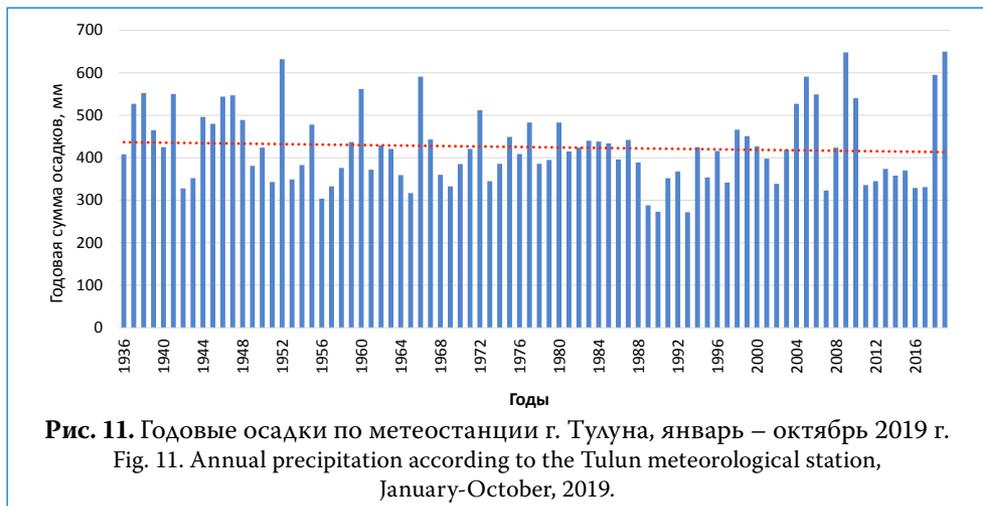
– в-третьих, конструкция железнодорожных мостов над уровнем рек Ия и Уда свидетельствует о наличии данных об уровнях высоких вод при их строительстве, превышающих уровни паводка 2019 г. Например, по данным [12], превышение фермы моста через р. Иркут принято 1,11 саж. (2,37 м) над максимальным уровнем. Можно предположить, что аналогичные показатели были приняты и для исследуемых рек, т. к. площади их водосборов практически равны бассейну р. Иркут (15,78 тыс. км²).

Таким образом, катастрофический паводок в июне 2019 г. был в основном обусловлен редким сочетанием синоптических факторов с высокой предшествующей увлажненностью водосборов. Это подтверждается еще рядом фактов:

– в конце июля-начале августа 2019 г. в Тулуне выпало на 60 % больше осадков, однако максимальный уровень р. Ия в результате другого сочетания факторов был на 2,62 м ниже, чем в конце июня (рис. 4);

– наводнения в рассматриваемых бассейнах наблюдаются не только в годы с экстремальной, но и со средней водностью (1944, 1959, 1962, 1980, 1984 г.).

Одним из факторов значительных потерь от паводков 2019 г. является заниженный уровень опасности наводнений данной территории. Так, в [13, 14]



Иркутская область отнесена к числу субъектов Федерации со средней опасностью наводнений (третий класс из шести). В [15] верховья рек Ия и Тулун отнесены к территориям с уровнем опасности наводнений от значительного до высокого, но города Тулун и Нижнеудинск расположены в районе «средне-значительной» опасности. И только в [16] Тулун попал в категорию территории с высокой, а Нижнеудинск – очень высокой опасности.

ВЫВОДЫ

Формирование экстремальных паводков в Иркутской области летом 2019 г. было обусловлено действием природных причин – редким сочетанием синоптических факторов с высокой предшествующей увлажненностью водосборов. Антропогенное влияние от снижения залесенности имело место, но было во много раз ниже, чем точность оценки количества осадков. Влияние изменения климата на формирование катастрофического паводка не установлено.

Выполненное моделирование позволило охарактеризовать причины формирования необычного гидрографа паводка в бассейне р. Ия. На заполнение широких пойм ниже п. Аршан было израсходовано огромное количество воды, поэтому сток с верховий реки длительное время не участвовал в формировании паводка у г. Тулун. В начальной фазе наблюдалось плавное повышение уровня за счет стока с водосборной площади вблизи Тулуна, которое перешло в интенсивное после прихода волны паводка с верховий реки.

Высокий ущерб от наводнений обусловлен не только высотой паводков, но и системными проблемами [17]: застройкой опасных территорий, отсутствием границ затопления, низким охватом индивидуальных строений страхованием, игнорированием населением потенциальной опасности, недостаточной точностью прогнозов. Для снижения риска наводнений рекомендуется:

- на период установления границ затопления ввести запрет на строительство в пределах территорий, затопленных летом 2019 г.;
- разместить сеть доплеровских метеорологических радиолокаторов с охватом стокоформирующих районов Восточных Саян;
- организовать гидрологический пост на р. Ия выше г. Тулуна;
- ограничить застройку территорий, защищенных дамбами, т. к. со временем математическое ожидание ущерба от наводнений на таких территориях начинает быстро возрастать за счет роста стоимости недвижимости [18];
- внести коррективы в механизмы «дачной амнистии», под прикрытием которой продолжается застройка паводкоопасных территорий (строительство дорогостоящего жилья на садовых участках с последующей их легализацией).

Наводнения в Иркутской области вновь продемонстрировали продолжающееся преобладание мер по «борьбе» с наводнениями по соотношению с мерами по адаптации к естественным процессам периодического зато-

пления прибрежных территорий, в т. ч. и редкой повторяемости. Это стимулирует сохранение иждивенческих настроений населения, базирующихся на убеждении, что только государство обязано возмещать ущерб от стихийных бедствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ущерб от наводнений в Иркутской области предварительно оценили в 35 млрд рублей // ИНТЕРФАКС. 22.08.2019. Режим доступа: <https://reality.interfax.ru/ru/news/articles/108937/> (дата обращения: 28.08.2019).
2. R-ArcticNET (A Regional, Electronic, Hydrographic Data Network For the Arctic Region) // Water Systems Analysis Group. Режим доступа: <http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html> (дата обращения: 26.07.2019).
3. Xu H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. № 27. P. 3025–3033.
4. Reference Manual «RiverFlow2D Two-Dimensional River Dynamics Model» August, 2016, Hydronia LLC. Режим доступа: <http://www.hydronia.com> (дата обращения: 24.05.2018).
5. SRTM 90m DEM Digital Elevation Database. Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения: 03.07.2019).
6. Паводок в Иркутской области побил рекорды за весь период наблюдений // РИА Новости. 08.07.2019. Режим доступа: <https://ria.ru/20190708/1556299303.html> (дата обращения: 09.07.2019).
7. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. No. 6160. P. 850–853. Режим доступа: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
8. Изменения уровней водохранилищ ГЭС // РусГидро. Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer> (дата обращения: 05.09.2019).
9. Таратунин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации / под ред. Н.И. Коронкевича. Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2008. 432 с.
10. Шаликовский А.В., Курганович К.А. Управление риском наводнений в мире и в Российской Федерации // Вестник Забайкальского государственного университета. 2012. № 5. С. 21–31.
11. Зайков Б.Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 134 с.
12. Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. Сведения о мостах на водных путях Российской Империи. Вып. 40. СПб., 1913. 364 с.
13. Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России. 2012. № 2. С. 29–46.
14. Frolova, N.L., Kireeva, M.B., Magrickiy, D.V. et al. Hydrological hazards in Russia: origin, classification, changes and risk assessment // Natural Hazards. 2017. Vol. 88. No. S1. P. 103–131.

15. Географические закономерности гидрологических процессов юга Восточной Сибири / А.Н. Антипов, Н.В. Абасов, Т.В. Бережных и др. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2003. 208 с.
16. *Кичигина Н.В.* Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 41–51.
17. *Shalikovskiy A., Kurganovich K.* Flood hazard and risk assessment in Russia // *Natural Hazards*. 2017. Vol. 88. No. S1. P. 133–147.
18. *Шаликовский А.В.* Риск наводнений: методы оценки и картографирования // Водное хозяйство России. 2012. № 2. С. 68–78.

Для цитирования: Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г., Наводнения в Иркутской области 2019 года // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 48–65.

Сведения об авторах:

Шаликовский Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, директор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30; профессор, кафедра водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30; e-mail: vostokniivh@mail.ru

Лепихин Анатолий Павлович, д-р геогр. наук, профессор, директор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; заведующий лабораторией 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; профессор, кафедра гидрологии и охраны водных ресурсов, ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ПГНИУ), Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: lepin49@mail.ru

Тиунов Алексей Александрович, ведущий инженер-программист, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; 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; e-mail: alexey.tiunov@gmail.com

Курганович Константин Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Восточный филиал, Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30; заведующий кафедрой, кафедра водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности,

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30; e-mail: nartheodor@mail.ru

Морозов Михаил Григорьевич, канд. техн. наук, заведующий отделом научно-методического обеспечения эксплуатации водохозяйственных систем, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: mg_frost@mail.ru

THE 2019 FLOODS IN IRKUTSK REGION

Andrey V. Shalikovskiy^{1,2}, **Anatoliy P. Lepikhin**^{3,4,5}, **Alexey A. Tiunov**^{3,4},
Konstantin A. Kurganovich^{1,2}, **Mikhail G. Morozov**⁶

E-mail: vostokniivh@mail.ru

¹ *Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Eastern Branch, Chita, Russia*

² *Transbaikalian State University, Chita, Russia*

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

⁴ *Russian Academy of Sciences Ural Branch Institute of Mining, Perm, Russia*

⁵ *Perm State National Research University, Perm, Russia*

⁶ *Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Ekaterinburg, Russia*

Abstract: The article presents the results of a study of the causes of floods in the summer of 2019 in the Irkutsk region, which affected more than 100 settlements, and the damage exceeded 35 billion rubles. Tulun City and Nizhneudinsk City located on the Ija River and the Tulun River, suffered the most from floods.

The authors have found that the formation of extreme floods was due to the action of natural causes, that is a rare combination of synoptic factors with high previous moisture catchments. Anthropogenic factors had little impact. Modeling allowed to find out the reasons of formation of an unusual flood in the basin of the Iya River and to restore chronology of flooding of Tulun. Spectral analysis of satellite images on the NDVI index allowed automatic identification of objects subjected to flooding.

The high flood damage was caused not only by the height of the floods, but also by systemic problems specific to the Russian Federation. The article provides recommendations on reduction of the flood risks.

Key words: floods, flood damage, rain floods, maximum runoff, runoff factors, flood transformation, runoff formation model, flooding model.

About the authors:

Andrei V. Shalikovskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, East Branch, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita, 672039, Russia; Professor, Transbaikalian State University, Chair of Water Sector, Environmental and Industrial Safety, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita, 672039, Russia; e-mail: vostokniivh@mail.ru

Anatoliy P. Lepikhin, Doctor of Geography, Professor, Director, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh) Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; Head, Russian Academy of Sciences

Ural Branch Institute of Mining Laboratory of Problems of the Mainland Hydrology, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; Perm State National Research University Chair of Hydrology and Water Resources Protection, ul. Bukireva, 15, Perm, 614990, Russia; e-mail: lepin49@mail.ru

Aleksey A. Tiunov, Leading Programming Engineer, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh) Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm 614002, Russia; Engineer, Russian Academy of Sciences Ural Branch Institute of Mining Laboratory of Problems of the Mainland Hydrology, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; e-mail: alexey.tiunov@gmail.com

Konstantin A. Kurganovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, East Branch, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita, 672039, Russia; Chief, Transbaikal State University, Chair of Water Sector, Environmental and Industrial Safety, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita, 672039, Russia; e-mail: naptheodor@mail.ru

Mikhail G. Morozov, Candidate of Technical Sciences, Head, Department of Scientific/methodic Support of Water/economic Systems Operation, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, ul. Mira, 23, Ekaterinburg, 620049, Russia; e-mail: mg_frost@mail.ru

For citation: *Shalikovskiy A.V., Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Kurganovich K.A., Morozov M.G. The 2019 Floods in Irkutsk Region // Water Sector of Russia. 2019. No. 6. P. 48–65.*

REFERENCES

1. Ushcherb ot navodneniy v Irkutskoy oblasti predvaritel'no otsenili v 35 mlrd rubley [Tentative estimation of the flood-caused damage in Irkutsk Oblast: 35 billion rubles] // INTERFAKS. 22.08.2019. URL: <https://realty.interfax.ru/ru/news/articles/108937/> (data obrashcheniya: 28.08.2019).
2. R-ArcticNET (A Regional, Electronic, Hydrographic Data Network for the Arctic Region) // Water Systems Analysis Group. URL: <http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html> (data obrashcheniya: 26.07.2019).
3. Xu H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. №27. P. 3025–3033.
4. Reference Manual «RiverFlow2D Two-Dimensional River Dynamics Model», August, 2016, Hydronia LLC URL: <http://www.hydronia.com> (data obrashcheniya: 24.05.2018).
5. SRTM 90m DEM Digital Elevation Database URL: <http://srtm.csi.cgiar.org> (data obrashcheniya: 03.07.2019).
6. Pavodok v Irkutskoy oblasti pobil rekordy za ves' period nablyudeniya [The flood in Irkutsk Oblast has broken a record for the whole period of observations] // RIA Novosti. 08.07.2019. URL: <https://ria.ru/20190708/1556299303.html> (data obrashcheniya: 09.07.2019).
7. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. № 6160. P. 850–853. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
8. Izmeneniya urovnej vodohranilishch GES [The hydro-power station reservoirs' level changes] // RusGidro. URL: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer> (data obrashcheniya: 05.09.2019).
9. Taratunin A.A. Navodneniya na territoriyi Rossiyskoy Federatsiyi [Floods on the territory of the Russian Federation] / pod red. N.I. Koronkevicha. Ekaterinburg: Izd-vo FGUP RosNIIVH. 2008. 432 p.

10. *Shalikovskiy A.V., Kurganovich K.A.* Upravlenie riskom navodneniy v mire i v Rossiyskoy Federatsii [Flood risk management in the world and in the Russian Federation] // Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 5. P. 21-31.
11. *Zaykov B. D.* Vysokie polovod'ya i pavodki na rekah SSSR za istoricheskoe vremya [High-water periods and floods on the rivers of the USSR over the historical period]. L.: Gidrometeoizdat, 1954. 134 p.
12. Materialy dlya opisaniya russkih rek i istorii uluchsheniya ikh sudokhodnykh usloviy [Materials for description of Russian rivers and history of their navigation facilities improvement]. Vyp. 40: Svedeniya o mostah na vodnyh putyah Rossijskoj Imperii. SPb., 1913. 364 p.
13. *Gladkevich G.I., Terskiy P.N., Frolova N.L.* Otsenka opasnosti navodneniy na territorii Rossiyskoy Federatsii [Estimation of the flood hazards on the territory of the Russian Federation] // Vodnoe hozyajstvo Rossii. 2012. № 2. P. 29-46.
14. *Frolova, N.L., Kireeva, M.B., Magrickiy, D.V. et al.* Hydrological hazards in Russia: origin, classification, changes and risk assessment // Natural Hazards. 2017. Vol. 88. № S1. P. 103-131.
15. Geograficheskie zakonomernosti gidrologicheskikh processov yuga Vostochnoj Sibiri [Geographical regularities of hydrological processes in the South of Eastern Siberia] / A.N. Antipov, N.V. Abasov, T.V. Berezhnykh i dr. - Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN, 2003. 208 p.
16. *Kichigina N.V.* Opasnost' navodnenij na rekah Baikal'skogo regiona [Flood hazard on the rivers of the Baikal Region] // Geografiya i prirodnye resursy. 2018. № 2. P. 41-51.
17. *Shalikovskiy A., Kurganovich K.A.* Flood hazard and risk assessment in Russia // Natural Hazards. 2017. Vol. 88. P. 133-147.
18. *Shalikovskiy A.V.* Risk navodnenij: metody ocenki i kartografirovaniya [Flood risks: methods of estimation and mapping] // Vodnoe hozyajstvo Rossii. 2012. № 2. P. 68-78.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМУ НОРМИРОВАНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ*

С.Р. Чалов^{1,2}, В.Н. Леман²

E-mail: srchalov@geogr.msu.ru

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

² ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ: В статье рассмотрены современные подходы к нормированию допустимых содержаний взвешенных веществ (ВВ, мг/л) в реках с учетом рыбохозяйственных требований. Предложена система регионального нормирования, реализуемая на бассейновом уровне с учетом состава ихтиофауны и фоновых условий. По убыванию толерантности использовано ранжирование рыб по порогу чувствительности: от осетровых и сомовых (1000 мг/л) до карповых (250 мг/л), окуневых (100 мг/л) и лососевых (10 мг/л, выраженные изменения при 25–35 мг/л). Для трех крупных территорий Российской Федерации (бассейны рек Лены и Селенги и полуострова Камчатка) проведена апробация системы определения нормативов взвешенных веществ. Для рек Камчатки обосновано критическое значение содержания взвешенных веществ, устойчивое превышение которого приводит к негативным последствиям для лососевых рыб, в диапазоне концентрации (S) от 25 до 35 мг/л; действие норматива не распространяется на реки территорий современного вулканизма. Для бассейна р. Селенги рекомендован дифференцированный норматив: 25 мг/л для рек, являющихся местообитанием семейства лососевых (таймень, ленок) и хариусовых, и 50 мг/л для рек, где преобладают сиговые (омуль). Норматив для бассейна р. Лены – в диапазоне от 25 до 35 мг/л для всей речной сети за исключением участков нижнего течения, отличающихся более высокими значениями ВВ (50–100 мг/л).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нормирование, рыбохозяйственные нормативы, взвешенные вещества, ихтиофауна, водная экосистема, р. Селенга, р. Лена, Камчатка.

Речные потоки переносят большое количество наносов – нерастворенных веществ размером от коллоидов (с крупностью более 0,001 мкм) до крупнообломочных частиц, являющихся продуктами разрушения горных пород, почв, разложения органики. Их перемещение – важнейший фактор среды, оказы-

* Обобщение данных по рекам бассейна Байкала выполнено в рамках гранта РФФИ 1729-05027, по рекам Арктики – гранта РФФИ 18-05-60219 Арктика © Чалов С.Р., Леман В.Н., 2019

вающий выраженное влияние на формирование фауны рек и в значительной мере проявляющийся в пространственной неоднородности сообществ [1–3]. Будучи основным фактором воздействия хозяйственной деятельности на речные системы (строительство, горнодобывающая деятельность и русловые карьеры, коммунально-бытовое хозяйство), взвешенные вещества определяют условия обитания и миграции ихтиофауны [1], нереста [4], темпы реколонизации донного субстрата [5, 6]. Эффекты воздействия наносов проявляются на всех уровнях организации водных экосистем: от клеточного и организменного – до популяционного и ценотического. Важнейшим экологическим параметром является содержание ВВ в толще воды, традиционно определяемое как масса ВВ на единицу объема (мг/л), или с использованием современных оптических средств как величина рассеивания света (Т, turbidity, НТУ) [7].

Учет ВВ важен для обоснования эффективной системы нормирования воздействия хозяйственной деятельности на речные системы. В России выявление допустимых уровней загрязнения осуществляется на основе сопоставления данных о количестве поступающих в водные объекты загрязняющих веществ с действующими предельно допустимыми концентрациями (ПДК) или рыбохозяйственными требованиями. Проблема этого подхода заключается в том, что для всей территории страны установлены ПДК, которые не учитывают особенности водотоков [8]: для всех типов вод и природных зон используются одни и те же значения ПДК. При этом содержание ВВ в реках меняется в широких пределах – от значений первого порядка до тысяч мг/л в водотоках активного развития экзогенных процессов (современная вулканическая деятельность, распространение лесов в степной зоне и др.). Для водных объектов рыбохозяйственного значения действующим законодательством установлена возможность разработки региональных нормативов ПДК [9].

Группы водных организмов по-разному приспособлены к влиянию взвешенных веществ. Экологические параметры, учитывающие состояние сообществ водных организмов, в настоящее время не отражены в системе российских ПДК [9] и, соответственно, нормировании взвешенных веществ. Данная ситуация отличается от многих зарубежных государственных систем. В этой связи целью настоящей работы является обоснование регионального подхода к рыбохозяйственному нормированию мутности воды. Для анализа были выбраны территории, отличающиеся по основным параметрам нормирования и охватывающие контрастные фаунистические комплексы: Камчатский край, бассейн Селенги и бассейн Лены.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМУ НОРМИРОВАНИЮ МУТНОСТИ ВОДЫ

Анализ современных подходов к рыбохозяйственному нормированию следует начать с уточнения терминов, используемых в практике нормирова-

ния и приводимых в данной статье. Под объектами нормирования понимаются группы ихтиофауны, относительно которых устанавливается норматив. Пространственный масштаб определяет границы применимости по территориальному признаку. Важным понятием является продолжительность воздействия, т. е. период времени, при котором осуществляется повышение значений ВВ выше предельной величины. Наконец, под учитываемыми параметрами понимают характеристики речных наносов, наблюдаемые в нормируемых водных объектах, и пороговые (критические для выживаемости) значения ВВ для объектов нормирования.

Действующее в Российской Федерации нормирование поступления взвесей основано на рыбохозяйственных требованиях к качеству воды [10]: содержание взвешенных веществ не должно превышать природный фон более чем на 0,25 мг/л для рыбохозяйственных водотоков высшей и первой категории, а для водотоков, содержащих в межень природной взвеси более 30 мг/л, допускается увеличение в пределах 5 %. По сравнению с зарубежными подходами, российский стандарт отличает, в первую очередь, константность, которая снижает адекватность его применения [11] для огромной территории страны независимо от состава ихтиофауны и характеристик ВВ. Например, в реках с содержанием ВВ 1 мг/л допустимо увеличение до 1,25 мг/л, при 25 мг/л, величине, соответствующей критическим условиям для воспроизводства лососевых рыб [8], – до 25,25 мг/л. Кроме того, согласно российскому законодательству, запрещается сбрасывать в водотоки взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,0004 м/с, т. е. размером частиц ориентировочно более 0,03 мм [19]. Иными словами, сброс более тонких частиц разрешен, хотя именно в этой фракции содержатся наиболее опасные токсичные элементы [11]. В зарубежной водохозяйственной практике нормируются, как правило, тонкодисперсные фракции (т. н. «fine sediment», с диаметром от 450 мкм до 2000 мкм), соответствующей скорости осаждения 0,3 м/с. Учитываемыми параметрами являются величины содержания ВВ (мг/л) и оптической мутности Т (turbidity, НТУ), прозрачность воды по черному диску (м). Многие нормативы дифференцируются для фаз водного режима, например, в Европейском Союзе (DIRECTIVE 2006/44/EC) и Канаде [12]. Пространственный охват нормативов очень изменчив – они отличаются между природными и высотными зонами в Австралии и Новой Зеландии [13], являются уникальными для отдельных штатов США [14]. В Австралии и Новой Зеландии установлены отдельные нормативы для рек горных районов (более 150 м абсолютная высота русла) и рек низменностей (абсолютная высота менее 150 м), при этом в Австралии нормативы отличаются для разных регионов континента (юго-западная часть, юго-восточная часть, тропики). В США некоторые штаты в

качестве рекомендованного норматива используют абсолютную величину, другие – относительную (относительно фоновых условий). При этом не все штаты имеют регламентированные нормативы. Наиболее строгая и детализированная система нормирования принята в штате Гавайи (табл. 1), она базируется на ежедневном мониторинге мутности воды. Для маловодного сезона (с 1 мая по 31 октября) предполагается следующее:

- большинство измерений мутности должно находиться в интервале менее 10 мг/л (2 НТУ);

- не более 10 % показаний может находиться в интервале значений до 30 мг/л (5,5 НТУ);

- не более 2 % показаний может достигать 55 мг/л (10 НТУ).

Для многоводного сезона (1.11 – 30.04) критерии менее строгие:

- большинство показаний должны находиться в интервале менее до 5 НТУ;

- не более 10 % показаний может находиться в интервале значений до ≤ 15 НТУ;

- не более 2 % показаний может достигать ≤ 25 НТУ.

Определение величины нормирования, как правило, проводится относительно наиболее чувствительных групп рыб – лососевых – и учитывает, что проявление негативных эффектов возникает при содержании ВВ менее 20 мг/л [11]. Наиболее часто используется рекомендация о недопустимости превышения величины 25 мг/л (табл. 1).

Таблица 1. Примеры принятых в мире нормативов влияния взвешенных наносов на ихтиофауну

Table 1. Examples of the world-wide accepted norms of the suspended matter sediments on ichthyofauna

| Страна | Документ | Концентрация взвешенных частиц, мг/л /мутность (NTU) | Диапазон применения норматива | Примечание |
|--------|----------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Россия | [10] | Не должно превышать фон более чем на 0,25 мг/л | Для рыбохозяйственных водотоков высшей и первой категории, содержащих в межень природной взвеси более 30 мг/л | |
| | | Увеличение не более чем на 5 % | Для водотоков, содержащих более 30 мг/л, допускается увеличение до 5 % | |
| ЕС | [16] | ≤ 25 мг/л | Для местообитаний лососевых рыб | За исключением паводков и низкого стока |
| | | ≤ 25 мг/л | Для местообитаний карповых рыб | |

Продолжение таблицы 1

| Страна | Документ | Концентрация взвешенных частиц, мг/л /мутность (NTU) | Диапазон применения норматива | Примечание |
|------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Канада | [12] | Краткосрочное увеличение не более чем на 25 мг/л (8 NTU), долгосрочное увеличение не более чем на 5 мг/л (2 NTU). | Для прозрачных потоков (фоновые мутности менее 25 мг/л) | 24 ч – кратковременное воздействие; 30 дней – долгосрочное воздействие |
| | | Увеличение любой продолжительности не более чем на 25 мг/л | Для мутных потоков (фоновые мутности 25–250 мг/л (8 – 80 NTU)) | |
| | | Не более чем на 10 % от фона | Фоновая мутность более 250 мг/л | |
| ЮАР | [18] | < 100 мг/л < 10 % | – | Не должно превышать фоновые значения |
| Малайзия | [17] | 25 мг/л (5 NTU) | Воды класса 1 | Класс 1 – очень чувствительные группы рыб; класс 2 – чувствительные группы рыб |
| | | 50 мг/л (50 NTU) | Воды класса 2 | |
| Австралия (юго-запад) | [13] | 10–20 NTU | Горные реки (150–1500 м. абс) | – |
| | | 10–20 NTU | Равнинные реки (<150 м. абс) | – |
| Австралия (юго-восток) | | 2–25 NTU | Горные реки (150–1500 м. абс) | – |
| | | 6–50 NTU | Равнинные реки (<150 м. абс) | – |
| Австралия (тропики) | | 2–15 NTU | – | – |

Дифференцированные по группам ихтиофауны подходы разработаны в ЕС [16], ряде стран Азии (Малайзия, Южная Корея) [17]. В ЕС нормативы отдельно устанавливаются для лососевых и карповых групп рыб. Под реками лососевого типа понимаются водные объекты, пригодные для воспроизводства лососевых, хариусовых и сиговых рыб. Под реками карпового типа – водные объекты для воспроизводства рыб семейства карповых, щучковых, окуневых и угревых [16]. При этом нормативы сходны для обеих групп рыб (табл. 1).

Обоснование подходов к определению норматива содержания взвешенных веществ в Российской Федерации

Разработка региональных норм основана на определении объекта нормирования, учитываемой продолжительности воздействия и параметров нормирования (табл. 2) для каждого пространственного масштаба нормирования (бассейна реки, региона и др.), который устанавливается для однородных территорий по (а) содержанию ВВ и (б) составу ихтиофауны. Последнее позволяет учесть неоднородность природных условий большой страны и существование в реках, отличающихся по своему видовому составу сообществ рыб, адаптированных к разным условиям.

Таблица 2. Основные понятия региональной системы нормирования мутности воды для рек Российской Федерации

Table 2. The main notions of the regional system of river turbidity normalizing for rivers of the Russian Federation

| Термин | Характеристика | Критерии выделения |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Пространственный масштаб | Речной бассейн (до приемного водоема), подбассейны или конкретный водоток (створ) | Наличие изолированных группировок ихтиофауны в пределах речного бассейна; участки речной сети со специфическими проявлениями русловых процессов и экстремальными значениями стока наносов |
| Объекты нормирования | Бассейновые представители наиболее чувствительной к мутности семейств ихтиофауны | Широко распространенный вид ихтиофауны для данной части речной сети в ряду лососевидные-окуневые-карповые-сомовые-осетровые |
| Продолжительность воздействия | Периоды средней и пониженной водности | Допускаются кратковременные ($T < 24$ ч) повышения концентраций ВВ |
| | Периоды повышенного стока | |
| Параметры нормирования | Среднее годовое содержание ВВ S_0 , соответствующее периодам средней и пониженной водности; критическое содержание ВВ для ихтиофауны $S_{кр}$; изменение содержания ВВ в период повышенного стока $S_i(t)$ | |

Основные положения предлагаемого подхода к нормированию сводятся к следующему. Для каждого пространственного масштаба устанавливается величина критического содержания ВВ С_{кр} (мг/л), соответствующего пороговому значению, при котором наблюдаются негативные последствия для наиболее чувствительных рыб, распространенных в пределах анализируемой территории (табл. 3), и региональное значение S₀ [19]. Обоснование критических диапазонов С_{кр} изложено в специальных работах [1, 8, 15]. Среди основных семейств рыб рек России (карповые, лососевые, хариусовые, сиговые, окуневые, осетровые и сомовые) ряд по убыванию толерантности к содержанию ВВ выглядит следующим образом: осетровые и сомовые – карповые – окуневые – лососевые, сиговые, хариусовые.

Таблица 3. Обобщенные данные о воздействии содержания взвешенных веществ на рыб разных семейств

Table 3. Generalized data on the suspended matter impact on different species fish

| Семейство | Концентрации ВВ, вызывающие негативные проявления, мг/л | | Типовые приспособления к высоким концентрациям ВВ | Литература |
|---------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| | Перманентные эффекты | Острые и хронические тесты | | |
| Лососевые | 25–35 | > 50 | Миграция в чистые водотоки | [8, 15, 20, 21, 22] |
| Окуневые | 50–100 | > 100 | Миграция в чистые водотоки | [15, 23, 24] |
| Карповые | > 100 | > 1000 | Короткая цикличность жизненного цикла, толстый чешуйный покров; умеренные или замедленные темпы метаболизма; невысокие потребности в кислороде | [1, 15, 25] |
| Сомовые и осетровые | > 1000 | > 10000 | Анабиоз при высокой мутности Хемосенсорные механизмы поиска пищи | [26, 27] |

Величина $S_{кр}$ сопоставляется с фоновым значением S_0 :

- при $S_{кр} \geq S_0$ недопустимо превышение величины $S_{кр}$ для условий средней и пониженной водности;
- при $S_{кр} < S_0$ недопустимо превышение величины S_0 для периодов средней и пониженной водности.

В период повышенного стока допускается превышение не более чем на 5 % от фоновой мутности $S_i(t)$. Кроме того, допускаются кратковременные ($T < 24$ ч) повышения содержания ВВ выше этих значений, что является общепринятой практикой нормирования [20]. Таким образом, подобный подход в наибольшей степени соответствует учету режима стока наносов, наблюдаемой в пределах речного бассейна в течение продолжительного периода.

Возможность применения регионального нормирования на примере крупных речных бассейнов

Рассмотрены возможные диапазоны задания критических значений норматива взвешенных веществ для разных территорий России (табл. 4). Учитывались региональные значения содержания ВВ [28, 29], уточненные по современным данным [30, 31]. Из рассмотренных территорий наиболее простыми, с точки зрения нормирования, являются реки Камчатки, где массово распространены тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus* [22], максимально чувствительные к содержанию взвешенных веществ (табл. 4). В XXI в. Камчатка является одним из последних в мире крупным регионом, где в первозданном виде повсеместно сохранились условия для естественного нереста лососей. Здесь воспроизводится примерно пятая часть мировых запасов диких лососей и наблюдается самое большое в мире видовое разнообразие. Рыбы из этой группы составляют основу ихтиофауны рек и озер полуострова, во многих водотоках никакие другие рыбы, кроме лососей, не встречаются.

Лососевым рыбам требуется холодная вода с низкой мутностью, быстрое течение, не заиленный гравийно-галечный грунт. Без сочетания всех этих факторов, свойственных для так называемых «лососевых» рек, популяции лососей быстро деградируют. В целом для рек Камчатки среднегодовое содержание ВВ в основном крайне низкое (менее 10 мг/л). Критическое значение загрязнения, устойчивое превышение которого приводит к негативным последствиям для лососевых рыб, следует рассматривать в диапазоне S от 25 до 35 мг/л [8]. Этот норматив не распространяется на реки вулканических территорий, где отмечаются повышенные значения содержания ВВ – до 100 мг/л и выше, а в пределах водотоков лахаровых долин во взвешенном состоянии переносятся крупные частицы, определяющие значения более 10000 мг/л [32]. Водотоки в этих условиях теряют рыбохозяйственное значение (табл. 4).

Таблица 4. Рекомендуемые региональные нормативы содержания взвешенных веществ*Table 4. Recommended regional norms of the suspended matter content*

| Бассейн реки | Выделяемые территории | Наиболее чувствительные группы ихтиофауны и их распространение | Среднее содержание ВВ S ₀ , мг/л | Рекомендуемый норматив ВВ, мг/л |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Реки Камчатского края | Большая часть гидрографической сети полуострова, «лососевые реки» | Тихоокеанские лососи | < 10 мг/л | 25 мг/л |
| | Реки, протекающие в районах современной вулканической деятельности, лахоровых долинах | Лишены рыбохозяйственного значения | > 1000 мг/л | Не применим |
| Селенга | Верхняя часть бассейна | Семейство лососевые (таймень, ленок) и хариусовые | < 25 мг/л | 25 мг/л |
| | Бассейн р. Туул | Семейство карповые (елец и карась) | > 100 мг/л | 100 мг/л |
| | Нижняя часть бассейна | Семейство сиговые (сибирский и байкальский сиг, байкальский омуль, пелядь) | 50–100 мг/л | 50 мг/л (25 мг/л – в период нагула лососевых при S < 25 мг/л (S < S ₀)) |
| Лена | Основное русло р. Лены и крупнейшие притоки (Вилюй, Алдан) | Семейство сиговые (сиги, чир, муксун, нельма) | 50–100 мг/л | 50 мг/л |
| | Большая часть гидрографической сети полуострова | Семейство лососевые (таймень, ленок, гольцы) и хариусовые | < 50 | 25 мг/л |

Реки расположенного на стыке степной и лесостепной зон бассейна Селенги, являющегося крупнейшим притоком оз. Байкал, заселены 28–33 видами рыб (в зависимости от взглядов на таксономический ранг отдельных популяций), относящихся к 12 семействам [33]. Ихтиофауна включает в себя пять чужеродных видов [34]. Все обитающие здесь виды относятся к фаунистическим комплексам Палеарктики, в основном – бореальному предгорному, бореальному равнинному, арктическому пресноводному и древнему верхне-третичному. Широко распространены как лимнофильные виды бореального равнинного

комплекса (плотва, окунь, щука, язь, карась и др.), занимающие равнинные и предгорные водотоки бассейна, так и лимнореофильные виды бореального предгорного комплекса (таймень, хариус, ленок, голец, голец и др.), населяющие в большей степени среднее и верхнее течение реки, а также арктического пресноводного комплекса (сиги, налим, омуль).

Бассейн Селенги характеризуется контрастным режимом ВВ. Максимальная зона мутности [35, 36] – от 100–250 г/м³ – расположена в средней и нижней частях притоков – рек Орхон и Туул (Монголия), нижнем течении Селенги и бассейнах ее российских притоков. Высокие значения содержания ВВ в бассейне р. Туул определены антропогенными причинами (сбросы неочищенных сточных вод г. Улан-Батор, эрозия сельскохозяйственных и горнодобывающих территорий). Здесь несомненными доминантами являются карповые (елец и карась). Высокие фоновые значения ВВ характерны бассейну р. Орхон (менее 100 мг/л), что и привело к созданию здесь особых местообитаний. В этой связи норматив должен устанавливаться для этой зоны в размере 100 мг/л (табл. 4). На остальную часть речной сети рекомендуется дифференцированный норматив: 25 мг/л для рек, являющихся местообитанием семейства лососевых (таймень, ленок) и хариусовых, и 50 мг/л для рек, где преобладают сиговые (омуль) (рисунок). Для участка бассейна с трансформированным составом ихтиофауны (р. Туул) современный норматив соответствует 100 мг/л (табл. 3), однако для восстановления естественной экосистемы он будет требовать ужесточения и приведения к фоновым значениям S_0 . Важно отметить, что после весеннего нереста лососевые рыбы бассейна Селенги (таймень и ленок), совершая миграции в поисках корма, спускаются вниз по течению и нагуливаются на устьевых участках притоков и в основном русле Селенги, попадая в нижнюю область бассейна. В этой связи для осенне-зимнего периода, когда мутность воды в реках S_i меньше среднегодовой мутности воды S_0 , следует рассматривать более жесткий норматив для этой области – 25 мг/л (табл. 4).

Современный состав ихтиофауны р. Лены включает 46 видов и подвигов [39]. В пределах всего бассейна преобладают лососевые (массово – ленок, таймень, голец), сиговые и хариусовые рыбы. Повсеместное распространение лососевых определяет критический уровень $Skp = 25–35$ мг/л. Учитывая, что большая часть бассейна расположена в области ВВ с концентрацией < 50 мг/л [40], это позволяет обосновать критическое значение мутности воды, устойчивое превышение которого приводит к негативным последствиям для ихтиофауны бассейна Лены, в диапазоне от 25 до 35 мг/л. Для участков нижнего течения Лены и крупнейших притоков, отличающихся более высокими значениями мутности воды ($S_0 = 50–100$ мг/л), из наиболее чувствительных в составе ихтиофауны преобладают представители семейства сиговых (сиги,

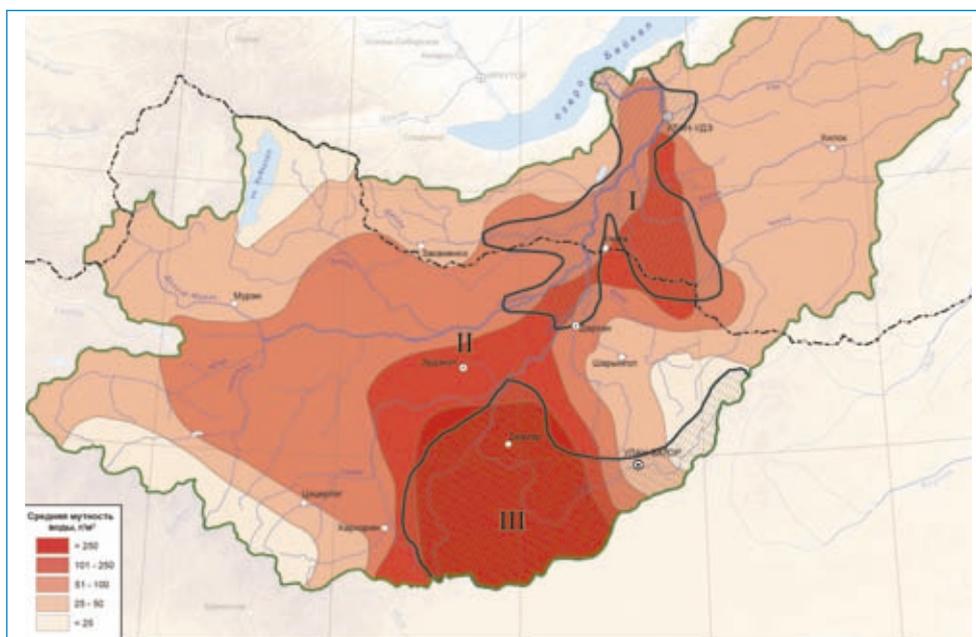


Рисунок. Карта средней мутности бассейна р. Селенги (по данным за многолетний период до 2016 г.) и распространение наиболее чувствительных групп ихтиофауны: I – ареалы заходов на нерест байкальского омуля *Coregonus migratorius*; II – ареалы распространения тайменя *Hucho taimen* и ленка *Brachymystax lenok* (исторические, естественные ареалы); III – зона распространения карповых Cyprinidae (бассейн р. Туул); ареалы выделены на основе обобщения данных ФГУП «Востсибрыбцентр» с использованием данных ФГУ «Байкалрыбвод», литературных источников [37] и Экологического атласа Байкала [38].

Figure. The map of average turbidity in the Selenga River basin (according to the many-year data up to 2016) and distribution of the most sensitive groups of ichthyofauna I – natural habitat of *Coregonus migratorius* income for spawning; II – habitats of *Hucho taimen* and *Brachymystax lenok* distribution (historical natural habitats); III – zone of Cyprinidae distribution (the Tuul River basin); the habitats are denominated compliant to “Vostsibrybtsentr” data with the use of “Baikalrybvod” data, references [37] and Ecological atlas of Baikal [38].

чир, муксун, нельма). В этой связи для них рекомендуется норматив допустимой мутности 50 мг/л. Особо следует рассматривать обособленные области распространения ряда лососевых рыб (обыкновенного валька, сибирского хариуса, представителей голецов рода *Salvelinus*), распространенных в бассейне Лены и пространственно пересекающихся с основными ареалами рыб. Например, якутский голец *Salvelinus jacuticus* Borisov [41] распространен исключительно в озерно-речных системах придельтовой зоны, для которых требуется особый учет ВВ.

ВЫВОДЫ

Мировой опыт и установленные экологические диапазоны значений ВВ позволили сформулировать основные рекомендации по развитию системы рыбохозяйственного нормирования мутности для рек Российской Федерации и корректировки действующих требований. Учитывая размеры территории, предложено установление пространственно-дифференцированного подхода к разработке стандартов. Он должен базироваться на региональных (устанавливаемых для участков речной сети) оценках содержания ВВ и учитывать ее естественную временную (сезонную) изменчивость. Основным признаком для формулировки регионального норматива предлагается использовать соотношение пороговых значений, при котором наблюдаются негативные последствия для наиболее чувствительных рыб Скр, и среднегодовых фоновых значений содержания ВВ S_0 .

На примере трех крупных территорий Российской Федерации (бассейны рек Лены и Селенги и полуострова Камчатка) рассмотрены варианты обоснования нормативов ВВ. Для рек Камчатки критическое значение ВВ определяется чувствительностью широко распространенных на полуострове лососевых рыб и соответствует диапазону Скр от 25 до 35 мг/л. Реки территорий современного вулканизма, отличающиеся высокими значениями S_0 , не подлежат применению норматива. Дифференцированный норматив для бассейна Селенги представляет собой установление аналогичного Скр от 25 до 35 мг/л для рек, являющихся местообитанием семейства лососевых (таймень, ленок) и хариусовых, и 50 мг/л для рек, где преобладают сиговые (омуль). Норматив для бассейна р. Лены определяется дифференциацией фоновых значений мутности: для большей части речной сети он соответствует 25–35 мг/л и отличается для участков нижнего течения, характеризующихся высокими значениями ВВ (50–100 мг/л).

Точность применения предложенного подхода зависит от достоверности выделения однородных территорий по режиму ВВ и составу ихтиофауны. При этом алгоритм его реализации для отдельных водных объектов аналогично связан с установлением бассейновых представителей наиболее чувствительных к мутности семейств ихтиофауны, для которых рекомендуется использовать обобщенные данные о воздействии содержания взвешенных веществ на рыб разных семейств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kemp P., Sear D., Collins A., Naden P., Jones I.* The impacts of fine sediment on riverine fish // *Hydrol. Process.* 2011. Vol. 25. P. 1800–1821.
2. *Ryan P.A.* Environmental effects of sediment on New Zealand streams: A review // *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* 1991. Vol. 25. No. 2. P. 207–221.

3. Wilber D.H., Clarke D.G. Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries // North Am. J. Fish. Manag. 2001. Vol. 21(4). P. 855–875.
4. Franssen J., Lapointe M., Magnan P. Geomorphic controls on fine sediment reinfiltration into salmonid spawning gravels and the implications for spawning habitat rehabilitation // Geomorphology. 2014. Vol. 211. P. 11–21.
5. Serena C., Bertuzzo E., Singer G., Battin T. J., Montanari A., and Rinaldo A. Hydrologic controls on basin-scale distribution of benthic invertebrates // Water Resour. Res. 2014. Vol. 50. No. 4. P. 2903–2920.
6. Murphy John F., J. Iwan Jones, James L. Pretty, Chas P. Duerdoth, Adrianna Hawczak, Amanda Arnold, John H. Blackburn. Development of a biotic index using stream macroinvertebrates to assess stress from deposited fine sediment // Freshw. Biol. 2015. Vol. 60. No. 10. P. 2019–2036.
7. Белозерова Е.В., Чалов С.Р. Определение мутности речных вод оптическими методами // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2013. Т. 6. № 5. С. 39–45.
8. Чалов С.Р., Леман В.Н. Нормирование допустимого воздействия открытых разработок полезных ископаемых на речные системы Камчатки // Водное хозяйство России. 2014. Т. 2. С. 69–86.
9. Баготский С.В., Санин М.В., Эйнон Л.О. Некоторые подходы к экологически обоснованному нормированию загрязняющих веществ в водоемах 1992 // Водные ресурсы. 1992. № 6. С. 101–106.
10. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: ВНИРО, 2011. 257 с.
11. Есин Е.В. Обзор токсичности основных элементов-загрязнителей лососевых нерестовых рек камчатки // Известия ТИНРО. 2015. Т. 180. С. 210–225.
12. CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life: Imidacloprid // Scientific Supporting Document. 2007.
13. ANZECC. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality // Book. 2000.
14. Berry W., Rubenstein N., Melzian B. and B. Hill. The biological effects of suspended and bedded sediment (SABS) in aquatic systems: A review // United States Environ. Prot. Agency, Duluth. 2003.
15. Newcombe C.P., Jensen J.O.T. Channel Suspended Sediment and Fisheries: A Synthesis for Quantitative Assessment of Risk and Impact // North Am. J. Fish. Manag. 1996. Vol. 16. No. 4. P. 693–727.
16. DIRECTIVE 2006/44/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life // Off. J. Eur. Union. 2006. Vol. 264. P. 20–31.
17. National Water Quality Standards For Malaysia. Interim National Water Quality Standards For Malaysia [Electronic resource] // WEPА. 2006.
18. DWAF D. of water and forestry. South African Water Quality Guidelines. Vol. 7: Aquatic ecosystems // Aquatic Ecosystems. 1996.

19. *Караушев А.В.* Теория и методы расчета речных наносов. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 444 с.
20. European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC). Water quality criteria for European freshwater fish. Report on Finely Divided Solids and Inland Fisheries // EUROPEAN INLAND FISHERIES ADVISORY COMMISSION. 1964.
21. *Чалов С.Р., Школьный Д.И., Промахова Е.В., Леман В.Н., Романченко А.О.* Формирование стока наносов в районах открытых разработок россыпных месторождений // География и природные ресурсы. 2015. Вып. 2. С. 22–30.
22. Опасные русловые процессы и среда обитания лососевых рыб / под ред. Чалова С.Р., Леман В.Н., Чаловой А.С. М., 2014. 240 с.
23. *Ardjosoediro I., Ramnarine I.W.* The influence of turbidity on growth, feed conversion and survivorship of the Jamaica red tilapia strain // Aquaculture. 2002. Vol. 212, No. 1–4. P. 159–165.
24. *Morgan David L., Simon J. Hambleton, Howard S. Gill, and Stephen J. Beatty.* Distribution, biology and likely impacts of the introduced redbfin perch (*Perca fluviatilis*) (Percidae) in Western Australia // Mar. Freshw. Res. 2002. Vol. 53. No. 8. P. 1211–1221.
25. *Lenat D.R., Crawford J.K.* Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams // Hydrobiologia. 1994. P. 185–199.
26. *Gadomski D.M., Parsley M.J.* Effects of Turbidity, Light Level, and Cover on Predation of White Sturgeon Larvae by Prickly Sculpins // Trans. Am. Fish. Soc. 2005. Vol. 134. No. 2. P. 369–374.
27. *Gadomski D.M., Parsley M.J.* Vulnerability of young white sturgeon, *Acipenser transmontanus*, to predation in the presence of alternative prey // Environ. Biol. Fishes. 2005. Vol. 74. 389 pp.
28. Сток наносов, его изучение и географическое распределение / под ред. Караушева А.В. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 240 с.
29. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.
30. *Chalov Sergey R., Shuguang Liu, Roman S. Chalov, Ekaterina R. Chalova, Alexey V. Chernov, Ekaterina V. Promakhova, Konstantin M. Berkovitch, Aleksandra S. Chalova, Aleksandr S. Zavadsky, and Nadezhda Mikhailova.* Environmental and human impacts on sediment transport of the largest Asian rivers of Russia and China // Environ. Earth Sci. Springer Berlin Heidelberg, 2018. Vol. 77. No. 7. P. 1–14.
31. *Магрицкий Д.В.* Годовой сток взвешенных наносов российских рек водосбора Северного Ледовитого океана и его антропогенные изменения // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2010. № 6. P. 17–24.
32. *Chalov S.R., Esin E.V.* The principles of ecological classification of rivers in areas of contemporary volcanism (Exemplified by Kamchatka) // Geogr. Nat. Resour. 2015. Vol. 36.No. P. 62–69.
33. *Karthe D., Kasimov N., Chalov S., Shinkareva G., Malsy M., Menzel L., Theuring P., Hartwig M. Schweitzer C., Hofmann J., Priess J. & Lychagin M.* Integrating Multi-Scale Data for the Assessment of Water Availability and Quality in the Kharaa - Orkhon - Selenga River System // Geography, Environment, Sustainability. 2014. No. 3(7). P. 65–86.

34. Эколого-географический атлас-монография Селенга-Байкал / ред: Н.С. Касимов, Н. Е. Кошелева, М. Ю. Лычагин, С.Р. Чалов. М.: геогр. фак-тет. МГУ. 2018. 288 с.
35. Алексеевский Н.И., Белозёрова Е.В., Касимов Н.С., Чалов С.Р. Пространственная изменчивость характеристик стока взвешенных наносов в бассейне Селенги в период дождевых паводков // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2013. № 3. С. 60–65.
36. Chalov S.R., Jerker Jarsjö, Kasimov N.S., Romanchenko A.O., Pietroń J., Thorlund J. Spatio-temporal variation of sediment transport in the Selenga River Basin, Mongolia and Russia // Environ. Earth Sci. 2014. Vol. 73. No. P. 663–680.
37. Карасев Г.Л. Рыбы Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1987. 295 с.
38. Батуев А.Р., Корытный Л.М., Энхтайван Ж., Оюунгэрэл Д. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Ин-тут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.
39. Кириллов А.Ф., Книжин И.Б. Современный состав и история формирования ихтиофауны реки Лена (бассейн моря Лаптевых) // Вопросы ихтиологии. 2014. Т. 54. № 4. С. 413–425.
40. Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Varabanova E.A. Integrated projection for runoff changes in large Russian river basins in the XXI century // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2016. No. 9(2). P. 38–46.
41. Savvaitova K.A. Patterns of Diversity and Processes of Speciation in Arctic Char // Nord. J. Freshw. Res. 1995.

Для цитирования: Чалов С.Р., Леман В.Н. Региональный подход к рыбохозяйственному нормированию содержания взвешенных веществ // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 66–83.

Сведения об авторах:

Чалов Сергей Романович, канд. геогр. наук, доцент, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ), Россия, 199991, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: srchalov@geogr.msu.ru

Леман Всеволод Николаевич, канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией воспроизводства лососевых рыб, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО), Россия, 107140, Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17; e-mail: vsev.leman@yandex.ru

REGIONAL APPROACH TO FISHERY NORMALIZATION OF SUSPENDED MATTER CONTENT

Sergey R. Chalov^{1,2}, Vsevolov N. Leman²

E-mail: srchalov@geogr.msu.ru

¹ Moscow State University, Moscow, Russia

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

Key words: normalizing, fishery norms suspended matter, ichthyofauna, the Selenga River, The Lena River, Kamchatka.

Abstract: The article discusses regional approach to fishery suspended sediment guidelines. The authors have proposed a system of regional normalizing with taking into account the ichthyofauna structure and background conditions to be realized at the basin level. We used the fish ranking against the sensitivity threshold by the tolerance decrease from sturgeon and catfish species (1000 mg/l) to carp (250 mg/l), perch (100 mg/l) and salmon (910 mg/l), obvious changes with 25-35 mg/l). We have tested the system for three major territories of the Russian Federation (the Selenga River and Lena River basins and the Kamchatka Peninsula). For the Kamchatka rivers we have substantiated a critical value of the suspended matter content stable exceeding of which should lead to negative consequences for salmon species, within the concentration (S) range from 25 to 35 mg/l; the norm's action does not cover the rivers of the current volcanism territories. We recommend the differentiated following norm for the Selenga River basin: 25 mg/l for rivers that are habitats of salmon and grayling and 50 mg/l for rivers where whitefish species predominate. The norm for the Lena River basin is in the range from 25 to 35 mg/l for the whole river network but some downstream ranges with higher values of suspended matter content (50–100 mg/l).

About the authors:

Sergey R. Chalov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Moscow State University Hydrology Department, Leninskie gory, 1, Moscow, 199991, Russia; e-mail: srchalov@geogr.msu.ru

Vsevolod N. Leman, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head, Russian Research Institute of Fishery and Oceanography Chair of Salmon Fish Reproduction, ul. Verkhnyaya Krasnoselskaya, 17, Moscow 107140, Russia; e-mail: vsew.leman@yandex.ru

For citation: Chalov S.R., Leman V.N., *Regional Approach to the Fishery Normalization of the Suspended Matter Content // Water Sector of Russia. 2019 No. 6. P. 66–83.*

REFERENCES

1. Kemp P., Sear D., Collins A., Naden P. and Iwan Jones. The impacts of fine sediment on riverine fish // *Hydrol. Process.* 2011. Vol. 25. P. 1800–1821.
2. Ryan P.A. Environmental effects of sediment on New Zealand streams: A review // *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* 1991. Vol. 25. No. 2. P. 207–221.
3. Wilber D.H., Clarke D.G. Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries // *North Am. J. Fish. Manag.* 2001. Vol. 21(4). P. 855–875.
4. Franssen J., Lapointe M., Magnan P. Geomorphic controls on fine sediment re-infiltration into salmonid spawning gravels and the implications for spawning habitat rehabilitation // *Geomorphology.* 2014. Vol. 211. P. 11–21.
5. Ceola S., Bertuzzo E., Singer G., Battin T.J., Montanari A. and A. Rinaldo. Hydrologic controls on basin-scale distribution of benthic invertebrates // *Water Resour. Res.* 2014. Vol. 50. No. 4. P. 2903–2920.
6. Murphy J.F., Jones J. I., Pretty J.L., Duerdoth C.P., Hawczak A., Arnold A., Blackbur J. H. Development of a biotic index using stream macroinvertebrates to assess stress from deposited fine sediment // *Freshw. Biol.* 2015. Vol. 60. No. 10. P. 2019–2036.
7. Belozeroва E.V., Chalov S.R. Opredelenie mutnosti rechnykh vod opticheskimi metodami [The river water turbidity determination by optical methods] // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5 Geografiya.* 2013. Vol. 6. No. 5. P. 39–45.
8. Chalov S.R., Leman V.N. Normirovanie dopustimogo vozdeystviya otkrytykh razrabotok poleznykh iskopaemykh na rechnye sistemy Kamchatki [Normalizing of permissible im-

- pact of the minerals open mining on the Kamchatka river systems] // *Vodnoe khoziaistvo Rossii*. 2014. Vol. 2. P. 69–86.
9. *Bagotskii S.V., Sanin M.V., Eignor L.O.* Nekotorye podkhody k ekologicheski obosnovannomu normirovaniu zagriazniaiushchikh veshchestv v vodoemakh 1992 [Some approaches to ecologically proved normalization of pollutants in water bodies in 1992] // *Vodnye resursy*. 1992. Vol. 6. P. 101–106.
 10. Normativy kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhoziaistvennogo znacheniia, v tom chisle normativy PDK vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhoziaistvennogo znacheniia [Water quality norms of fishery water bodies including norms of maximal permissible concentration of adverse substances in fishery water bodies water]. M.: VNIRO, 2011. 257 p.
 11. *Esin E.V.* Obzor toksichnosti osnovnykh elementov-zagriaznitelei lososevykh nerestovykh rek Kamchatki [Review of toxicity with the main pollutants of the salmon-spawning rivers of Kamchatka] // *Izvestiia TINRO*. 2015. Vol. 180. P. 210–225.
 12. CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life: Imidacloprid // Scientific Supporting Document. 2007.
 13. ANZECC. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality // Book. 2000.
 14. *Berry W., Rubenstein N., Melzian B. and B. Hill.* The biological effects of suspended and bedded sediment (SABS) in aquatic systems: A review // United States Environ. Prot. Agency, Duluth. 2003.
 15. *Newcombe C.P., Jensen J.O.T.* Channel Suspended Sediment and Fisheries: A Synthesis for Quantitative Assessment of Risk and Impact // *North Am. J. Fish. Manag.* 1996. Vol. 16. No. 4. P. 693–727.
 16. Directive 2006/44/ec of the european parliament and of the council of 6 September 2006on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life // *Off. J. Eur. Union*. 2006. Vol. 264. P. 20–31.
 17. National Water Quality Standards For Malaysia. Interim National Water Quality Standards For Malaysia [Electronic resource] // WEPA. 2006.
 18. DWAF D. of water and forestry. South African Water Quality Guidelines. Vol. 7: Aquatic ecosystems // *Aquatic Ecosystems*. 1996.
 19. *Karashchev A.V.* Teoriia i metody rascheta rechnykh nanosov [The theory and methods of river deposits calculations]. L.: Gidrometeoizdat, 1977. Vol. 444.
 20. European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC). Water quality criteria for European freshwater fish. Report on Finely Divided Solids and Inland Fisheries // European inland fisheries advisory commission. 1964.
 21. *Chalov S.R., Shkol'nyi D.I., Promakhova E.V., Leman V.N., Romanchenko A.O.* Formirovanie stoka nanosov v raionakh otkrytykh razrabotok rossypanykh mestorozhdenii [Formation of the sediments runoff in the areas of mineral open mining] // *Geografiia i prirodnye resursy*. 2015. Vol. 2. P. 22–30.
 22. Opasnye ruslovyie protsessy i sreda obitaniia lososevykh ryb [Dangerous channel processes and the salmon species habitat] / pod red. Chalova S.R., Leman V.N., Chalovoi A.S. M., 2014. 240 p.
 23. *Ardjosoediro I., Ramnarine I.W.* The influence of turbidity on growth, feed conversion and survivorship of the Jamaica red tilapia strain // *Aquaculture*. 2002. Vol. 212. No. 1–4. P. 159–165.
 24. *Morgan, David L., Simon J. Hambleton, Howard S. Gill, and Stephen J. Beatty.* Distribution, biology and likely impacts of the introduced redfin perch (*Perca fluviatilis*) (Percidae) in Western Australia // *Mar. Freshw. Res.* 2002. Vol. 53. No. 8. P. 1211–1221.
 25. *Lenat D.R., Crawford J.K.* Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams // *Hydrobiologia*. 1994.

26. *Gadomski D.M., Parsley M.J.* Effects of Turbidity, Light Level, and Cover on Predation of White Sturgeon Larvae by Prickly Sculpins // *Trans. Am. Fish. Soc.* 2005. Vol. 134. No. 2. P. 369–374.
27. *Gadomski D.M., Parsley M.J.* Vulnerability of young white sturgeon, *Acipenser transmontanus*, to predation in the presence of alternative prey // *Environ. Biol. Fishes.* 2005. Vol. 74. P. 389.
28. Сток наносов, его изучение и географическое распределение [Sediments flow, its studying and geographical distribution] / ed. Karaushev A.V. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 240 p.
29. *Dedkov A.P., Mozzherin V.I.* Eroziia i stok наносов на Земле [Erosion and sediments runoff on the Earth] Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 1984. 264 p.
30. *Chalov, Sergey R., Shuguang Liu, Roman S. Chalov, Ekaterina R. Chalova, Alexey V. Chernov, Ekaterina V. Promakhova, Konstantin M. Berkovitch, Aleksandra S. Chalova, Aleksandr S. Zavadsky, and Nadezhda Mikhailova.* Environmental and human impacts on sediment transport of the largest Asian rivers of Russia and China // *Environ. Earth Sci.* Springer Berlin Heidelberg, 2018. Vol. 77. No. 7. P. 1–14.
31. *Magrinskii D.V.* Godovoi stok vzveshennykh наносов rossiiskikh rek vodosbora Severnogo Ledovitogo okeana i ego antropogennye izmeneniia [Annual flow of the Arctic Ocean catchment Russia rivers' suspended sediments and its anthropogenic changes] // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serii 5 Geografiia.* 2010. No. 6. P. 17–24.
32. *Chalov S.R., Esin E.V.* The principles of ecological classification of rivers in areas of contemporary volcanism (Exemplified by Kamchatka) // *Geogr. Nat. Resour.* 2015. Vol. 36. No. 1. P. 62–69.
33. *Karthe, D., Kasimov N., Chalov S., Shinkareva G., Malsy M., Menzel L, Theuring P., Hartwig M., Schweitzer C., Hofmann J., Priess J. & Lychagin M.* Integrating Multi-Scale Data for the Assessment of Water Availability and Quality in the Kharaa – Orkhon – Selenga River System // *Geography, Environment, Sustainability.* 2014. No. 3(7). P. 65–86.
34. *Douglas M.R. et al.* Invasion Ecology: An International Perspective Centered in the Hol-arctic // *Fisheries.* 2015.
35. *Alekseevskii N.I., Belozerova E.V., Kasimov N.S., Chalov S.R.* Prostranstvennaia izmenchivost' kharakteristik stoka vzveshennykh наносов v basseine Selengi v period dozhdevykh povodkov [Spatial variability of the suspended sediments flow characteristics' in the Selenga River basin during the rain floods period] / *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serii 5. Geografiia.* 2013. Vol. 3. P. 60–65.
36. *Chalov S.R., Jerker Jarsjö, N.S. Kasimov, A.O. Romanchenko, Jan Pietróń, Josefín Thorslund.* Spatio-temporal variation of sediment transport in the Selenga River Basin, Mongolia and Russia // *Environ. Earth Sci.* 2014. Vol. 73. No. 2. P. 663–680.
37. *Karasev G.L.* Ryby Zabaikal'ia [Fish of Transbaikalia]. Novosibirsk: Nauka, 1987. 295 p.
38. *Batuev A.R., Korytnyi L.M., Enkhtaivan Zh., Oiuungerel D.* Ekologicheskii Atlas basseina ozera Baikal [Ecological atlas of the Lake Baikal basin] / pod red. Batuev A.R., Korytnyi L.M., Irkutsk: Institut geografii im. V.B. Sochavy Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2015. 145 p.
39. *Kirillov A.F., Knizhin I.B.* Sovremennyi sostav i istoriia formirovaniia ikhtiofauny reki Lena (bassein moria Laptevykh) [The contemporary structure and history of the Lena River (the Laptev Sea basin) ichtyofauna formation] // *Voprosy ikhtiologii.* 2014. Vol. 54. No. 4. P. 413.
40. *Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Barabanova E.A.* Integrated projection for runoff changes in large Russian river basins in the XXI century // *Geography, Environment, Sustainability.* 2016. No. 9 (2). P. 38–46.
41. *Savvaitova K.A.* Patterns of Diversity and Processes of Speciation in Arctic Char // *Nord. J. Freshw. Res.* 1995.

УДК 628.1: 628.3: 65.016

МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В СИБИРИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОКОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА*

А. А. Цхай^{1,2}, А.В. Левина²

E-mail: taa1956@mail.ru

¹ ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук», г. Барнаул, Россия

² ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, Россия

АННОТАЦИЯ: Проведено исследование деятельности предприятий водоканального хозяйства Сибири с целью разработки подхода к оценке развития водопользования в Сибири. Задача исследования – выбор индикаторов характера развития экономических субъектов рассматриваемой отрасли; развитие и апробация методики оценки эффективности предприятий на примере компаний с различной организационно-правовой формой. В работе охарактеризовано развитие предприятий водоканального хозяйства региональных центров Сибири в период с 2013 по 2016 гг. Модельный подход к оценке эффективности сибирских водоканалов использован для идентификации характера развития естественных монополий с различной организационно-правовой формой.

В условиях осложнения макроэкономической ситуации предприятия с муниципальной формой собственности, в целом, справились с задачами водоснабжения и водоотведения в рассмотренных крупных сибирских городах, однако в некоторых случаях произошло снижение уровня развития и изменение источников финансовых ресурсов. В деятельности компаний со смешанным капиталом проявилось положительное влияние «ручного» управления в менеджменте непростых ситуаций. Для обоснования более надежных рекомендаций необходимо продолжение и расширение финансово-экономического мониторинга устойчивости развития водных компаний как в Сибири, так и по стране в целом.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН» № 0383-2019-0003 «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для решения имитационных и прогностических задач водопользования и охраны водных ресурсов» при финансовой поддержке РФФИ и Алтайского края в рамках научного проекта ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» № 18-41-220002\18 «Разработка математической модели пространственно-временных изменений структуры экосистемы водоема»
© Цхай А.А., Левина А.В., 2019

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоснабжение, водоочистка, ресурс, результат, эффективность, устойчивость, индикатор.

Обеспеченность водными ресурсами в Российской Федерации является одной из самых высоких в мире и составляет 30,2 тыс. м³ на человека в год. Важнейшим интегральным показателем функционирования водохозяйственного комплекса является водоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) [1]. Этот индикатор характеризует тип и уровень эколого-экономического развития как регионов, так и страны. Вместе с тем, водоемкость ВВП РФ составляет около 2,4 м³/тыс. руб., что значительно превышает показатели стран с развитой экономикой. Целевой прогнозный индикатор для Сибирского федерального округа – снизить водоемкость ВВП к 2020 г. по сравнению с 2007 г. на 42 %, что составит 1,7 м³/тыс. руб. [2].

Для населения особенно важна такая составляющая водохозяйственного комплекса страны, как водокommunальное хозяйство (ВКХ), которое обеспечивает россиян питьевой водой и производит водоочистку промышленных и бытовых сточных вод. В целях максимального повышения качества услуг водоснабжения и водоотведения актуален вопрос определения индикаторов эффективности, характеризующих различные направления деятельности предприятий ВКХ с учетом их положения естественных монополистов в городах и населенных пунктах [3].

Методика оценки внутренней и внешней эффективности предприятий водоканала предложена в [4]. В данной работе методика применена для анализа характера развития предприятий водокommunального хозяйства Сибири, многие из которых с наступлением экономических реформ 1990-х годов изменили организационно-правовую форму. В этой связи особый интерес вызывает вопрос об устойчивости развития жизненно важных для населения предприятий при изменении макроэкономической ситуации.

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристики эффективности деятельности водоканалов далее формулируются в предположении о разделении как ресурсов, так и результатов на две составляющие по отношению к объекту исследования: внутренние и внешние. Конкретный перечень переменных – внешних и внутренних результатов и ресурсов – определяется набором данных о деятельности предприятия ВКХ, открытых в соответствии с правилами, установленными российским правительством [5].

В работе рассматривается простейший случай двух видов внешних и двух видов внутренних результатов, а также двух видов внешних и двух видов внутренних ресурсов. В качестве внешних результатов взят объем

принятых у потребителей сточных вод – A_1 и A_2 – объем отпущенной потребителям питьевой воды (тыс. м³). В качестве внутренних результатов выбраны A_3 – чистая прибыль предприятия и A_4 – расходы на оплату труда и отчисления на социальные нужды основного производственного и административно-управленческого персонала (тыс. руб.) Внешними ресурсами в исследовании являются B_1 – выручка и B_2 – заемные средства (тыс. руб.) В свою очередь, внутренние ресурсы – это B_3 – стоимость основных средств и B_4 – финансовые вложения (тыс. руб.) [4].

Задается следующий порядок определения локальных коэффициентов эффективности деятельности предприятия ВКХ. Например, K_1 – коэффициент мультипликативности – находится на пересечении столбца (Внешние результаты A_1) и (Внешние ресурсы B_1). Его местоположение указывает на то, что K_1 характеризует влияние изменения значения внешних ресурсов B_1 на динамику внешних результатов A_1 в рассматриваемый период. Коэффициенты адаптивности (K_2), синергетичности (K_3), интенсивности (K_4) предприятия задаются аналогичным образом.

В работе используется простейший вариант порядка расчета значения K_1 . Величина K_1 – это среднее значение суммы пропорций каждого вида внешних результатов к каждому виду внешних ресурсов на t конечный и $(t-1)$ начальный момент исследуемого периода. Такой порядок расчета K_1 – коэффициента мультипликативности – записывается в математическом виде как:

$$K_1(t) = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \beta_{ij}^{t/t-1}}{4} \text{ где, } \beta_{ij}^{t/t-1} = \frac{\beta_{ij}^t}{\beta_{ij}^{t-1}}, \beta_{ij}^t = \frac{A_i}{B_j}(t), \quad (1)$$

где β – локальный показатель эффективности (элемент матрицы);

i – номер коэффициента результата;

j – номер коэффициента ресурсов;

t – номер года.

Аналогичный порядок расчета используется для других локальных коэффициентов эффективности при соответствующих значениях индексов i и j .

$$K_2(t) = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=3}^4 \beta_{ij}^{t/t-1}}{4}, K_3(t) = \frac{\sum_{i=3}^4 \sum_{j=1}^2 \beta_{ij}^{t/t-1}}{4}, K_4(t) = \frac{\sum_{i=3}^4 \sum_{j=3}^4 \beta_{ij}^{t/t-1}}{4} \quad (2)$$

Введенные определения безразмерных локальных коэффициентов эффективности K_i представлены в табл. 1.

Содержательный смысл K_1 заключается в том, что коэффициент мультипликативности – это отношение темпов роста внешних результатов и внешних ресурсов. Если $K_1 > 1$, то в данном периоде темпы увеличения вли-

яния объекта на жизнедеятельность города (как окружающую социально-экономическую среду) выше, чем для роста внешних ресурсов. Следовательно, происходит ускорение (мультипликация) воспринятой энергии. Подобная интерпретация содержания коэффициентов содержится в табл. 2.

Таблица 1. Форма расчета показателей эффективности

Table 1. The pattern for the indicators of effectiveness' calculation

| | Внешние результаты A_1 | Внутренние результаты A_2 |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Внешние ресурсы B_1 | K_1 Локальные показатели внешней эффективности использования внешних ресурсов (коэффициент мультипликативности «точки роста») | K_3 Локальные показатели внутренней эффективности использования внешних ресурсов (коэффициент адаптивности «точки роста») |
| Внутренние ресурсы B_2 | K_2 Локальные показатели внешней эффективности использования внутренних ресурсов (коэффициент синергетичности «точки роста») | K_4 Локальные показатели внутренней эффективности использования внутренних ресурсов (коэффициент интенсивности «точки роста») |

Таблица 2. Содержание показателей эффективности

Table 2. Content of the indicators of effectiveness

| Название коэффициента | Содержание коэффициента эффективности |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| K_1 – коэффициент мультипликативности «точки роста» | Отношение темпов роста внешних результатов и внешних ресурсов |
| K_2 – коэффициент синергетичности «точки роста» | Отношение темпов роста внешних результатов и собственных средств объекта: если $K_2 > 1$, происходит превращение собственной энергии во внешнюю |
| K_3 – коэффициент адаптивности «точки роста» | Отношение темпов роста внутренних результатов и внешних ресурсов: если $K_3 > 1$, происходит использование внешней энергии для собственного роста |
| K_4 – коэффициент интенсивности «точки роста» | Отношение темпов роста внутреннего результата и внутренних ресурсов: если $K_4 > 1$, интенсификация собственного роста происходит за счет собственной энергии |

В действительности внешние и внутренние ресурсы взаимодействуют внутри производственного процесса. Поэтому может быть определена «эффективность деятельности объекта» как способность превращать ресурсы в результаты. Часть результатов попадает обратно в распоряжение объек-

та (чистая прибыль, оплата труда и социальные отчисления). Другая часть результатов направляется для социально-окружающей среды (объемы водоснабжения и водоочистки). Оценки «эффективности деятельности объекта» могут быть получены как функции от стандартных данных о деятельности предприятий ВКХ по формулам (1) и (2).

Интегрированный показатель приоритетности (Р) предприятия рассчитывается как среднее арифметическое четырех обобщающих коэффициентов эффективности (К₁). Максимальный потенциал предприятия как «точки роста» соответствует максимальному значению показателя Р. Однако для правильного истолкования показателя Р требуется провести анализ вклада составляющих. Такие понятия, как положительный и отрицательный рост, а также положительное и отрицательное развитие для классификации «точек роста», используются в качестве определяющих признаков.

Появление отрицательных тенденций в характере развития водоканала может существенно снизить эффективность инвестиций при введении соответствующих налоговых льгот и преференций. Напротив, инвестирование средств в момент готовности предприятия максимально эффективно их освоить позволяет ускорить выход естественной монополии на желаемый уровень обеспечения города услугами водоснабжения и водоотведения. Возникает вопрос: как обоснованно различать предприятия ВКХ по столь важному признаку как «перспективность» характера роста.

В работе методика мониторинга «точек роста» предприятий водоканала применена для компаний ВКХ различной организационно-правовой формы ряда городов Сибири. Для идентификации стадий развития, которые проходят предприятия в разные периоды своего жизненного цикла, используются понятия роста и развития. В начале цикла предприятие проходит фазу роста, когда в результате создания соответствующей материально-технической базы, обеспечения ресурсами и регламентации технологических процедур начинается его деятельность, все более интенсивнее осуществляются производственные процессы в соответствии с поставленными задачами. В дальнейшем при увеличении объемов выпуска продукции предприятие вступает в фазу развития, когда заметным становится влияние деятельности на его социально-экономическое окружение. В предлагаемом подходе преобладание темпов роста внутренних результатов над внешними отличает фазу роста, а преобладание темпов роста внешних результатов над внутренними выделяет фазу развития. Далее вводится классификация предприятий ВКХ по типу роста (развития) (табл. 3). Классификация позволяет найти полезные примеры-аналоги развития для каждого выбранного типа. Это дает возможность определить пути дальнейшего анализа и прогнозирования жизненного цикла предприятия.

В качестве основы классификации использованы следующие предположения. Положительная «точка роста» (развития) та, у которой все четыре коэффициента $K_i|_{i=1,2,3,4} > 1$.

В зависимости от того, какой коэффициент K_i имеет максимальное значение, выделяются четыре типа положительных «точек роста» (развития).

Тип первый: $K_4 = \max K_i|_{i=1,2,3,4}$ (3)

В этом случае процессы внутреннего роста за счет внутренних источников являются основными. Это характерно для инноваций внутри отрасли и структурной перестройки для отдельного региона и страны в целом.

Введем определение коэффициента $L|_{k=1}$ – уровня идентификации «точки» по первому типу: $L|_{k=1} = (3 K_4 - K_1 - K_2 - K_3) > 0$. (4)

Отрицательное значение коэффициента $L|_{k=1}$ в силу соотношений (3) и (4) означает, что какое-то из основных предположений первого типа нарушается. Далее будем считать, что траектория исследуемой «точки» по характеру роста (развития) ближе к первому типу, чем выше расчетное значение $L|_{k=1}$.

Аналогичным образом охарактеризованы другие типы «точек роста» (развития). Коэффициенты $L|_k$ – уровней идентификации «точки» – введены еще по семи типам:

– Тип второй: $K_3 = \max K_i|_{i=1,2,3,4}$, когда процессы внутреннего роста за счет внешних источников являются основными. Это характерно для использования предприятием займов (внешних инвестиций).

– Тип третий: $K_2 = \max K_i|_{i=1,2,3,4}$, когда ускорение собственного развития и структурные преобразования в окружающей среде происходят, в основном, за счет внутренних источников. Японские технополисы, которые создавались за счет ресурсов местных органов власти, служат тому характерным примером. В то же время импульсы развития от внедрения в технополисах новых производств и технологий оказали существенное влияние на развитие промышленно отсталых районов Японии.

– Тип четвертый: $K_1 = \max K_i|_{i=1,2,3,4}$, когда внешние источники используются для ускорения собственного роста и влияния на окружающую территорию. Так развивались китайские специальные экономические зоны и техно-промышленные парки, которые создавались при финансовой и административной помощи государства. Этот тип «точек развития» является наиболее перспективным для экономики, находящейся на стадии трансформации.

Отрицательный тип роста (развития), когда все четыре коэффициента $K_i|_{i=1,2,3,4} < 1$.

В зависимости от того, какой из коэффициентов K_i имеет наименьшее значение, выделяются четыре варианта отрицательных «точек роста» (развития).

– К типу пятому: $K_4 = \min K_i |_{i=1,2,3,4}$ относятся отрицательные «точки», обладающие отрицательным ростом. Такая «точка» неэффективно использует собственные ресурсы и является убыточной. Характерный пример – увеличение безработицы в быстро развивающихся городах.

– Шестой тип отрицательных «точек» характеризуется соотношением $K_3 = \min K_i |_{i=1,2,3,4}$. Внешние ресурсы могут быть использованы в процессах отрицательного роста. Показательный пример, когда государство перераспределяет ресурсы убыточным предприятиям.

Таблица 3. Параметрические признаки «точек роста (развития)»

Table 3. Parametric features of the «points of growth (development)»

| № п/п | Тип точки | Коэффициент мультипликативности, K_1 | Коэффициент синергичности, K_2 | Коэффициент адаптивности, K_3 | Коэффициент интенсивности, K_4 | Уровень идентификации точки, L |
|-------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | «Точка роста» с внутренним источником | $< K_4$ > 1 | $< K_4$ > 1 | $< K_4$ > 1 | > 1 | $3 K_4 - K_1 - K_2 - K_3$ |
| 2 | «Точка роста» с внешним источником | $< K_3$ > 1 | $< K_3$ > 1 | > 1 | $< K_3$ > 1 | $3 K_3 - K_1 - K_2 - K_4$ |
| 3 | «Точка развития» с внешним источником | > 1 | $< K_2$ > 1 | $< K_2$ > 1 | $< K_2$ > 1 | $3 K_1 - K_2 - K_3 - K_4$ |
| 4 | «Точка развития» с отрицательным ростом | $> K_3$ > 1 | $< K_3$ | < 1 | $> K_3$ < 1 | $3 K_1 - K_2 - 2 K_3 - K_4$ |
| 5 | Отрицательная «точка роста» с внутренним источником | $> K_4$ < 1 | $> K_4$ < 1 | $> K_4$ < 1 | < 1 | $K_1 + K_2 + K_3 - 3 K_4$ |
| 6 | Отрицательная «точка роста» с внешним источником | $> K_3$ < 1 | $> K_3$ < 1 | < 1 | $> K_3$ < 1 | $K_1 + K_2 + K_4 - 3 K_3$ |
| 7 | Отрицательная «точка развития» с внутренним источником | $< K_2$ > 1 | > 1 | $< K_2$ > 1 | $< K_2$ > 1 | $3 K_2 - K_3 - K_1 - K_1$ |
| 8 | Отрицательная «точка развития» с внешним источником | < 1 | $> K_2$ < 1 | $> K_2$ < 1 | $> K_2$ < 1 | $K_2 + K_3 + K_4 - 3 K_1$ |

– Седьмой тип: $K_2 = \min K_i |_{i=1,2,3,4}$, определяющим процессом является внутренняя деградация отрицательной «точки». Большинство неэффективных экономических субъектов завершает свой жизненный цикл по такой траектории.

– Восьмой тип: $K_1 = \min K_i |_{i=1,2,3,4}$ – отрицательная «точка», поглощающая внешние ресурсы и оказывающая негативное влияние на окружение. Фактически происходит ускорение падения уровня развития окружения. Такая «точка» выступает своеобразным мультипликатором экономической деградации.

Параметрические признаки «точек роста» (развития) с формулой оценки уровня идентификации (L) путем сопоставления коэффициентов сведены в табл. 3. В реальности характеристики объекта гораздо чаще сочетают несколько типов точек, поэтому эффективность деятельности предприятий проанализирована по степени приближенности к тому или иному типу.

Объемами технического водоснабжения предприятий ВКХ в данной работе пренебрегается, т. к. они для выбранных предприятий в исследуемые периоды намного (один-два порядка) уступают объемам питьевого водоснабжения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве объекта исследований выбраны предприятия ВКХ шести региональных центров Сибири. На первом этапе анализа произведен расчет P – интегрированного показателя приоритетности – для предприятий ВКХ Барнаула (ООО «Барнаульский водоканал»), Красноярска (ООО «Краском»), Омска (ОАО «ОмскВодоканал»), Томска (ООО «Томскводоканал»), Иркутска (МУП «Водоканал Иркутска»), Новосибирска (МУП г. Новосибирска «Горводоканал») (табл. 4). В соответствии с требованиями правообладателей в работе сделаны ссылки на источники первичных данных, где размещена отчетная документация о деятельности предприятий ВКХ Барнаула [6], Красноярска [7], Омска [8], Томска [9], Иркутска [10] и Новосибирска [11].

Из результатов расчетов по первичным данным следует, что наибольшие, в сравнении с остальными участниками, изменения в период с 1 января 2013 по 31 декабря 2014 гг. происходили с предприятием ВКХ Иркутска (значение показателя приоритетности 13,149). Можно предположить, что в этот период на предприятии происходило существенное изменение финансово-экономической политики. По темпам активности за ним следуют предприятия ВКХ Красноярска (2,34), Томска (1,547), Новосибирска (1,01) и Барнаула (0,868), замыкает список ОАО «ОмскВодоканал» (0,775).

Во второй период (с 1 января 2015 по 31 декабря 2016 гг.), по сравнению с первым (2013–2014 гг.), интенсифицировали свою деятельность предприятия ВКХ Барнаула (с 0,868 до 1,663), Новосибирска (с 1,01 до 1,274) и Омска (с 0,775 до 0,898). Несмотря на изменение макроэкономической ситуации,

предприятие ВКХ Новосибирска улучшило свои показатели, а ООО «Барнаулский водоканал» вышло из отстающих и закрепилось в числе устойчиво развивающихся компаний. Омичам еще предстоит доказать свое право на место среди успешных предприятий. Водоканалы Красноярска и Томска несколько снизили свою активность, однако с учетом того, что интегрально показатель приоритетности остался выше единицы, этот факт может быть отнесен к допустимым колебаниям в непростых макроэкономических условиях. После «прорывного» первого периода Р (интегрированный показатель приоритетности «точек роста») у предприятия Иркутска в 2015–2016 гг. оказался меньше единицы (0,944). Это свидетельствует о том, что важной задачей предприятия на последующие периоды остается стабилизация достигнутого уровня финансово-производственных показателей.

Следует заметить, что в оба рассматриваемых периода показатель Р был больше единицы только у водоканалов Красноярска, Томска и Новосибирска, что говорит о значительных резервах повышения эффективности деятельности у остальных рассмотренных экономических субъектов из Барнаула, Омска и Иркутска.

Применение изложенного подхода позволяет выявить содержательный временной срез весьма изменчивой картины деятельности однопрофильных предприятий. Кроме того, можно сделать предположительный вывод о возможности интенсификации менеджмента практически на всех рассмотренных предприятиях ВКХ.

Более пристального внимания заслуживают коэффициенты мультипликативности и синергетичности, которые характеризуют трансформацию внешних и внутренних ресурсов во внешние результаты, существенные для социально-экономического окружения.

В первый рассматриваемый период (2013–2014 гг.) по первому показателю лидерами были предприятия ВКХ Томска (1,462), Иркутска (1,125), Омска (1,083) и Барнаула (1,085). У предприятий Красноярска (0,92) и Новосибирска (0,878) значения данного коэффициента меньше единицы. Во второй период (2015–2016 гг.) достичь удовлетворительных результатов по этому показателю удалось только набирающим обороты водоканалам Красноярска (2,001) и Новосибирска (1,244). Уменьшение значений показателя мультипликативности во второй период у предприятий Барнаула (0,625), Иркутска (0,892), Омска (0,929) и Томска (0,919) свидетельствует о замедлении процессов отдачи во внешнюю среду. Возможно, этот факт стал одним из следствий изменившейся макроэкономической ситуации.

У предприятий Красноярска и Омска во второй период повысилось значение коэффициента синергетичности: у Красноярска – с 0,983 до 1,025, Омска – с 0,735 до 0,811, что демонстрирует наличие на этих предприятиях внутреннего потенциала обеспечения внешних результатов за счет собственных ресурсов.

По коэффициенту синергетичности в первый период лидировал водоканал Иркутска (28,29), во второе двухлетие его внутренние ресурсы стали существенно ниже, что в новой экономической ситуации привело к снижению показателя до неудовлетворительного уровня 0,716. Из остальных предприятий только у водоканала Томска в оба исследованных периода величина этого показателя обеспечения внешних результатов за счет собственных ресурсов удовлетворительна, т. е. больше единицы – 1,37 и 1,224.

В целом, судя по суммам первых двух коэффициентов, наиболее значительное влияние на социально-экономическую среду в 2013–2016 гг. оказывало предприятие Иркутска (усредненный показатель 7,756). Далее в порядке убывания расположились предприятия Томска (1,244), Красноярска (1,232), Новосибирска (0,914), Омска (0,89) и Барнаула (0,691).

Параметрический анализ проводился для предприятий водоканала в соответствии с классификацией пунктов табл. 3. Более высокое их значение соответствует большей близости к тому или иному типу. Например, для предприятия Барнаула в период 2013–2014 гг. близость к первому типу «точки роста» с внутренним источником ресурсов составляет -1,024, к второму типу «точки роста» с внешним источником ресурсов 1,484, к третьему типу -1,328 и т. д. Отрицательное значение показывает степень удаленности объекта от определенного типа, но не означает отрицательной динамики развития. Так, значение $L|_{k=1}$ равно -1,024 для предприятия Барнаула показывает, что данное предприятие не относилось в первый период к типу «точки роста» с внутренним источником, но не указывает на отрицательную «точку роста» с внутренним источником.

Наибольшая величина для предприятия Барнаула за период 2013–2014 гг. во второй строке – 1,484. Это означает, что предприятие ВКХ Барнаула соответствовало второму типу «точки роста» с внешним источником более, чем к семи другим типам. Результаты параметрического анализа всех компаний для двух выбранных периодов представлены в табл. 5. В нижней строке для каждой компании указан тип «точки роста» (развития), которому соответствует предприятие.

Из данных нижней строки табл. 5 следует, что все предприятия ВКХ в период 2013–2016 гг. относились к полезным типам «точки роста» (№1, 2, 3, 4). Судя по представленным данным, ООО «Барнаульский водоканал» в исследованные периоды представлял «точку роста» с внешним источником, что говорит о положительном, но начальном для потенциальных возможностей предприятия уровне влияния на окружающую социально-экономическую среду. МУП г. Новосибирска «Горводоканал» в оба периода был «точкой роста». Следует отметить, что в период 2013–2016 гг. произошла переориентация предприятия Новосибирска с внутренних ресурсов на внешние. ООО «Томскводока-

нал» как «точка роста» испытало в исследованный период противоположную трансформацию: предприятие переориентировалось с внешних источников на внутренние. В этой ситуации поддержание стабильности за счет внутренних резервов делает особо актуальным поиск внешних источников.

Качественные изменения в эти годы происходили и с остальными предприятиями. ООО «Краском» прошло путь от «точки роста» с внутренним источником – до «точки развития» с внешним источником. МУП «Водоканал» г. Иркутска и ОАО «ОмскВодоканал» снизили уровни развития: из «точки развития» в первый период до «точки роста» с внешними источниками во второй. Такой вариант вполне приемлем для предприятий, но данная ситуация может не устраивать муниципалитеты: не будут ли последние заинтересованы в интенсификации использования городским предприятием ВКХ внутренних резервов и возврате более высокого уровня предоставления коммунальных услуг.

Параметрическая приближенность к типу «точка развития» с внешним источником позволяет определять объекты, наиболее перспективные для инвестирования. В данном исследовании это ОАО «ОмскВодоканал» в первом периоде и ООО «Краском» – во втором. В то же время «точки роста» и «точки развития» с внутренними источниками – наиболее результативны при использовании собственных ресурсов.

Сохранившие форму муниципальной собственности предприятия Иркутска и Новосибирска в целом справились с задачами водоснабжения и водоотведения. Однако во второй, более трудный период, новосибирцы оставались «точкой роста» уже за счет внешних по отношению к предприятию источников ресурсов. Иркутяне же снизили свой уровень развития: из предприятия, оказывавшего значительное влияние на социально-экономическое окружение, стали «точкой роста» на основе использования внешних ресурсных источников.

Во второй период, оказавшийся в силу изменения макроэкономической ситуации в известной степени мобилизационным, предприятия ВКХ из Барнаула и Томска, выбравшие форму обществ с ограниченной ответственностью, сохранили достигнутый уровень развития. ООО «Краском» путем объединения коммунальных услуг в «одних руках» за исследованный период даже добилось качественного повышения уровня своего развития. По-видимому, в этом случае можно говорить о положительном влиянии «ручного управления» в менеджменте непростых ситуаций. ОАО «ОмскВодоканал» пока не удалось реализовать преимуществ выбранной организационно-правовой формы, перед предприятием стоит задача качественного улучшения внутрифирменного менеджмента для того, чтобы выйти на прежний уровень развития.

ВЫВОДЫ

Переход к модели устойчивого водопользования в Сибири, как и в целом в России, может быть осуществлен только на пути повышения эффективности водоснабжения и водоотведения городов и регионов страны. Модельный подход к оценке характера развития экономических субъектов данной отрасли сочетает набор качественных и количественных показателей, охватывающих существенные аспекты раскрытия информации по устойчивости деятельности предприятий водокоммунального хозяйства и оценке связи ресурсов и результатов. При этом обобщающие коэффициенты эффективности предприятия оказались весьма чувствительны к изменениям годовых производственно-финансовых показателей предприятия. Параметрическая приближенность к типу «точка развития» с внешним источником позволяет определять объекты, наиболее перспективные для инвестирования. В то же время, «точки роста» и «точки развития» с внутренними источниками – наиболее результативны при использовании собственных ресурсов. Рассмотрение практического опыта сибирских водоканалов показало, что в настоящее время различия в характере развития компании ВКХ при принятии решений в области инвестиций учитываются крайне редко.

Таблица 4. Расчет показателей эффективности «точки роста (развития)» по предприятиям

Table 4. Calculation of the «points of growth (development)» effectiveness by plants

| Предприятие | Коэффициент мультипликативности K_1 | | Коэффициент синергетичности K_2 | | Коэффициент адаптивности K_3 | | Коэффициент интенсивности K_4 | | Показатель приоритетности P | |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------|-----------------------------------|-------|--------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| | 2013–2014 гг. | 2015–2016 гг. | | | | | | | | |
| ООО «Барнаулский водоканал» | 1,085 | 0,625 | 0,536 | 0,516 | 1,23 | 3,016 | 0,612 | 2,493 | 0,868 | 1,663 |
| ООО «Краском» | 0,92 | 2,001 | 0,983 | 1,025 | 3,605 | 1,687 | 3,85 | 0,865 | 2,34 | 1,395 |
| ООО «Томскводоканал» | 1,462 | 0,919 | 1,37 | 1,224 | 1,732 | 1,275 | 1,622 | 1,698 | 1,547 | 1,279 |
| МУП г. Новосибирска «Горводоканал» | 0,878 | 1,244 | 0,968 | 0,564 | 1,043 | 2,262 | 1,150 | 1,026 | 1,010 | 1,274 |
| ОАО «ОмскВодоканал» | 1,083 | 0,929 | 0,735 | 0,811 | 0,764 | 0,989 | 0,518 | 0,863 | 0,775 | 0,898 |
| МУП «Водоканал» г. Иркутска | 1,125 | 0,892 | 28,29 | 0,716 | 0,886 | 1,202 | 22,3 | 0,966 | 13,149 | 0,944 |

Таблица 5. Параметрические характеристики приближенности предприятий к типам «точки роста» (развития)
 Table 5. Parametric characteristics of the plants' proximity to the «points of growth (development)» types

| № п/п | Типы «точки роста» (развития) | ООО «Барнаульский водоканал» | | ООО «Краском» | | ОАО «ОмскВодока-нал» | | ООО «ТомскВодока-нал» | | МУП «Водоканал» г. Иркутска | | МУП г. Новосибирска «Горводоканал» | |
|-------|--------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------|--------|----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| | | I 2013–2014 | II 2015–2016 | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| 1 | «Точка роста» с внутренним источником | -1,024 | 3,323 | 6,044 | -2,12 | -1,027 | -0,138 | 0,304 | 1,677 | 36,588 | 0,087 | 0,562 | -0,991 |
| 2 | «Точка роста» с внешним источником | 1,484 | 5,414 | 4,061 | 1,171 | -0,043 | 0,364 | 0,74 | -0,017 | -49,05 | 1,033 | 0,133 | 3,951 |
| 3 | «Точка развития» с внутренним источником | -1,328 | -4,585 | -5,427 | -1,477 | -0,162 | -0,348 | -0,706 | -0,219 | 60,56 | -0,911 | -0,167 | -2,839 |
| 4 | «Точка развития» с внешним источником | 0,868 | -4,152 | -5,678 | 2,425 | 1,232 | 0,123 | -0,338 | -1,44 | -48,097 | -0,210 | -0,528 | -0,121 |
| 5 | Отрицательная «точка роста» с внутренним источником | 1,024 | -3,323 | -6,044 | 2,12 | 1,027 | 0,138 | -0,304 | -1,677 | -36,588 | -0,087 | -0,562 | 0,991 |
| 6 | Отрицательная «точка роста» с внешним источником | -1,484 | -5,414 | -4,061 | -1,171 | 0,043 | -0,364 | -0,74 | 0,017 | 49,05 | -1,033 | -0,133 | -3,951 |
| 7 | Отрицательная «точка развития» с внутренним источником | 1,328 | 4,585 | 5,427 | 1,477 | 0,162 | 0,348 | 0,706 | 0,219 | -60,56 | 0,911 | 0,167 | 2,839 |
| 8 | Отрицательная «точка развития» с внешним источником | -0,868 | 4,152 | -2,425 | -1,232 | -0,123 | -0,123 | 0,338 | 1,44 | 48,097 | 0,210 | 0,528 | 0,121 |
| | Номер типа точки Аля предприятия | 2 | 2 | 1 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |

В представленной работе охарактеризовано развитие предприятий водокommunального хозяйства региональных центров Сибири в период с 2013 по 2016 гг. Модельный подход к оценке эффективности сибирских водных компаний использован для идентификации характера развития естественных монополий с различной организационно-правовой формой. В условиях осложнения макроэкономической ситуации предприятия с муниципальной формой собственности, в целом, справились с задачами водоснабжения и водоотведения в рассмотренных крупных сибирских городах, однако в некоторых случаях произошло снижение уровня развития и изменение источников финансовых ресурсов. В деятельности компаний со смешанным капиталом проявилось положительное влияние «ручного» управления в менеджменте непростых ситуаций, хотя какой-либо однозначный вывод делать еще рано. Для обоснования более надежных рекомендаций необходимо продолжение и расширение финансово-экономического мониторинга устойчивости развития водных компаний как в Сибири, так и по стране в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года: утв. Распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р. М., 2009.
2. Антонова А.В. Реализация Водной стратегии регионами Сибирского федерального округа // Региональная экономика: теория и практика. 2013. Т. 11. Вып. 31. С. 50–54.
3. Мельнов Д.А. Повышение качества коммунальных услуг на основе модернизации коммунальной экономики на примере услуг водоснабжения и водоотведения: автореф. дисс. ... канд. экон. наук. М., 2013. 151 с.
4. Цхай А.А. Развитие предприятий водокommunального хозяйства: взаимосвязь ресурсов и результатов // Водное хозяйство России. 2018. № 4. С. 108–118.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 17.01.2013. № 6 «О стандартах раскрытия информации в сфере водоснабжения и водоотведения». М., 2013.
6. ООО «Барнаульский водоканал». Режим доступа <https://barnaulvodokanal.ru/> (дата обращения 12.05.2019).
7. ООО «Краском». Режим доступа <http://www.kraskom.com> (дата обращения 12.05.2019).
8. ОАО «ОмскВодоканал». Режим доступа <http://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=21901&type=3> (дата обращения 12.05.2019).
9. ООО «Томскводоканал». Режим доступа <http://www.vodokanal.tomsk.ru/> (дата обращения 12.05.2019).

10. МУП «Водоканал» Иркутска. Режим доступа <https://www.irkvkx.ru/> (дата обращения 12.05.2019).
11. МУП г. Новосибирска «Горводоканал». Режим доступа <https://gorvodokanal.com/info/?item=32> (дата обращения 12.05.2019).

Для цитирования: Цхай А.А., Левина А.В., Модельная оценка эффективности водопользования в Сибири на примере предприятий водокommunального хозяйства // *Водное хозяйство России*. 2019. № 6. С. 84–100.

Сведения об авторах:

Цхай Александр Андреевич, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук»; профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Россия, 656038, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46; e-mail: taa1956@mail.ru

Левина Алина Викторовна, соискатель кафедры высшей математики и математического моделирования, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Россия, 656038, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46; e-mail: levina333@mail.ru

MODEL ASSESSMENT OF THE WATER USE EFFECTIVENESS IN SIBERIA BY THE EXAMPLE OF MUNICIPAL WATER COMPANIES

Aleksandr A. Tskhai^{1,2}, **Alina V. Levina**²

¹ *Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia*

² *Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia*

Abstract. Object of research: enterprises of water supply and wastewater treatment in Siberia. Objective: to develop an approach to assessing the development of water use in Siberia on the example of companies for water supply and wastewater treatment. Tasks: selection of indicators of the character of the development of economic entities in the industry; development and approbation of methods for assessing the effectiveness of enterprises on the example of Siberian water companies with different organizational and legal forms. The paper describes the development of water utilities of six regional centers of Siberia in the period from 2013 to 2016. The model approach to assessing the effectiveness of Siberian water companies was used to identify the development character for natural monopolies with different organizational and legal forms. Working in the challenging environment, the enterprises to the municipal ownership, in general, coped with the tasks of water supply and wastewater treatment in the considered large Siberian cities, however, in some cases there was a decrease in the level of development and changing funding sources. In the activity of companies with mixed capital, the positive influence of «manual» administration in the management of difficult situations was manifested, although it is too early to draw any

definite conclusion. To justify more reliable recommendations, it is necessary to continue and expand financial and economic monitoring of the sustainability of water companies, both in Siberia and in the country as a whole.

Key words: water supply, waste treatment, resource, result, effectiveness, sustainability, indicator.

About the authors:

Aleksandr A. Tskhai, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the RAS. Professor of the Polzunov Altai State Technical University, 656038, Barnaul, Lenin Prospect 46, AltSTU, Russia; e-mail: taa1956@mail.ru

Alina V. Levina, Applicant of the Higher Mathematics and Mathematical Modeling Chair of the Polzunov Altai State Technical University, 656038, Barnaul, Lenin Prospect 46, AltSTU, Russia; e-mail: levina333@mail.ru

For citation: *Tskhai A.A., Levina A.V. Model Assessment of the Water Use Effectiveness in Siberia by the example of municipal water companies // Water Sector of Russia. 2019 No. 6. P. 84–100.*

REFERENCES

1. Vodnaia strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 goda: utverzhdena raspriazheniem Pravitel'stva RF ot 27.08.2009 [Water strategy of the Russian Federation for the period up to 2020: approved by order of the Government of the Russian Federation of 27.08.2009]. № 1235-r. Moskva, 2009.
2. Antonova A. V. Realizatsiia Vodnoi strategii regionami Sibirskogo federal'nogo okruga [Implementation of Water strategy by the regions of the Siberian Federal district] // Regional'naiia ekonomika: teoriia i praktika. 2013. Vol. 11. № 31. P. 50–54.
3. Mel'nov D. A. Povyshenie kachestva kommunal'nykh uslug na osnove modernizatsii kommunal'noi ekonomiki na primere uslug vodosnabzheniia i vodootvedeniia: [Improving the quality of public services on the basis of modernization of the municipal economy on the example of water supply and sanitation services] diss....kand. ekon. nauk. Moskva, 2013. 151 p.
4. Tskhai A. A. Razvitie predpriatii vodokommunal'nogo khoziaistva: vzaimosviaz' resursov i rezul'tatov [Development of water utilities: the relationship of resources and results] // Vodnoe khoziaistvo Rossii. 2018. № 4. P.108-118.
5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 17.01.2013. № 6: «O standartakh raskrytiia informatsii v sfere vodosnabzheniia i vodootvedeniia» [About standards of information disclosure in the field of water supply and wastewater treatment]. Moskva, 2013.
6. OOO «Barnaul'sky vodokanal». (The «Barnaul' vodokanal» limited liability company). Rezhim dostupa <https://barnaulvodokanal.ru/> (data obrashcheniia 12.05.2019).
7. OOO «Kraskom» (The «Krasnoyarsk housing and communal complex» limited liability company). Rezhim dostupa <http://www.kraskom.com> (data obrashcheniia 12.05.2019).
8. OAO «OmskVodokanal» [Public corporation «OmskVodokanal»]. Rezhim dostupa <http://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=21901&type=3> (data obrashcheniia 12.05.2019).

9. ООО «Tomskvodokanal» (The «Tomskvodokanal» limited liability company. Rezhim dostupa <http://www.vodokanal.tomsk.ru/> (data obrashcheniia 12.05.2019).
10. МУП «Vodokanal» Irkutsk. (The «Vodokanal» of the Irkutsk municipal unitary enterprise). Rezhim dostupa <https://www.irkvkh.ru/> (data obrashcheniia 12.05.2019).
11. МУП г. Novosibirsk «Gorvodokanal» [Municipal unitary enterprise «Gorvodokanal» of Novosibirsk]. Rezhim dostupa <https://gorvodokanal.com/info/?item=32> (data obrashcheniia 12.05.2019).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ECOLOGICAL ASPECTS OF WATER/ECONOMIC ACTIVITIES



ОЧИСТКА МОРСКОЙ ВОДЫ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ

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

E-mail: av.voronina@mail.ru

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

АННОТАЦИЯ: Исследована сорбция в статических условиях радионуклидов цезия и стронция из морской воды ферроцианидными сорбентами на основе гидратированных диоксидов титана и циркония (Т-35, НКФ-ГДТ), природных алюмосиликатов глауконита и клиноптилолита (НКФ-Гл, НКФ-Кл), фосфатом циркония (Т-3А), модифицированным гидратированным диоксидом циркония (Т-3К), диоксидом марганца на основе гидратированного диоксида титана (МД-ГДТ). Получены изотермы сорбции, определены коэффициенты распределения цезия и стронция. Получены зависимости коэффициента распределения цезия сорбентами от содержания морской воды.

Для переработки жидких радиоактивных отходов на основе морской воды с различным содержанием рекомендованы сорбенты НКФ-Гл и НКФ-ГДТ. Коэффициенты распределения цезия между твердой и жидкой фазами составляют $1,0 \cdot 10^5$ и $1,0 \cdot 10^4$ мл/г соответственно даже при содержании 100 г/л. При сорбции стронция из морской воды коэффициенты распределения стронция не превышают $1,9 \cdot 10^2$ мл/г, что связано с присутствием в имитате морской воды большой доли (34 ± 7 %) устойчивых псевдорадиоколлоидов стронция.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская вода, жидкие радиоактивные отходы, очистка, цезий, стронций, сорбент, гидратированный диоксид титана, алюмосиликаты, ферроцианиды, фосфат циркония.

Загрязнение радионуклидами вод Мирового океана происходит в результате испытаний ядерного оружия, при сбросе радиоактивных вод и радиоактивных отходов предприятий ядерного топливного цикла, аварий, сброса радиоактивных отходов судов, работающих на атомных двигателях, атомных электростанций в прибрежной зоне. Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) на основе морской воды образуются в процессе эксплуатации и авариях транспортных реакторов судов. Большое количество ЖРО накоплено при охлаждении аварийных энергоблоков АЭС Фукусима-1 (Япония) морской водой.

Очистка от радионуклидов вод высокой минерализации, а именно такой является морская вода, представляет более сложную задачу, чем очистка пре-

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

сных вод. Присутствие макрокомпонентов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} в высокой концентрации оказывает конкурентное влияние при сорбции радионуклидов цезия и стронция. Высокая концентрация и разнообразие присутствующих анионов обуславливают разнообразие форм состояния радионуклидов. Разработка методов иммобилизации радионуклидов из сложных по составу ЖРО представляет научный и практический интерес.

Исследованы сорбции цезия и стронция из морской воды и отходов, содержащих морскую воду, сорбционно-реагентным материалом на основе аморфного силиката бария BaSiO_3 (СРМ-Sr) [1], композитными материалами на основе силикатов бария и резорцинформальдегидных смол [2–3], титаносиликатами [4–5], модифицированным диоксидом марганца (МДМ) [5], синтетическим иванюкитом [5], гранулированным натрий-бирнесситом [6]. Высокие коэффициенты распределения при сорбции стронция из морской воды – $6,0 \cdot 10^4$ и $6,4 \cdot 10^3$ мл/г – получены для сорбционно-реагентного материала на основе аморфного силиката бария BaSiO_3 [1, 5], при этом отмечено, что сорбент обладает низкой гидромеханической прочностью, а коэффициент распределения стронция зависит от соотношения V/m [1]. При введении связующего (резорцинформальдегидных смол) в BaSiO_3 с последующим гранулированием был получен сорбент для совместного удаления цезия и стронция из морской воды. Максимально достигаемые для него коэффициенты распределения (K_d) стронция и цезия из морской воды составили $3,8 \cdot 10^4$ и $2,9 \cdot 10^3$ мл/г соответственно [2].

Уступают по специфичности сорбции стронция титаносиликат SL3, синтетический иванюкит, сорбент МДМ, для которых K_d не превышает 29, 61 и $5,9 \cdot 10^2$ мл/г. Исследования сорбции цезия данными сорбентами проведены из содержащих кальций растворов различной концентрации. Низкой селективностью обладают природные алюмосиликаты, поэтому применение их для очистки морской воды от радионуклидов цезия и стронция нецелесообразно.

В данной работе проведена оценка возможности концентрирования ^{137}Cs и ^{90}Sr из морской воды ферроцианидными сорбентами на основе природных и искусственных носителей (Т-35, НКФ-ГДТ, НКФ-Гл, НКФ-Кл), диоксидом марганца на основе гидратированного диоксида титана (МД-ГДТ), фосфатом циркония (Т-3А), модифицированным гидроксидом циркония (Т-3К).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сорбцию искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr исследовали из имитата морской воды. Имитат морской воды готовили путем растворения реактивов в дистиллированной воде. В табл. 1 приведен состав имитата морской воды.

Таблица 1. Состав имитата морской воды

| Соли | NaCl | MgCl ₂ | MgSO ₄ | CaCl ₂ | KCl | NaHCO ₃ | NaBr | pH |
|----------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|--------------------|-------|---------|
| Содержание г/л | 27,021 | 2,493 | 3,368 | 1,163 | 0,730 | 0,206 | 0,085 | 8,2±0,1 |

Удельная активность ЖРО составляла $8 \cdot 10^4$ Бк/л. При исследовании статистики сорбции концентрацию цезия и стронция в морской воде варьировали и устанавливали растворами CsCl и SrCl₂. Сорбцию радионуклидов из морской воды исследовали для двух групп сорбентов:

– сорбентов производства ПНФ «Термоксид» (г. Заречный): Т-3А – фосфат циркония марки «Термоксид», способ получения описан в работе [7]; Т-35 – ферроцианид никеля-калия на основе гидратированного диоксида циркония марки «Термоксид». Термоксид-35 представляет собой двухфазную систему, состоящую из высокодисперсной аморфной фазы гидроксида циркония, в порах которого располагаются микрокристаллы смешанного ферроцианида никеля [8]; сорбента Т-3К (модифицированный гидратированный диоксид циркония);

– лабораторных образцов поверхностно-модифицированных сорбентов, разработанных на кафедре радиохимии и прикладной экологии УрФУ: НКФ-ГДТ – ферроцианид никеля-калия на основе гидратированного диоксида титана, метод синтеза и некоторые сорбционные свойства сорбента описаны в работах [9–11]; МД-ГДТ – диоксид марганца на основе гидратированного диоксида титана; НКФ-Кл – ферроцианид никеля-калия на основе природного клиноптилолита Шивертуйского месторождения (Читинская обл.) [12–13]; НКФ-Гл – ферроцианид никеля-калия на основе кварц-глауконитового концентрата, полученного из глауконита Каринского месторождения (Челябинская обл.) [12].

При сорбции цезия объем раствора составлял 50 мл, навеска сорбента 20 мг. При сорбции стронция, вследствие реализации более низких коэффициентов распределения, объем раствора и навеска сорбента равны 20 мл и 50 мг соответственно. Радиометрирование проб проводили на полупроводниковом радиометре УМФ-2000 или сцинтилляционном гамма-бета-спектрометре МКС-АТ 1315 «Атомтех». Равновесные коэффициенты распределения цезия (K_d) из имитата ЖРО рассчитывали по формуле:

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

где V – объем раствора, мл;

m – масса сорбента, г;

S – степень извлечения радионуклида.

Долю коллоидов цезия и стронция в имитате морской воды с рН=8,2 и рН=2 определяли методом ультрафильтрации раствора через ядерные фильтры производства ОИЯИ (г. Дубна) с размером пор $0,14 \div 0,18$ мкм. Имитат морской воды до рН=2 доводили добавлением соляной кислоты. Объем раствора для ультрафильтрации составлял $V=10$ мл, концентрация цезия и стронция в растворе – 1 мг/л. Отбор проб и ультрафильтрацию проводили на следующий день после мечения имитата морской воды радионуклидами ^{137}Cs или ^{90}Sr . Радиометрировали пробы на альфа-бета-радиометре УМФ-2000 с полупроводниковым детектором. Долю коллоидов в морской воде рассчитывали по формуле:

$$\alpha_i = \frac{I_{\text{исх}} - I_{\text{фильтр}}}{I_{\text{исх}} - I_{\text{фон}}} \quad (2)$$

где α_i – доля цезия или стронция в форме коллоидов в i пробе раствора;

$I_{\text{исх}}$ – скорость счета раствора до ультрафильтрации;

$I_{\text{фильтр}}$ – скорость счета раствора после фильтрации;

$I_{\text{фон}}$ – скорость счета фона.

Дополнительно исследовали сорбцию цезия из морской воды с различной степенью разбавления и концентрирования. В табл. 2 приведены концентрации катионов и анионов в модельных растворах морской воды с различной степенью концентрирования и разбавления.

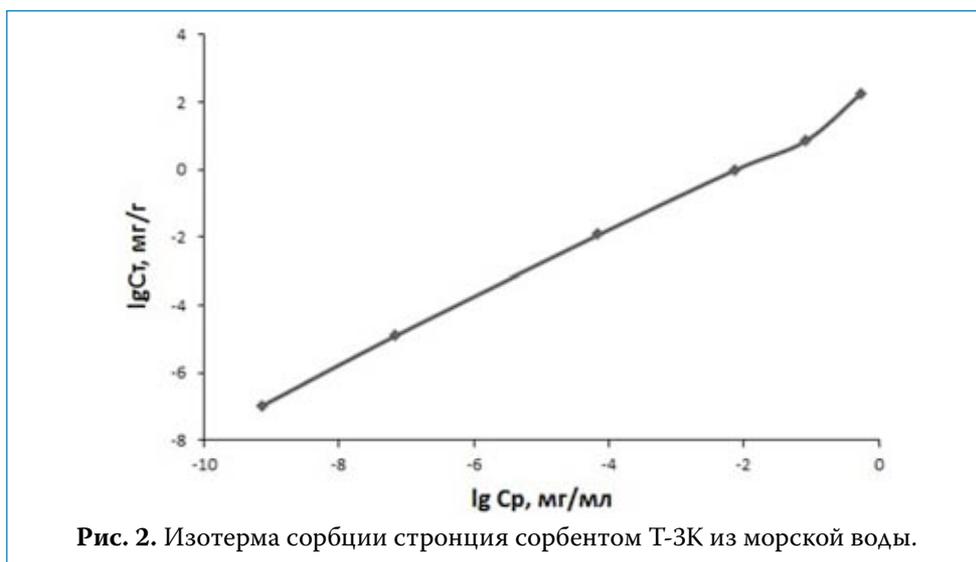
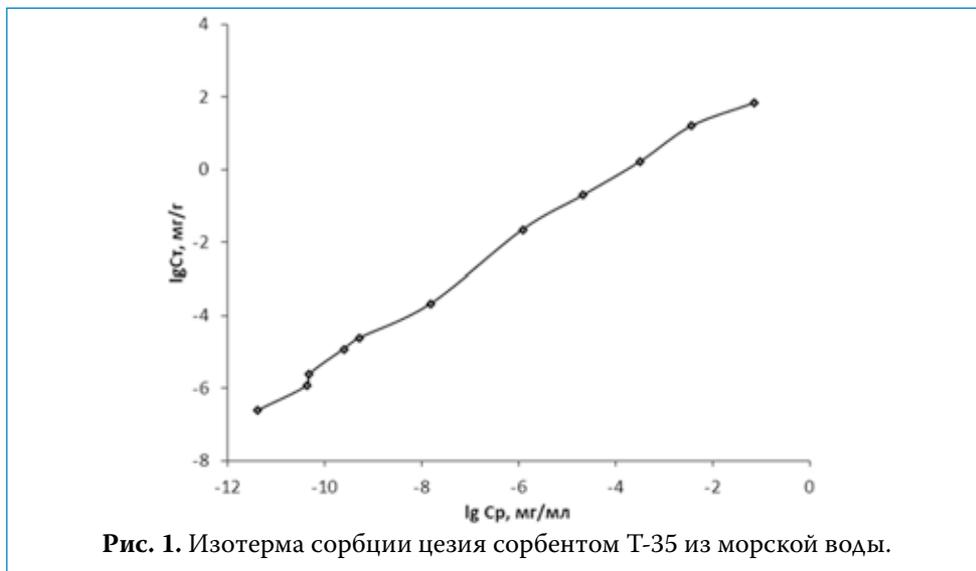
Таблица 2. Состав имитатов жидких радиоактивных растворов

| Содержание г/л Ион | Масса иона в имитате морской воды, г | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 3,5 | 7 | 17,5 | 35 | 70 | 105 | 140 |
| Na ⁺ | 1,076 | 2,1519 | 5,3798 | 10,76 | 21,519 | 32,279 | 43,038 |
| Mg ⁺² | 0,1297 | 0,2593 | 0,6483 | 1,2965 | 2,593 | 3,8895 | 5,186 |
| Ca ²⁺ | 0,0412 | 0,0824 | 0,206 | 0,4119 | 0,8238 | 1,2357 | 1,6476 |
| K ⁺ | 0,0399 | 0,0798 | 0,1996 | 0,3991 | 0,7982 | 1,1973 | 1,5964 |
| Sr ⁺² | 0,0008 | 0,0016 | 0,0039 | 0,0078 | 0,0156 | 0,0234 | 0,0312 |
| Cl ⁻ | 1,9353 | 3,8706 | 9,6765 | 19,353 | 38,706 | 58,059 | 77,412 |
| SO ₄ ⁻² | 0,2712 | 0,5425 | 1,3562 | 2,7124 | 5,4248 | 8,1372 | 10,85 |
| F ⁻ | 0,0001 | 0,0003 | 0,0007 | 0,0013 | 0,0026 | 0,0039 | 0,0052 |
| Br | 0,0067 | 0,0135 | 0,0337 | 0,0674 | 0,1348 | 0,2022 | 0,2696 |

Для исследования были приготовлены растворы с заданным содержанием и концентрацией стабильного цезия 1 мг/л. Пробы с высоким содержанием солей измеряли на гамма-спектрометре после установления равновесия в генетически связанной паре ^{137}Cs – $^{137\text{m}}\text{Ba}$ непосредственно в виде 10 мл раствора. Пробы с низким содержанием солей измеряли на бета-радиометре на латунных кюветках после упаривания 0,5 мл раствора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценку коэффициентов распределения цезия и стронция из имитата ЖРО на основе морской воды проводили в условиях статике сорбции. Для сорбентов выполняли точечную оценку сорбционных характеристик (K_{d1}). Для наиболее специфичных сорбентов получали изотермы сорбции в широком диапазоне концентраций цезия и стронция. На рис. 1 и рис. 2 приведены типичные изотермы сорбции цезия и стронция сорбентами марки



«Термоксид». Линейные участки изотерм сорбции, соответствующие области выполнения закона Генри, обрабатывали методом наименьших квадратов (МНК) и рассчитывали равновесные коэффициенты распределения K_{d2} . В табл. 3 приведены коэффициенты распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr , установленные при их сорбции из морской воды.

Таблица 3. Коэффициенты распределения цезия и стронция неорганическими сорбентами из морской воды, мл/г

| Радионуклид | Сорбент | | | | | | |
|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Т-3А | Т-35 | Т-3К | НКФ-ГДТ | МД-ГДТ | НКФ-Гл | НКФ-Кл |
| Цезий K_{d1} | $7,5 \cdot 10^2$ | $6,1 \cdot 10^4$ | – | $4,1 \cdot 10^4$ | – | $3,0 \cdot 10^4$ | $5,0 \cdot 10^4$ |
| Цезий K_{d2} | – | $2,2 \cdot 10^3$ | – | $1,6 \cdot 10^4$ | – | $2,2 \cdot 10^5$ | $6,9 \cdot 10^3$ |
| Стронций | – | – | $1,1 \cdot 10^2$ | $1,1 \cdot 10^2$ | $1,9 \cdot 10^2$ | 64 | 87 |

Из полученных результатов следует, что из морской воды эффективно концентрируют ^{137}Cs ферроцианидные сорбенты на носителях НКФ-ГДТ, Т-35, НКФ-Кл, НКФ-Гл. Они являются более селективными сорбентами к ^{137}Cs , чем фосфат циркония (сорбент Т-3А), и могут концентрировать цезий из солевых растворов сложного состава. Модифицированные алюмосиликаты НКФ-Кл и НКФ-Гл обладают высокой обменной емкостью к радионуклидам цезия и стронция (статическая обменная емкость сорбентов по цезию составила 402 ± 28 и 211 ± 15 соответственно, стронция 560 ± 39 и 37 ± 4 мг/г) и высокими коэффициентами распределения радионуклидов в присутствии элементов аналогов [14]. Иная ситуация наблюдается при сорбции стронция. Все исследованные сорбенты показали коэффициенты распределения стронция не более $1,9 \cdot 10^2$ мл/г. Для объяснения полученных результатов исследовали содержание псевдорadioколлоидов цезия и стронция в приготовленном имитате морской воды.

В табл. 4 представлены данные по доле псевдорadioколлоидов цезия и стронция в имитате морской воде при разных значениях pH.

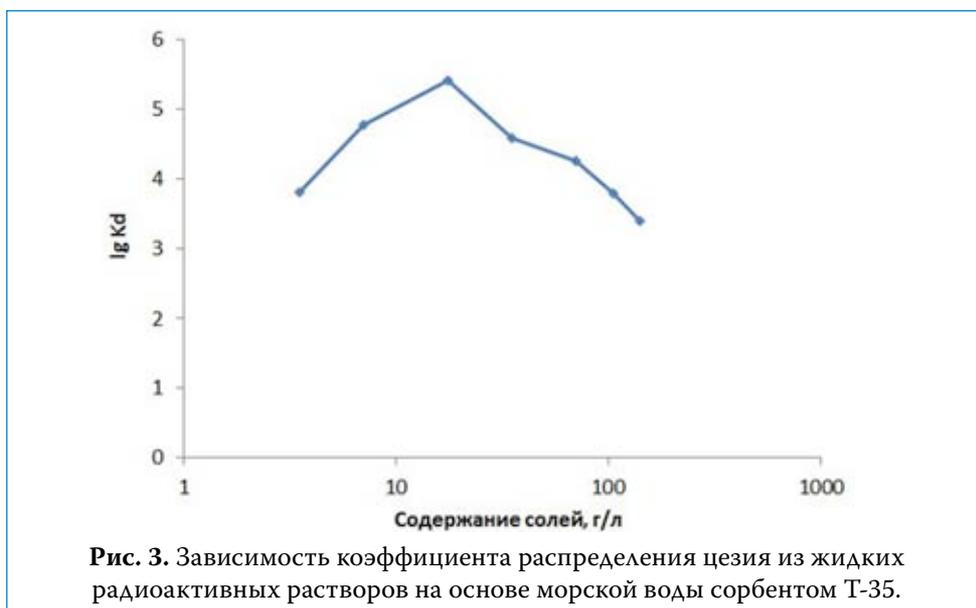
Таблица 4. Доля радионуклидов в форме псевдорadioколлоидов в имитате морской воды

| Радионуклид | α_i | |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| | pH=2 | pH=8,2 |
| ^{137}Cs | $0,097 \pm 0,040$ | $0,186 \pm 0,030$ |
| ^{90}Sr | $0,33 \pm 0,06$ | $0,34 \pm 0,07$ |

В соответствии с полученными значениями доля псевдорадиоколлоидов цезия в морской воде при $pH = 8,2$ в два раза больше чем в сильноокислой среде, тогда как доля стронция практически не зависит от pH среды. Псевдорадиоколлоиды, образованные стронцием в морской воде, более устойчивы, чем псевдорадиоколлоиды цезия. Сорбенты не извлекают псевдорадиоколлоиды, вследствие чего наблюдаются невысокие коэффициенты распределения стронция. Большая доля псевдорадиоколлоидов стронция, вероятно, связана с присутствием оксида кремния в реактивах. Поэтому окончательные выводы о пригодности сорбентов для очистки морской воды от стронция можно будет сделать только после проверки сорбционной способности на реальных образцах морской воды.

При упаривании ЖРО, а также при использовании мембранных технологий для переработки ЖРО на основе морской воды могут возникать концентрированные ЖРО с более высоким солесодержанием. На рис. 3 приведена зависимость коэффициента распределения цезия сорбентом Т-35 от солесодержания в разбавленном и концентрированном имитате морской воды.

Для сорбента Т-35 наблюдается при повышении солесодержания более $17,5$ г/л снижение коэффициента распределения цезия до $1,6 \cdot 10^3$ мл/г. Наиболее эффективными сорбентами для переработки ЖРО на основе морской воды с высоким солесодержанием оказались сорбенты НКФ-Гл и НКФ-ГДТ. Сорбент НКФ-Гл обеспечивает коэффициент распределения цезия $1,0 \cdot 10^5$ мл/г даже при солесодержании 100 г/л. В случае сорбента НКФ-ГДТ проис-



ходит снижение коэффициентов распределения цезия при концентрации солей более 70 г/л до величины 10^4 мл/г. Такое поведение сорбентов обусловлено высокой селективностью фазы ферроцианида никеля-калия к цезию и особенностями механизмов поглощения цезия.

ВЫВОДЫ

Высокое солесодержание и сложность химического состава морской воды, а также жидких радиоактивных отходов на основе морской воды обуславливают необходимость выбора селективного сорбента для решения задачи их очистки от долгоживущих радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Исследование сорбции радионуклидов из имитата морской воды промышленно выпускаемыми образцами марки «Термоксид» и лабораторными образцами модифицированных сорбентов на носителях позволило выбрать сорбенты, обладающие более высокими коэффициентами распределения радионуклидов и статической обменной емкостью. Селективными сорбентами к цезию являются ферроцианидные сорбенты на носителях, для которых коэффициент распределения цезия убывает в ряду НКФ-Гл > НКФ-ГДТ > НКФ-Кл > Т-35. Для переработки ЖРО с солесодержанием 100 г/л и более может быть использован сорбент НКФ-Гл, обеспечивающий коэффициент распределения цезия $1,0 \cdot 10^5$ мл/г. При использовании сорбента НКФ-ГДТ происходит снижение коэффициента распределения цезия при концентрации солей в растворе более 70 г/л до величины 10^4 мл/г.

При сорбции стронция все исследованные сорбенты показали близкие значения коэффициентов распределения, не превышающие $1,9 \cdot 10^2$ мл/г. Влияние на сорбцию стронция оказывает присутствие в имитате морской воды большой доли (34 ± 7 %) псевдорадиоколлоидов стронция, устойчивых к разрушению даже в кислой среде при $\text{pH}=2$. Тогда как доля псевдорадиоколлоидов цезия в имитате морской воды составляет $0,186 \pm 0,030$ %, и псевдорадиоколлоиды цезия разрушаются в присутствии высокоспецифичных сорбентов.

Таким образом, концентрирование радионуклидов цезия из морской воды лучше проводить сорбентами НКФ-Гл и НКФ-ГДТ, на сорбционные характеристики которых не оказывают существенного влияния элементы-аналоги. Окончательный вывод об эффективности концентрирования сорбентами стронция из морской воды можно сделать только после проведения исследований на реальной морской воде с учетом доли присутствующих в ней псевдорадиоколлоидов стронция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко В.А., Егорин А.М., Папынов Е.К., Сокольницкая Т.А., Тананаев И.Г., Сергиенко В.И. Технологии переработки жидких радиоактивных отходов, содержащих морскую воду // Радиохимия. 2017. Т. 59. № 4. С. 355–360.

2. Авраменко В.А., Железнов В.В., Майоров В.Ю., Пузь А.В., Сокольнищкая Т.А. Проблемы переработки жидких радиоактивных отходов, содержащих морскую воду // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 1–9.
3. Егорин А.М., Сокольнищкая Т.А., Тутов М.В., Токарь Э.А., Матвейкин М.Ю., Авраменко В.А. Композитные селективные сорбенты для очистки морской воды от радионуклидов цезия и стронция // Доклады Академии наук. 2015. Т. 460. № 2. С. 177–181.
4. Милютин В.В., Некрасова Н.А., Козлитин Е.А. Селективные неорганические сорбенты в современной прикладной радиохимии // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. № 31. С. 418–421.
5. Милютин В.В., Некрасова Н.А., Яничева Н.Ю., Калашишникова Г.О., Ганичева Я.Ю. Сорбция радионуклидов цезия и стронция на кристаллических титаносиликатах щелочных металлов // Радиохимия. 2017. Т. 59. № 1. С. 59–62.
6. Egorin A., Sokolnitskaya T., Azarova Y, Portnyagin A., Balanov M., Misko D., Shelestyuk T., Kalashnikova A., Tokar T., Tananaev I., Avramenko V. Investigation of Sr uptake by birnessite-type sorbents from seawater // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2018. Vol. 317, Iss.1. P. 243–251.
7. Мусеев В.Е., Шарыгин Л.М., Пышкин В.П. Синтез фосфатов циркония, титана и олова золь-гель методом и исследование их свойств // Неорганические материалы. 1983. № 11. С. 1899–1902.
8. Шарыгин Л.М., Муромский А.Ю., Калягина М.Л. Структура и свойства гранулированного неорганического катионообменника // Сорбционные и хроматографические процессы. 2006. № 6. С. 965–971.
9. Voronina A.V., Semenishchev V.S., Nogovitsyna E.V., Betenekov N.D. A study of ferrocyanide sorbents on hydrated titanium dioxide support using physicochemical methods // Radiochemistry. 2012. Vol. 54. Iss. 1. P. 69–74.
10. Voronina A.V., Semenishchev V.S., Nogovitsyna E.V., Betenekov N.D. Peculiarities of sorption isotherm and sorption chemisms of caesium by mixed nickel-potassium ferrocyanide based on hydrated titanium dioxide // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2013. Vol. 298. P. 67–75.
11. Voronina A.V., Semenishchev V.S. Mechanism of strontium sorption by the mixed nickel-potassium ferrocyanide based on hydrated titanium dioxide // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2016. Vol. 307. Iss. 1. P. 577–590.
12. Воронина А.В., Блинова М.О., Куляева И.О., Санин П.Ю., Семеничев В.С., Афонин Ю.Д. Сорбция радионуклидов цезия из водных растворов на природных и модифицированных алюмосиликатах // Радиохимия. 2015. Т. 57. № 5. С. 446–452.
13. Voronina A.V., Gorbunova T.V., Semenishchev V.S. The effect of the synthesis method on the parameters of pore structure and selectivity of ferrocyanide sorbents based on natural minerals // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2017. Vol. 312. Iss. 2. P. 241–254.
14. Воронина А.В., Куляева И.О., Гупта Д.К. Определение параметров селективной сорбции ^{137}Cs природными и модифицированными ферроцианидами глауконитом и клиноптилолитом // Радиохимия. 2018. Т. 60. № 1. С. 35–40.

Для цитирования: Воронина А.В., Носкова А.Ю., Семенищев В.С., Блинова М.О., Никифоров А.Ф., Очистка морской воды от радионуклидов цезия и стронция // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 102–120.

Сведения об авторах:

Воронина Анна Владимировна, канд. хим. наук, доцент, заведующая кафедрой радиохимии и прикладной экологии, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 21; e-mail: av.voronina@mail.ru

Носкова Анастасия Юрьевна, студент, кафедра радиохимии и прикладной экологии, Физико-технологический институт, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 21; e-mail: nastnosko2009@rambler.ru

Семенищев Владимир Сергеевич, канд. хим. наук, доцент, 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

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

Никифоров Александр Федорович, д. х. н., профессор, кафедра радиохимии и прикладной экологии, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 21; e-mail: alex.f.nikiforov@mail.ru

SEAWATER PURIFICATION FROM CESIUM AND STRONTIUM RADIONUCLIDES

**Anna V. Voronina, Anastasia Y. Noskova, Vladimir S. Semenishchev,
Marina O. Blinova, Aleksandr F. Nikiforov**

E-mail: av.voronina@mail.ru

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract: The article deals with the study of sorption (under batch conditions) of cesium and strontium radionuclides from sea water with ferrocyanidic sorbents based on hydrated titanium and zirconium dioxides (T-35, NPF-HTD), glauconite and clinoptilolite natural aluminum silicates (NPF-G, NPF-C), zirconium phosphate (T-3A), modified hydrated zirconium dioxide (T-3K), and manganese dioxide based on hydrated titanium dioxide (MD-HTD). We have obtained the sorption isotherms, defined the cesium and strontium distribution coefficients. Dependences of the cesium distribution coefficient by the sorbents in seawater saline content have been obtained.

The authors recommend NPF-G and NPF-HTD sorbents for treatment of liquid radioactive waste based on seawater with various salt content. Coefficients of the cesium distribution between solid and liquid phases were $1,0 \cdot 10^5$ and $1,0 \cdot 10^4$ mg/l, respectively, even at solutions with the salt content of 100 g/l. In the process of strontium sorption from seawater, the strontium distribution coefficients do not exceed $1,9 \cdot 10^2$ ml/g, this is connected with big proportion (34 ± 7 %) of stable colloidal forms of strontium in the simulated seawater.

Key words: seawater, liquid radioactive waste, purification, cesium, strontium, sorbent, hydrated titanium dioxide, aluminum silicate, ferrocyanides, zirconium phosphate.

The World Ocean waters contamination with radionuclides occurs due to tests of nuclear weaponry, discharge of radioactive waters and radioactive waste from the nuclear fuel cycle plants, accidents, discharge of radioactive waste from nuclear-powered sea vessels, nuclear power stations in coastal areas. Liquid radioactive waste based on seawater appear in the process of operation of vessels' reactors and because of accidents. Great amount of liquid radioactive waste (LRW) was accumulated as a result of cooling of the damaged power units of Fukushima-1 nuclear power station (Japan) with seawater.

The highly mineralized water purification in respect of radionuclides (this is the case with seawater) presents more complicated task than treatment of fresh water. Присутствие Macro/components Na^+ , K^+ , Ca^{2+} presence in high concentration competitively affects the sorption of cesium and strontium radionuclides. High concentration and variety of the present anions cause the radionuclides' state forms diversity. Development of some methods of radionuclides immobilization from composition-complex LRW is an interesting scientific and practical challenge.

We have studied cesium and strontium sorption from seawater and seawater-containing waste with sorption-reagent material based on amorphous barium silicate BaSiO_3 (CPM-Sr) [1], composite materials based on barium silicate and resorcin/formaldehyde resins [2–3], titanium silicates [4–5], modified manganese dioxide (MMD) [5], synthetic ivanucite [5], and

granulated sodium-bircnessite [6]. High coefficients of distribution in sorption of strontium from seawater $6,0 \cdot 10^4$ and $6,4 \cdot 10^3$ ml/g were obtained for a sorption-reagent material based on amorphous barium silicate BaSiO_3 [1, 5], at this, we noted that the sorbent had low hydro/mechanical strength while the strontium distribution coefficient depended on relation V/m [1]. In case of introduction of binding agent (resorcin/formaldehyde resins) into BaSiO_3 with subsequent granulating we obtained a sorbent for joint disposal of cesium and strontium from seawater. Maximal attainable strontium and cesium distribution coefficients (K_d) in this case are $3,8 \cdot 10^4$ and $2,9 \cdot 10^3$ ml/g, respectively [2].

Titanium silicate SL3, synthetic ivanucit, and MMD sorbent are inferior in terms of strontium sorption specificity, their K_d do not exceed 29,61 and $5,9 \cdot 10^2$ ml/g, respectively. We studied the cesium sorption with the above sorbents from calcium-containing solutions of different concentration. Natural aluminum silicates possess low selectivity, so their use for the seawater purification from cesium and strontium radionuclides is not expedient.

This work assesses possibilities of ^{137}Cs and ^{90}Sr concentration from seawater with ferrocyanide sorbents based on natural and artificial carriers (T-35, NPF-HTD, NPF-G, NPF-C), with manganese dioxide based on hydrated titanium dioxide (MD-HTD), with zirconium phosphate (T-3A), and modified zirconium hydroxide (T-3K).

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

We studied sorption of artificial radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr from a simulator of seawater. We prepared the simulator of seawater by dissolving of reagents in distilled water. Table 1 shows the seawater simulator composition

Table 1. The seawater simulator composition

| Salts | NaCl | MgCl_2 | MgSO_4 | CaCl_2 | KCl | NaHCO_3 | NaBr | pH |
|--------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|------------------|-------|---------------|
| Content, g/l | 27,021 | 2,493 | 3,368 | 1,163 | 0,730 | 0,206 | 0,085 | $8,2 \pm 0,1$ |

The LRW specific activity was $8 \cdot 10^4$ Bq/l. During the sorption statics research, we varied the cesium and strontium concentration in seawater with CsCl and SrCl_2 solutions. The radionuclides sorption from seawater was investigated for two groups of sorbents:

– sorbents of PNF «Termoksid» (Zarechniy) production, T-3A is «Termoksid» trade mark zirconium phosphate, process of production in [7]; T-35 is nickel–potassium ferrocyanide based on hydrated zirconium dioxide of «Termoksid» trade mark. Temoksid-35 is a two-phase system composed of highly dispersed amorphous phase of zirconium dioxide composed of highly dispersed amorphous phase of zirconium dioxide with mixed nickel ferrocyanide microcrystals in its pores [8]; and T-3K sorbent (modified hydrated zirconium dioxide);

– laboratory samples of surface-modified sorbents developed at the Chair of Radiochemistry and Applied Ecology, Ural Federal University: NPF-HTD is nickel-potassium ferrocyanide based on hydrated titanium dioxide; the synthesis method and some sorption properties of the sorbent are described in [9–11]; MD-HTD is manganese dioxide based on hydrated titanium dioxide; NPF-C is nickel-potassium ferrocyanide based on natural klinoptilolyte of the Shivertuy deposit (Chita oblast) [12–13]; NPF-G is nickel-potassium ferrocyanide based on quarts-glaukonite concentrate produced from glaukonite of Karinsk deposit (Chelyabinsk oblast) [12].

The cesium sorption: the solution volume was 50 ml, the sorbent batch was 20 mg. The strontium sorption, due to realization of lower coefficients of distribution: the solution volume and the sorbent batch were 20 ml and 50 mg, respectively. Measuring of the samples radiation was performed with UMF-2000 semi-conductor radiometer or MKC-AT 1315 «Atomtek» scintillation gamma-beta-spectrometer. The cesium equilibrium coefficients of distribution (K_d) from LRW simulator were calculated according to the formula:

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

where V – is the solution volume, ml;

m – is the sorbent mass, g;

S – is the degree of the radionuclide extraction.

The cesium and strontium colloids proportion in the seawater stimulator with pH=8,2 and pH=2 were determined with the method of the solution ultrafiltration through the nuclear filters produced by JINR (Dubna) with pore dimension of 0,14÷0,18 μm . We made the seawater simulator pH=2 by addition of hydrochloric acid. The volume of the solution for ultrafiltration was $V=10$ ml, cesium and strontium concentration in the solution was 1 mg/l. We performed sampling and ultrafiltration the day after the seawater simulator tracing with ^{137}Cs or ^{90}Sr radionuclides. We measured radiation with УМФ-2000 alpha-beta-radiometer with a semi-conductive detector. The colloids proportion in seawater was calculated according the formula:

$$\alpha_i = \frac{I_{исх} - I_{фильтр}}{I_{исх} - I_{фон}} \quad (2)$$

where

α_i – is proportion of cesium or strontium in the form of colloids in i sample of the solution;

$I_{исх}$ – is the solution counting rate before ultrafiltration;

$I_{фильтр}$ – is the solution counting rate after ultrafiltration;

$I_{фон}$ – is the background counting rate.

Additionally we have studied the cesium sorption from seawater with different dilution and concentration degrees. Table 2 shows cation and anion concentrations in the model seawater solutions with different degree of dilution and concentration.

For investigation, we have prepared solutions with pre-set content and concentration of stable cesium 1 mg/l. The samples with high content of salts were measured with the gamma-spectrometer after attaining the equilibrium in genetically tied couple ^{137}Cs – $^{137\text{m}}\text{Ba}$ directly in a form of 10 ml solution. Samples with low content of salts were measured with the beta-spectrometer at brass cuvettes after evaporation of 0,5 ml of solution.

Table 2. The liquid radioactive solutions' simulators composition

| | | Ion mass in the seawater simulator, g | | | | | |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Content, g/l Ion | 3,5 | 7 | 17,5 | 35 | 70 | 105 | 140 |
| | Na ⁺ | 1,076 | 2,1519 | 5,3798 | 10,76 | 21,519 | 32,279 |
| Mg ⁺² | 0,1297 | 0,2593 | 0,6483 | 1,2965 | 2,593 | 3,8895 | 5,186 |
| Ca ⁺² | 0,0412 | 0,0824 | 0,206 | 0,4119 | 0,8238 | 1,2357 | 1,6476 |
| K ⁺ | 0,0399 | 0,0798 | 0,1996 | 0,3991 | 0,7982 | 1,1973 | 1,5964 |
| Sr ⁺² | 0,0008 | 0,0016 | 0,0039 | 0,0078 | 0,0156 | 0,0234 | 0,0312 |
| Cl ⁻ | 1,9353 | 3,8706 | 9,6765 | 19,353 | 38,706 | 58,059 | 77,412 |
| SO ₄ ⁻² | 0,2712 | 0,5425 | 1,3562 | 2,7124 | 5,4248 | 8,1372 | 10,85 |
| F ⁻ | 0,0001 | 0,0003 | 0,0007 | 0,0013 | 0,0026 | 0,0039 | 0,0052 |
| Br ⁻ | 0,0067 | 0,0135 | 0,0337 | 0,0674 | 0,1348 | 0,2022 | 0,2696 |

RESULTS AND DISCUSSION

We assessed the cesium and strontium distribution coefficients from the LRW simulator based on seawater in the conditions of the sorption statics. We performed point assessment of the sorption characteristics (K_{d1}) for sorbents. For the most specific sorbents, we obtained sorption isotherms in a wide range of cesium and strontium concentrations. Figs.1 and 2 show typical isotherms of the cesium and strontium sorption with sorbents of «Termoksid» trade mark. The sorption isotherms' linear sections corresponding to the Henry's law implementation areas were processed by the least-squares method (LSM) and for them the equilibrium distribution coefficients K_{d2} were calculated. Table 3 shows ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr distribution coefficients determined during their sorption from seawater.

Table 3. Coefficients of the cesium and strontium distribution from seawater with non-organic sorbents, ml/g

| Radio nuclide | Sorbent | | | | | | |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | T-3A | T-35 | T-3K | NPF-HTD | MD-ГДТ | NPF-G | NPF-C |
| Cesium K_{d1} | $7,5 \cdot 10^2$ | $6,1 \cdot 10^4$ | – | $4,1 \cdot 10^4$ | – | $3,0 \cdot 10^4$ | $5,0 \cdot 10^4$ |
| Cesium K_{d2} | – | $2,2 \cdot 10^3$ | – | $1,6 \cdot 10^4$ | – | $2,2 \cdot 10^5$ | $6,9 \cdot 10^3$ |
| Strontium | – | – | $1,1 \cdot 10^2$ | $1,1 \cdot 10^2$ | $1,9 \cdot 10^2$ | 64 | 87 |

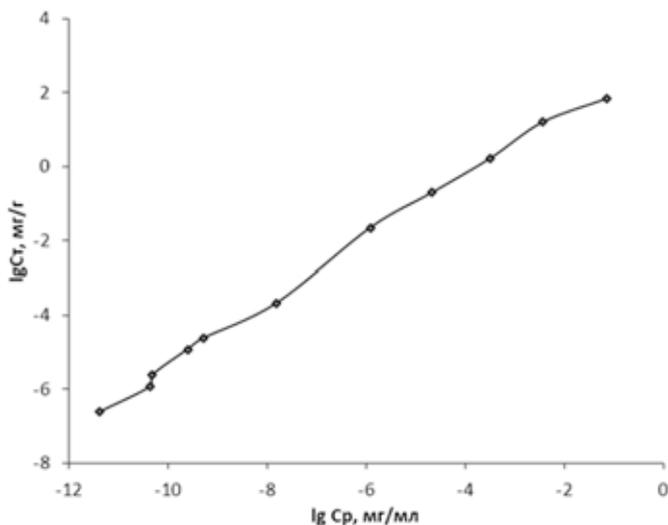


Fig. 1. An isotherm of the cesium sorption from seawater with T-3K sorbent.

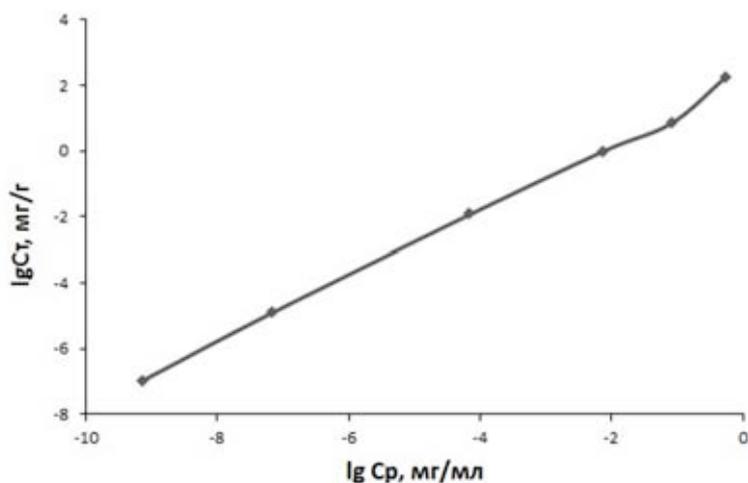


Fig. 2. An isotherm of the strontium sorption from seawater with T-3K sorbent.

The obtained results demonstrate that ferrocyanide sorbents on carriers (NPF-HTD, T-35, NPF-C, NPF-G) effectively concentrate ^{137}Cs from seawater. They are more selective sorbents for ^{137}Cs than zirconium phosphate (T-3A sorbent) and can concentrate cesium from saline solutions of complex composition. Modified aluminum silicates NPF-C and NPF-G possess high exchanging capacity to the cesium and strontium radionuclides (static exchanging capacity of the sorbents in terms of cesium is 402 ± 28 and 211 ± 15 , respectively, in terms of strontium 560 ± 39 and 37 ± 4 ml/g) and high radionuclides distribution coefficients

in presence of analogue ions [14]. Other situation characterizes strontium sorption. All the tested sorbents have shown strontium distribution coefficients not exceeding $1,9 \cdot 10^2$ ml/g. To explain the obtained results, we have studied the cesium and strontium pseudo/radio/colloids in the prepared seawater simulator.

Table 4 shows the data on the proportion of cesium and strontium pseudo/radio/colloids in the seawater simulator with different pH values.

Table 4. The radionuclides in the colloidal forms proportion in the seawater simulator

| Radionuclide | α_1 | |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| | pH=2 | pH=8,2 |
| ^{137}Cs | $0,097 \pm 0,040$ | $0,186 \pm 0,030$ |
| ^{90}Sr | $0,33 \pm 0,06$ | $0,34 \pm 0,07$ |

In accordance with the obtained results the cesium pseudo/radio/colloids proportion in seawater with pH = 8,2 is two times higher than in strongly acidic medium, while the strontium proportion practically is independent of media pH. The colloidal forms of strontium in seawater are more stable than colloidal forms of cesium. Sorbents do not extract colloidal forms of strontium hence we can see low strontium distribution coefficients. A high percentage of colloidal forms of strontium, most probably, is connected with the presence of silicon in reagents. Therefore, definitive conclusions about the sorbents' applicability for seawater treatment in respect of strontium we could make only after testing the sorption ability on authentic seawater samples.

When LRW evaporating, as well as when membrane techniques for seawater-based LRW recycling are employed one can unexpectedly get concentrated LRW with higher saline content. Fig. 3 shows dependency of the cesium distribution coefficient with T-35 sorbent on salinity in diluted and concentrated seawater simulators.

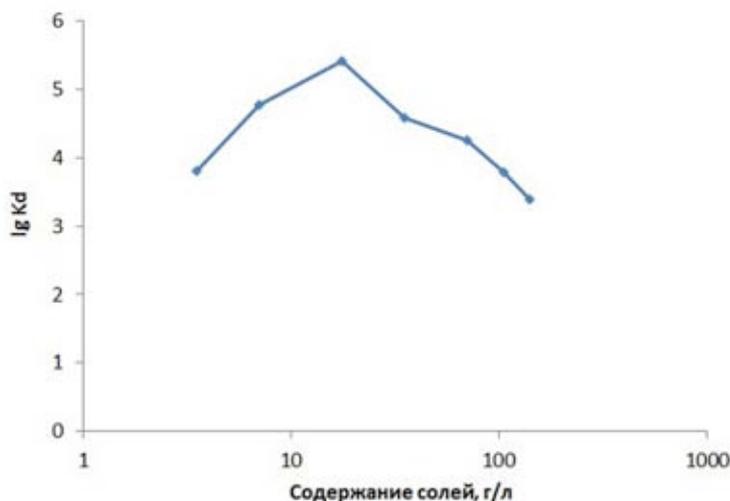


Fig. 3. Dependence of the coefficient of cesium distribution from liquid radioactive solutions based on seawater with T-5 sorbent.

As for sorbent T-35, in case of salinity increase higher than 17,5 g/l one can see the cesium distribution coefficient decrease to $1,6 \cdot 10^3$ ml/g. Sorbents NPF-G and NPF-HTD appeared to be the most effective sorbents for processing the seawater-based LRW with high salinity. Sorbent NPF-G provides the cesium distribution coefficient of $1,0 \cdot 10^5$ ml/g even with 100 g/l salinity. In case of NPF-HTD sorbent the cesium distribution coefficients decrease to the value of 10^4 ml/g occurs with salts concentration of more than 70 g/l. Such sorbents' behavior is caused by high selectivity of the nickel-potassium ferrocyanide phase to cesium and by the specific features of the cesium sorption mechanism.

CONCLUSIONS

High salinity and complicity of the seawater chemical composition, as well as that of the seawater-based LRW stipulate for the necessity of a selective sorbent choice for solution of the task of their purification from long-living ^{137}Cs и ^{90}Sr radionuclides. Studying of the radionuclides sorption from the seawater simulator with commercially produced samples of «Termoksid» trade mark and with laboratory samples of modified sorbents on carriers has enabled to select sorbents that possess higher radionuclides distribution coefficients and static exchanging capacity. Ferrocyanide sorbents on carriers for that the cesium distribution coefficient decreases in the row NPF-G > NPF-HTD > NPF-C > T-35. The NPF-G sorbent which provides the cesium distribution coefficient of $1,0 \cdot 10^5$ ml/g can be used to process LRW with salinity 100 g/l or higher. The use of NPF-HTD sorbent causes decrease of the cesium concentration coefficient to 10^4 ml/g in case of salts concentration in the solution of more than 70 g/l.

In strontium sorption all the considered sorbents show close values of distribution coefficients that do not exceed $1,9 \cdot 10^2$ ml/g. Effects on the strontium sorption depends on the presence of a high percentage (34 ± 7 %) of colloidal forms of strontium in the seawater simulator that are resistant to destruction even in acidic medium at pH=2. By contrast, the proportion of the colloidal forms of cesium in the seawater simulator is $0,186 \pm 0,030$ % and the colloidal forms of cesium are destructed in the presence of highly specific sorbents. Thus, the cesium radionuclides concentration from seawater can be best performed with NPF-G and NPF-HTD sorbents whose sorption characteristics are not significantly affected by analog elements. A decisive conclusion about effectiveness of the strontium concentration from seawater with sorbents will be possible only after tests with authentic seawater taking into consideration the proportion of strontium pseudo/radio/colloids present in it.

About the authors:

Anna V. Voronina, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head, Chair of Radiochemistry and Applied Ecology, Physical/technological Institute, Ural Federal University, ul. Mira, 21, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: av.voronina@mail.ru

Anastasia Y. Noskova, Student, Chair of Radiochemistry and Applied Ecology, Physical/technological Institute, Ural Federal University, ul. Mira, 21, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: nastnosko2009@rambler.ru

Vladimir S. Semenishchev, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head, Chair of Radiochemistry and Applied Ecology, Physical/technological Institute, Ural Federal University, ul. Mira, 21, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: vovius82@mail.ru

Marina O. Blinova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head, Chair of Radiochemistry and Applied Ecology, Physical/technological Institute, Ural Federal University, ul. Mira, 21, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: m.o.blinova@urfu.ru

Aleksandr F. Nikiforov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Chair of Radiochemistry and Applied Ecology, Physical/technological Institute, Ural Federal University, ul. Mira, 21, Ekaterinburg, 620002, Russia; e-mail: alex.f.nikiforov@mail.ru

For citation: Voronina A.V., Noskova A.Y., Semenishchev V.S., Blinova M.O., Nikiforov A.F. Seawater purification from cesium and strontium radionuclides // *Water Sector of Russia*. 2019. No. 6. P. 102–120.

REFERENCES

1. Avramenko V.A., Yegorin A.M., Papynov E.K., Sokolnitskaya T.A., Tananayev I.G., Sergienko V.I. Tekhnologiyi pereabotki zhidkikh radioaktivnykh otkhodov, soderzhashchikh morskuyu vodu [Techniques of liquid radioactive sea water containing waste processing] // *Radiokhimiya*. 2017. Vol. 59. No 4. Pp. 355–360.
2. Avramenko V.A., Zheleznov V.V., Mayorov V.Y., Puz A.V., Sokolnitskaya T.A. Problemy pererabotki zhidkikh radioaktivnykh otkhodov, soderzhashchikh morskuyu vodu [Problems of the liquid radioactive seawater containing waste processing] // *Contemporary problems of science and education*. 2013. No. 5. Pp.1–9.
3. Yegorin A.M., Sokolnitskaya T.A., Tutov M.V., Tokar E.A., Matveykin M.Y., Avramenko V.A. Kompozitniye selektivnye sorbenty dlya ochistki morskoy vody ot radionuklidov tseziya i strontsiya [Composite selective sorbents for sea water purification from cesium and strontium radionuclides] // *Doklady Akademiyi nauk*. 2015. Vol. 460. No 2. Pp. 177–181.
4. Milyutin V.V., Nekrasova N.A., Kozlitin E.A. Selektivniye neorganicheskiye sorbenty v sovremennoy prikladnoy radiokhimiye [Selective non-organic sorbents in contemporary applied radiochemistry] // *Trudy Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015. No. 31. Pp. 418–421.
5. Milyutin V.V., Nekrasova N.A., Yanicheva N.Y., Kalashnikova G.O., Ganicheva Y.Y. Sorbtziya radionuklidov tseziya i strontsiya na kristallicheskikh titanossilikatakh shchelochnykh metallov [Sorption of cesium and strontium radionuclides with crystalline titanium silicates of alkaline metals] // *Radiokhimiya*. 2017. Vol. 59. No. 1. C. 59–62.
6. Egorin A., Sokolnitskaya T., Azarova Y., Portnyagin A., Balanov M., Misko D., Shelestyuk T., Kalashnikova A., Tokar T., Tananaev I., Avramenko B. Investigation of Sr uptake by birnessite-type sorbents from seawater // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018. Vol. 317, Is. 1. P. 243–251.
7. Moiseyev V.E., Sharygin L.M., Pyshkin V.P. Sintez fosfatov tsirkoniya, titana i olova zolgel metodom i issledovaniye ikh svoystv [Synthesis of zirconium, titanium and tin phosphates with the sol-gel method and investigation of their properties] // *Neorganicheskie materialy*. 1983. No. 11. Pp. 1899–1902.
8. Sharygin L.M., Muromskiy A.Y., Kalyagina M.L. Struktura i svoystva ranulirovannogo neorganicheskogo kationoobmennika [Structure and properties of a granulated non-organic cation-exchanger] // *Sorbtsionniye i khromatograficheskiye protsessy*. 2006. No. 6. Pp. 965–971.
9. Voronina A.V., Semenishchev V.S., Nogovitsyna E.V., Betenekov N.D. A study of ferrocyanide sorbents on hydrated titanium dioxide support using physicochemical methods // *Radiochemistry*. 2012. Vol. 54. Iss. 1. P. 69–74.
10. Voronina A.V., Semenishchev V.S., Nogovitsyna E.V., Betenekov N.D. Peculiarities of sorption isotherm and sorption chemisms of caesium by mixed nickel-potassium ferrocyanide based on hydrated titanium dioxide // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2013. Vol. 298. Pp. 67–75.

11. *Voronina A.V., Semenishchev V.S.* Mechanism of strontium sorption by the mixed nickel–potassium ferrocyanide based on hydrated titanium dioxide // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2016. Vol. 307. Iss. 1. Pp. 577–590.
12. *Voronina A.V., Blinova M.O., Kulyayeva I.O., Sanin P.Y., Semenishchev V.S., Afonin Y.D.* Sorbtsiya radionuklidov tseziya iz vodnykh rastvorov na prirodnykh i modifitsirovannykh alyumosilikatakh [The cesium radionuclides sorption from water solutions with natural and modified aluminum silicates] // *Radiokhimiya*. 2015. Vol. 57. No. 5. Pp. 446–452.
13. *Voronina A.V., Gorbunova T.V., Semenishchev V.S.* The effect of the synthesis method on the parameters of pore structure and selectivity of ferrocyanide sorbents based on natural minerals // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2017. Vol. 312. Iss. 2. Pp. 241–254.
14. *Voronina A.V., Kulyayeva I.O., Gupta D.K.* Opredeleniye parametrov selektivnoy sorbtsiyi ^{137}Cs prirodnyimi i modifitsirovannyimi ferrotsianidami glaukonitom i klinoptilolitom [Determination of the ^{137}Cs selective sorption parameters with natural and modified ferrocyanides glaukonite and clinoptilolite] // *Radiokhimiya*. 2018. Vol. 60. No. 1. C. 35–40.

ВЛИЯНИЕ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ РАКОМ ЖЕЛУДКА НАСЕЛЕНИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Т.А. Мещурова, М.Б. Ходяшев

E-mail: tmeshurova@mail.ru

ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем», г. Пермь, Россия

АННОТАЦИЯ: Проведено исследование взаимосвязи показателей заболеваемости раком желудка населения Пермского края и обобщенных данных величины сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты. В работе использованы данные ежегодных докладов Пермского края о состоянии онкологической помощи, состоянии и охране окружающей среды. Выявлена корреляция между ними с временным периодом в четыре года. Показатели заболеваемости раком желудка в период с 2010 по 2017 гг. коррелируют с количеством сбросов загрязняющих веществ в водные объекты с 2006 по 2013 гг. Коэффициент корреляции составил $r = 0,75$ (высокая корреляционная связь). Анализ объемов сброса загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты за период 2006–2013 гг. показал, что количество сбросов возросло к 2007 г., до 2010 г. наблюдалось снижение, а в 2011–2013 гг. наметилась тенденция к увеличению уровня загрязняющих веществ в сточных водах.

Обнаружена зависимость между заболеванием раком желудка и экологической обстановкой (величиной сбросов загрязняющих веществ в водные объекты), т. е. качеством окружающей среды. Заболеваемость снижается вслед за уменьшением объемов сброса загрязняющих веществ в водные объекты Пермского края.

Ключевые слова: окружающая среда, водные объекты, сбросы загрязняющих веществ, рак желудка, неблагоприятное воздействие, Пермский край.

Качество жизни населения тесно связано с экологическим состоянием территории. Загрязнение окружающей среды в промышленно развитом Пермском крае в настоящее время оборачивается последствиями, непосредственно влияющими на здоровье человека. Так, на территории Пермского края отмечен рост заболеваемости злокачественными новообразованиями, в частности, раком желудка [1]. Наиболее депрессивными территориями в этом аспекте считаются северо-восточные города: Горнозаводск, Кизел, Гу-

© Мещурова Т.А., Ходяшев М.Б., 2019

баха и Гремячинск. Самая высокая заболеваемость раком желудка в 2017 г. была зафиксирована в Гремячинске – 53,0 на 100 тыс. населения [2]. Для этих городов Пермского края характерен техногенный ландшафт (Кизеловский угольный бассейн). В настоящее время закрыты последние шахты, но экологические проблемы остались. Накопленные на поверхности горные породы и промывной климатический режим (превышение в два раза количества осадков над испаряемостью) приводят к загрязнению кислыми водами обширных территорий Кизеловского бассейна [3]. В водные объекты Пермского края попадают загрязненные сточные воды от предприятий нефтяной, нефтехимической промышленности, машиностроения, черной и цветной металлургии, лесопромышленного комплекса. Источниками загрязнения водоемов также являются полигоны твердых бытовых и промышленных отходов, площадки промпредприятий, животноводческие комплексы, населенные пункты.

Большинство исследователей считают, что развитие опухолей является суммарным результатом комбинированного воздействия многих канцерогенных факторов [4, 5]. Рак следует рассматривать как результат разбалансирования организма, вызвать его может любой фактор среды и их комплекс. Например, превышение верхней пороговой концентрации загрязняющих веществ в питьевой воде, токсичных химических элементов в рационе питания и т. п., когда нормальная регуляция функций организма становится невозможной [6]. В Российской Федерации заболеваемость раком желудка занимает второе место у мужчин и третье у женщин [7].

Данная статья посвящена выявлению корреляции между некоторыми показателями заболеваемости раком желудка населения Пермского края с обобщенными показателями величины сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты. При исследовании взаимосвязей следует принимать во внимание длительность латентного периода канцерогенеза. Изменение уровня онкологической заболеваемости происходит через несколько лет после воздействия канцерогенной нагрузки на население. Установлено, что от начала заболевания раком желудка до его клинического проявления проходит 2–3 года, рак желудка до размеров 1,0–1,5 см в диаметре развивается в течение 5–7 лет [7]. Большие опухоли существуют от 2–3 до 6–8 лет и более, прежде чем могут быть выявлены клиническими методами [8].

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе сопоставлены вариационные ряды ежегодных стандартизированных показателей заболеваемости раком желудка взрослого населения с вариационными рядами ежегодных уровней сбросов загрязняющих веществ в водные объекты со сдвигами 1, 2, 3 и т. д. лет до достижения

статистической значимости корреляционных связей (коэффициент корреляции Пирсона). Установлено, что показатели заболеваемости раком желудка в период с 2010 по 2017 гг. коррелируют с количеством сбросов загрязняющих веществ в водные объекты с 2006 по 2013 гг. Временной промежуток составил $T=4$ года, коэффициент корреляции $r=0,75$ (высокая корреляционная связь).

Данные, использованные в исследовании, взяты из ежегодных докладов о состоянии онкологической помощи в Пермском крае, состоянии и охране окружающей среды Пермского края (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Показатели заболеваемости раком желудка населения Пермского края за 2010–2017 гг. (на 100 тыс. чел.)

Table 1. Indicators of the gastric cancer incidence among the Perm Krai population over the period of 2010-2017 (per 100 thousand)

| Год | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Количество заболеваний на 100 тыс. чел. | 21,2 | 20,0 | 22,9 | 21,1 | 19,2 | 20,3 | 20,9 | 22,6 |

Таблица 2. Показатели величины сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты Пермского края за 2006–2013 гг.

Table 2. Indicators of the pollutants discharge o surface water bodies of Perm Krai in 2006-2013

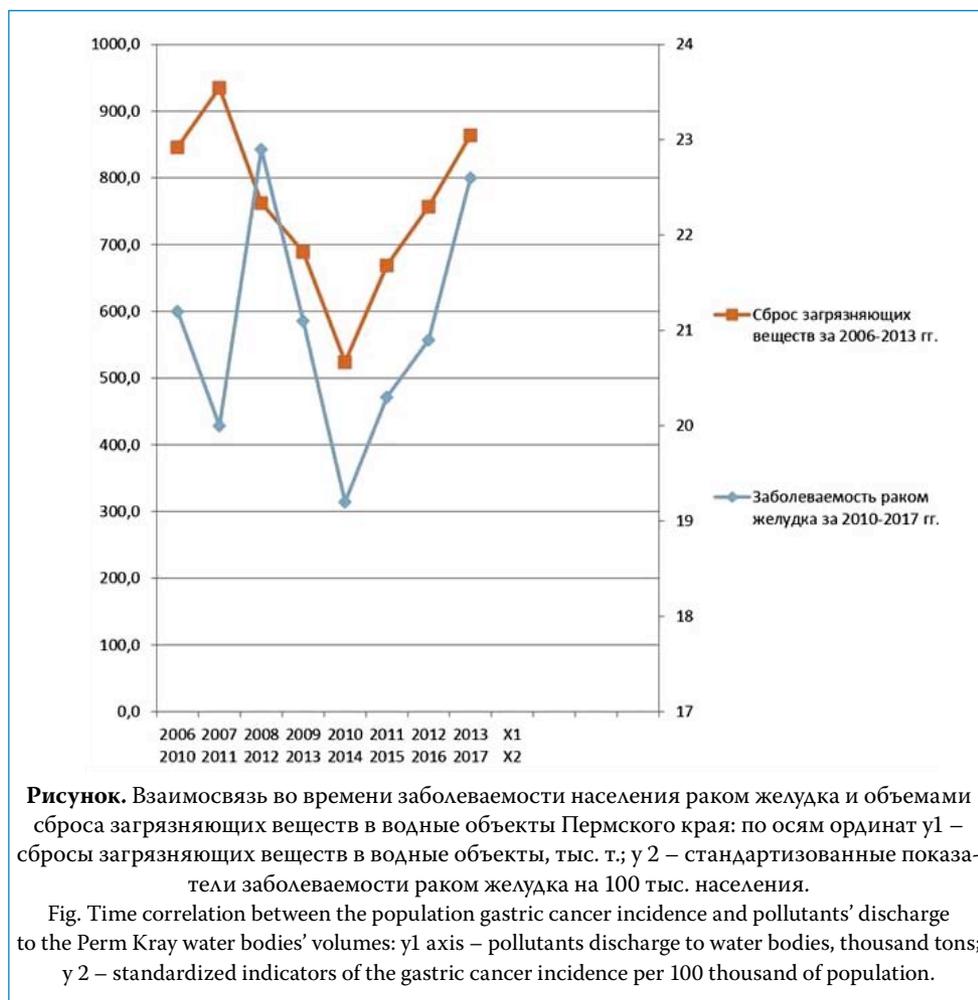
| Год | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Объем сброса загрязняющих веществ, тыс. т | 846,0 | 935,05 | 762,46 | 689,22 | 524,0 | 669,0 | 757,0 | 863,9 |

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень заболеваемости раком желудка в Пермском крае колебался от 21,2 в 2010 г. до 22,9 заболеваний (впервые установленных) на 100 тыс. населения в 2012 г., к 2014 г. он снизился до 19,2. К 2016–2017 гг. заболеваемость возросла до 20,9–22,6 (табл. 1).

Анализ величин сбросов загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты Пермского края за период 2006–2013 гг. (табл. 2) показал, что количество сбросов возросло к 2007 г., затем до 2010 г. наблюдалось понижение, а далее в 2011–2013 гг. наметилась тенденция к увеличению объемов сброса загрязняющих веществ (2013 г. – 863,9 тыс. т).

На рисунке показана взаимосвязь по времени показателей заболеваемости раком желудка с количеством сбросов загрязняющих веществ в водные объекты с промежуток $T=4$ года.



Результаты проведенных исследований позволили выявить корреляцию между некоторыми показателями заболеваемости раком желудка населения Пермского края (2010–2017 гг.) с обобщенными показателями величины сброса загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты (2006–2013 гг.). Так, выделяется зависимость между заболеванием раком желудка и экологической обстановкой (величиной сбросов загрязняющих веществ в водные объекты), т. е. качеством окружающей среды. Заболеваемость снижается вслед за уменьшением величины сброса загрязняющих веществ в водные объекты Пермского края (рисунок).

Анализ данных по заболеваемости раком желудка за период 2015–2017 гг. показал, что при увеличении величины сбросов загрязняющих веществ с

669,0 тыс. т в 2011 г. до 863,9 тыс. т в 2013 г. заболеваемость (на 100 тыс. чел.) выросла в отдельных городах Пермского края – Перми, Гремячинске, Чусовом, Соликамске, Александровске, Лысьве, Чайковском, Кизеле (табл. 3) [1, 2].

Таблица 3. Заболеваемость раком желудка за 2015–2017 гг.

в городах Пермского края (на 100 тыс. населения)

Table 3. The gastric cancer incidence in 2015-2017 in towns of Perm Kray (per 100 thousand)

| Год | г. Пермь | г. Гремячинск | г. Чусовой | г. Соликамск | г. Александровск | г. Лысьва | г. Чайковский | г. Кизел |
|------|----------|---------------|------------|--------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| 2015 | 17,8 | 33,4 | 20,3 | 14,7 | – | – | – | – |
| 2016 | 23,0 | 42,9 | 30,6 | 14,7 | 20,8 | 21,5 | 22,0 | 18,9 |
| 2017 | 23,9 | 53,0 | 38,2 | 29,6 | 28,2 | 21,7 | 24,7 | 19,5 |

Необходимо отметить, что большое значение в возникновении рака желудка имеет химический состав почвы и воды в районе проживания человека, что связано с содержанием нитритов и нитратов, являющихся сильными канцерогенами [9]. Пути поступления вредных веществ не ограничиваются только потреблением питьевой воды. В зависимости от физико-химических свойств вещества возможны другие варианты воздействия [10]:

- ингаляционное, обусловленное испарением вещества в помещении, скорости воздухообмена в квартире и др.;
- кожное, связанное с коэффициентами растворимости, диффузии, кожной проницаемости;
- ингаляционное, оральное и кожное при использовании открытых водоемов для рекреационных целей и занятий водными видами спорта.

Загрязнение рек Пермского края охарактеризовано в ежегодных экологических докладах регионального министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края». В частности, в докладах за 2012–2016 гг. неоднократно отмечено, что качество воды на отдельных участках р. Камы (города Березники, Пермь, Краснокамск, Чайковский), р. Косью (г. Губаха), р. Чусовой (г. Чусовой), р. Лысьвы (г. Лысьва), р. Вишеры (г. Красновишерск) не претерпело существенных изменений и не отвечает нормам для рыбохозяйственных водоемов. Наиболее распространенными загрязняющими веществами определены нефтепродукты, фенолы, соединения марганца, меди, железа, аммонийный азот, трудноокисляемые органические вещества (по

ХПК), концентрации которых в поверхностных водах стабильно превышали ПДК для водоемов рыбохозяйственного использования, чаще всего в пределах от 1 до 5 ПДК_{рх} [11–13]. Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются предприятия Соликамско-Березниковского промышленного района, бывшего Кизеловского угольного бассейна, предприятия Перми, Чусового, Лысьвы, Краснокамска, Чайковского. Из поверхностных водоисточников в Пермском крае обеспечивается централизованным хозяйственно-питьевым водоснабжением около 60 % населения, в т. ч. в таких крупных населенных пунктах, как Пермь, Кунгур, Краснокамск, Чайковский, Чусовой, Лысьва, Чернушка [14].

В докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2017 году» содержится информация о загрязнении рек Кама, Косьва, Чусовая, Лысьва, Вишера: на отдельных участках качество воды не соответствует нормам для рыбохозяйственных водоемов. Значения концентраций железа общего, марганца и трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) во всех створах государственной сети наблюдений на территории Пермского края, как правило, выше ПДК. Кроме того, в докладе сообщается, что в 2017 г. со сточными водами в водные объекты было сброшено 1022,11 тыс. т загрязняющих веществ [15], что гораздо больше, чем в 2013 г. (863,9 тыс. т) и в 2015 г. (848,95 тыс. т) [11, 13].

Исходя из установленной зависимости между величиной сбросов загрязняющих веществ в водные объекты Пермского края и заболеванием взрослого населения раком желудка, можно предположить, что в дальнейшем будет наблюдаться рост уровня онкозаболеваемости (при увеличении массы сброса загрязняющих веществ). Зависимость уровня заболеваемости раком желудка населения от сбросов загрязняющих веществ исследована на территории Кемеровской области. Авторами также отмечено повышение заболеваемости (через временной промежуток) в связи с увеличением уровня сбросов в водные объекты и уменьшение в результате снижения сброса загрязняющих веществ [16, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доказательство связи нарушений состояния здоровья населения (заболевания раком желудка) с неблагоприятным воздействием сбросов загрязняющих веществ в водные объекты Пермского края имеет практическое значение для принятия управленческих решений и повышения эффективности планирования природоохранных мероприятий. Для улучшения экологической обстановки Пермского края, ежегодного снижения уровня сброса загрязняющих веществ в водные объекты необходимо внедрять на предприятиях водного хозяйства наилучшие доступные технологии очистки сточных вод. Рекомендуются ориентироваться на общие направления при выборе методов,

способов и технологий очистки стоков при производстве продукции, выполнении работ и оказании услуг на предприятиях: применение бессточных технологий; использование замкнутого цикла водопользования; оптимизация процессов очистки сточных вод; очистка сточных вод на определенных стадиях производственного процесса и их вторичное использование; обеспечение надлежащей очистки сточных вод на очистных сооружениях.

Незамедлительного решения требует проблема ликвидации накопленных отходов экономической деятельности в Пермском крае и реабилитация водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние онкологической помощи в Пермском крае в 2016 г. ГБУЗ ПК «Пермский краевой онкологический диспансер», 2017. Режим доступа: <https://docplayer.ru/73848851-Sostoyanie-onkologicheskoy-pomoshchi-v-permskom-kraev-2016-godu.html> (дата обращения 27.02.2019).
2. Состояние онкологической помощи в Пермском крае в 2017 г. ГБУЗ ПК «Пермский краевой онкологический диспансер», 2018. Режим доступа: <https://docplayer.ru/73848851-Sostoyanie-onkologicheskoy-pomoshchi-v-permskom-kraev-2016-godu.html> (дата обращения 27.02.2019).
3. *Полетаев В.Е.* Экологические проблемы урбанизированных территорий: Управление по охране окружающей среды Пермской области. Режим доступа: <http://www.permecology.ru/report/report2001/c15.htm> (дата обращения 14.02.2019).
4. *Маймулов В.Г., Пацюк Н.А., Баскович Г.А.* Гигиеническая оценка влияния химического загрязнения окружающей среды мегаполиса на состояние здоровья детей // Гигиена и санитария. 2004. № 2. С. 31–33.
5. *Мантров Д.А.* Энциклопедия клинической онкологии. Режим доступа: <https://avidreaders.ru/book/enciklopediya-klinicheskoy-onkologii.html> (дата обращения 06.02.2019).
6. *Ревич Б.А.* Загрязнение окружающей среды и здоровье населения: введение в экологическую эпидемиологию. Изд-во МНЭПУ, 2001. 358 с.
7. *Вельшер Л.З., Матякин Е.Г., Дудицкая Т.К., Поляков Б.И.* Онкология. М: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 512 с.
8. *Соловьев В.И., Семкина Е.Н.* Учебное пособие по онкологии. Смоленск, 2012. 156 с.
9. *Ганцев Ш.Х.* Онкология. М.: Медицинское информ., агентство, 2006. 488 с.
10. *Семеновых Г.К., Новиков С.М., Семеновых Л.Н.* Анализ случаев заболеваний, обусловленных действием факторов среды обитания. Характеристика опасности для здоровья. Вып. 4. М.: Изд-во Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, 2011. 88 с.
11. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2013 году: доклад министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. Пермь, 2014. 264 с.
12. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2014 году: доклад министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. Пермь, 2015. 267 с.

13. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2015 году: доклад министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. Пермь, 2016. 263 с.
14. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2017 году: государственный доклад. Пермь: Упр. Роспотребнадзора по Пермскому краю, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», 2018. 271 с.
15. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2017 году: доклад министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. Пермь, 2018. 223 с.
16. Мун С.А., Ларин С.А., Глушков А.Н. Влияние сбросов загрязняющих веществ в водные источники на заболеваемость раком желудка населения Кемеровской области. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4740> (дата обращения 12.02.2019).
17. Мун С.А., Ларин С.А., Глушков А.Н. Техногенное загрязнение воздуха и воды и заболеваемость раком легкого и раком желудка населения Кемеровской области в 1990–2010 годы // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 5 (2). С. 486–489.

Для цитирования: Мещурова Т.А., Ходяшев М.Б., Влияние сбросов загрязняющих веществ в водные объекты на заболеваемость раком желудка населения Пермского края // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 121–130.

Сведения об авторах:

Мещурова Татьяна Александровна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем» (ФГБУ УралНИИ «Экология»), Россия, 614039, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 61а; e-mail: tmeshurova@mail.ru

Ходяшев Михаил Борисович, канд. хим. наук, зам. директора по технологическому развитию, ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем» (ФГБУ УралНИИ «Экология»), Россия, 614039, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 61а; e-mail: hodyashevmb@ecology.perm.ru

IMPACT OF THE POLLUTANTS' DISCHARGE TO WATER BODIES ON THE GASTRIC CANCER INCIDENCE AMONG THE PERM KRAY POPULATION

Tatyana A. Meshchurova, Mikhail B. Khodyashev

E-mail: tmeshurova@mail.ru

Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, Perm, Russia

Abstract: The article describes relationship between indicators of the incidence of gastric cancer in the Perm Krai and generalized indicators of pollutants' discharge to surface water bodies. The work uses data from the annual reports of the Perm Krai on the status of cancer care, environmentl status and protection. A correlation between them with a period

of 4 years was revealed. The incidence of gastric cancer in the period from 2010 to 2017 correlate with the amount of pollutant discharges into water bodies from 2006 to 2013. The correlation coefficient was $r = 0.75$ (high correlation). In the study of the relationships, the duration of the latent period of carcinogenesis was taken into account. Analysis of the values of discharges of pollutants with wastewater into water bodies for the period from 2006 to 2013 showed that the number of discharges increased by 2007, then until 2010 a decrease was observed, and then in 2011–2013 there is a tendency to increase the mass of discharges of pollutants. The time relationship of gastric cancer incidence rates with the number of pollutant discharges into water bodies, with an interval T between them equal to 4 years, is graphically shown. A relationship was found between a disease of gastric cancer and the environmental situation (the value of discharges of pollutants into water bodies), that is, the quality of the environment. The incidence is reduced following a decrease in the amount of pollutants discharged into water bodies in the Perm Kray.

Key words: environment, water bodies, discharges of pollutants, gastric cancer, adverse effects, Perm Territory.

About the authors:

Tatyana A. Meshchurova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, Komsomolsky Prospect, 61a, Perm, 614039 Russia; e-mail: tmeshurova@mail.ru

Mikhail B. Khodyashev, Candidate of Chemical Sciences, Deputy Director on Technological Development Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems, Komsomolsky Prospect, 61a, Perm, 614039 Russia; e-mail: hodyashevmb@ecology.perm.ru

For citation: Meshchurova T.A., Khodyashev M.B. *Impact of the Pollutants' Discharge to Water Bodies on the Gastric Cancer Incidence among the Perm Kray Population // Water Sector of Russia. 2019. No. 6. P. 121–130.*

REFERENCES

1. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi v Permskom krae v 2016 g. [State of cancer care facilities in Perm Kray in 2016]. GBUZ PK «Permskiy kraevoy onkologicheskii dispanser», 2017 g. <https://docplayer.ru/73848851-Sostoyanie-onkologicheskoy-pomoshchi-v-permskom-krae-v-2016-godu.html> (data obrashheniya 27.02.2019).
2. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi v Permskom krae v 2017 g. [State of cancer care facilities in Perm Kray in 2017]. GBUZ PK «Permskiy kraevoy onkologicheskii dispanser», 2018 g. <https://docplayer.ru/73848851-Sostoyanie-onkologicheskoy-pomoshchi-v-permskom-krae-v-2016-godu.html> (data obrashcheniya 27.02.2019).
3. Poletaev V. E. Ekologicheskie problemy urbanizirovannykh territoriy [Ecological problems of the urbanized territories]: Upravlenie po okhrane okruzhayushchey sredy` Permskoj oblasti <http://www.permecology.ru/report/report2001/c15.htm> (data obrashheniya 14.02.2019).
4. Majmulov V.G., Pacyuk N.A., Baskovich G.A. Gigienicheskaya ocenka vliyaniya himicheskogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy megapolisa na sostoyanie zdorov'ya detej // Gigiena i sanitariya. 2004. № 2. Pp. 31–33.
5. Man'trov D.A. Entsiklopediya klinicheskoy onkologii [Encyclopedia of clinical oncology]: Nauchnaya kniga, 2014. 68 p. <https://avidreaders.ru/book/enciklopediya-klinicheskoy-onkologii.html> (data obrashcheniya 06.02.2019).

6. *Revich B.A.* Zagryaznenie okruzhayushhej sredy i zdorov' e naseleniya: vvedenie v ekologicheskuyu epidemiologiyu [Environment pollution and public health: introduction to ecological epidemiology]. Izd-vo MNEPU, 2001. 358 p.
7. *Velsher L. Z., Matyakin E. G., Dudiczskaya T. K., Polyakov B. I.* Onkologiya. [Oncology] М: GEOTAR-Media, 2009. 512 p.
8. *Solov'ev V.I., Semkina E.N.* Uchebnoe posobie po onkologii. Smolensk, 2012. 156 p.
9. *Gancev S.K.* Onkologiya. [Oncology] 2-e izd., ispr. i dop. М.: Medicinskoe informatsionnoye agentstvo, 2006. 488 p.
10. *Semenovych G. K., Novikov S. M., Semenovych L. N.* Analiz sluchaev zabolevaniy, obuslovlennykh deystviem faktorov sredy obitaniya [Analysis of disease cases caused by environmental factor' action] . Kharakteristika opasnosti dlya zdorovya. Vy`p. 4. М.: Izd-vo Pervogo MGМУ im. I.M. Sechenova, 2011. 88 p.
11. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushhej sredy` Permskogo kraya v 2013 godu [About state and protection of the Perm Kray environment in 2013]: doklad Ministerstva prirodny`x resursov, lesnogo khozyaystva i ekologiyi Permskogo kraya. Perm, 2014. 264 p.
12. O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchej sredy Permskogo kraya v 2014 godu [About state and protection of the Perm Kray environment in 2014]: doklad Ministerstva prirodnykh resursov, lesnogo khozyaystva i ekologiyi Permskogo kraya. Perm, 2015. 267 p.
13. O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchej sredy` Permskogo kraya v 2015 godu [About state and protection of the Perm Kray environment in 2015]: doklad Ministerstva prirodnykh resursov, lesnogo khozyaystva i ekologiyi Permskogo kraya. Perm, 2016. 263 p.
14. O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Permskom krae v 2017 godu [About sanitary-epidemiological safety of the population in Perm Kray in 2017]: gosudarstvennyy doklad. Perm` : Upravlenie Rospotrebnadzora po Permskomu kraju, FBUZ «Tsentр gigieny i epidemiologii v Permskom krae», 2018. 271 p.
15. O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchej sredy Permskogo kraya v 2017 godu [About state and protection of the Perm Kray environment in 2017]: doklad Ministerstva prirodnykh resursov, lesnogo khozyaystva i ekologiyi Permskogo kraya. Perm, 2018. 223 p.
16. *Mun S. A., Larin S. A., Glushkov A. N.* Vliyanie zbrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v vodnye istochniki na zabolevaemost rakom zheludka naseleniya Kemerovskoy oblasti [Impact of the pollutants' discharge to water sources on the gastric cancer incidence among Kemerovo Oblast population] // *Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya*. 2011. No. 4; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4740> (data obrashcheniya 12.02.2019).
17. *Mun S. A., Larin S. A., Glushkov A. N.* Tekhnogennoye zagryaznenie vozdukha i vody` i zabolevaemost` rakom legkogo i rakom zheludka naseleniya Kemerovskoy oblasti v 1990–2010 gody` [Technogenic contamination of air and water and the cancer of lung and gastric cancer incidence among the Kemerovo Oblast population in 2010] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossijskoy akademiyi nauk*. 2012. Vol. 14. No. 5 (2). Pp. 486–489.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ» 2019 ГОД

1. **Агбалин Е.В., Колесников Р.А., Красненко А.С., Моргун Е.Н., Шинкарук Е.В., Печкин А.С., Локтев Р.И., Ильясов Р.М., Кобелев В.О.** Оценка качества природных вод на научных полигонах Ямало-Ненецкого автономного округа (Пуровский, Тазовский, Шурышкарский, Полярно-Уральский), № 6.
2. **Балонишникова Ж.А., Цыценко К.В., Крамарева Л.С.** Использование водных ресурсов в бассейне озера Ханка, № 3.
3. **Белобородов А.В.** Изменение морфометрических параметров крупных равнинных водохранилищ: причины и последствия (на примере Камского водохранилища), № 4.
4. **Беляев С.Д., Прохорова Н.Б.** Проблемы целеполагания при государственном планировании водоохранных мероприятий в речных бассейнах, № 4.
5. **Беспалова Е.В.** Инвентаризация антропогенных источников загрязнения Воронежского водохранилища, № 1.
6. **Бешенцев А.Н., Цибудеева Д.Ц.** Комплексная оценка водопользования российской части бассейна озера Байкал на основе геоинформационной технологии, № 2.
7. **Босов М.А., Заслоновский В.Н., Зыкова Е.Х., Казыкина С.М., Курганович К.А., Надеяева Н.Н., Соколов А.В., Солодухин А.А., Шаликовский А.В., Шаликовский Д.А.** Результаты комплексных исследований водного режима, русловых процессов и экологического состояния реки Аргунь, № 4.
8. **Бульон В.В.** Диагностика биологической продуктивности озерных экосистем, № 3.
9. **Бучик С.В., Дмитриева В.А.** Формирование абсолютных минимумов стока летне-осенней межени в бассейне Верхнего Дона, № 6.
10. **Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В., Тиунов А.А.** Расчет распространения загрязнений в Клязьминском водохранилище от береговых источников диффузного характера, № 5.
11. **Воронина А.В., Носкова А.Ю., Семенищев В.С., Блинова М.О., Никифоров А.Ф.** Очистка морской воды от радионуклидов цезия и стронция, № 6.
12. **Гречушникова М.Г., Школьный Д.И.** Оценка эмиссии метана водохранилищами России, № 2.
13. **Далёкая Л.Б.** Влияние температуры морской воды на развитие гидроида *Gonothyrus loveni* (Allman) на искусственных субстратах в бухте Севастопольской (Черное море), № 5.

14. **Железняк Н.М.** К вопросу применения геоинформационных систем как формы развития государственного водного реестра (на примере модели реки Мзымта), № 1.
15. **Жинжакова Л.З., Воробьева Т.И., Чередник Е.А.** Состав родниковых вод Кабардино-Балкарской Республики, № 5.
16. **Законнов В.В., Иванов Д.В., Хасанов Р.Р., Законнова А.В., Маланин В.В., Марасов А.А.** Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 6. Донные отложения Куйбышевского водохранилища и их картирование с использованием геоинформационных технологий, № 2.
17. **Зуев В.В., Короткова Е.М., Уйманова В.А.** Водный и ледовый режим реки Майма в условиях современных изменений климата (Горный Алтай), № 5.
18. **Измайлова А.В.** Удельная водообеспеченность и озерный фонд регионов водного дефицита, № 5.
19. **Иманов Ф.А., Алиева И.С.** Оценка влияния антропогенных факторов на годовой сток рек Азербайджана, № 2.
20. **Кошовский Т.С., Санин А.Ю., Пузанова Т.А., Ткаченко О.В.** Геохимическое воздействие Холоднинского свинцово-цинкового месторождения на аквальные ландшафты Северного Прибайкалья, № 5.
21. **Кривина Е.С.** Фитопланктон в различных экотопах озера Отстойник (Самарская область), № 1.
22. **Крутикова К.В.** Государственно-частное партнерство в сфере водоснабжения и водоотведения, № 2.
23. **Крутикова К.В., Шевчук А.В.** SWOT- анализ системы управления водными ресурсами, № 4.
24. **Крутов А.Н.** Определение стоимости услуг по поставке воды для целей ирригации, № 1.
25. **Кузьмина К.А., Кузьмина И.А., Кривина Е.С.** Оценка качества воды Волжского плеса Куйбышевского водохранилища по состоянию зоопланктона, № 2.
26. **Курбанов Б.Т.** К вопросу оценки качества поверхностных вод Узбекистана, № 5.
27. **Лавров С.А.** Закономерности формирования испарения с поверхности суши и воды под влиянием климатических изменений, № 1.
28. **Лепихин А.П., Тиунов А.А.** Современные гидродинамические модели русловых процессов, № 4.
29. **Липунов И.Н., Первова И.Г., Толмачева Н.О., Никифоров А.Ф.** Ресурсосберегающая технология обезвреживания фенолсодержащих промышленных сточных вод, № 3.
30. **Литвиненко А.В., Литвинова И.А., Филатов Н.Н., Богданова М.С.** Водохозяйственная ситуация в Республике Карелия: современное состояние и динамика, № 2.

31. **Магрицкий Д.В.** Водопотребление на водосборах арктических рек и в Арктической зоне Российской Федерации: параметры, структура, многолетняя динамика, № 3.
32. **Малкова М.А., Кантор Е.А., Вождаева М.Ю., Белолипец И.А.** Некоторые статистические характеристики содержания тригалогенметанов в питьевой воде инфильтрационного водозабора, № 3.
33. **Маргарян В.Г.** Многолетние колебания максимального стока рек горных территорий Армении, № 6.
34. **Мещурова Т.А., Ходяшев М.Б.** Влияние сбросов загрязняющих веществ в водные объекты на заболеваемость раком желудка населения Пермского края, № 6.
35. **Николаева Л.А., Котляр М.Н.** Очистка сточных вод гальванических цехов от ионов меди модифицированным карбонатным шламом, № 5.
36. **Оболдина Г.А., Поздина Е.А., Самбурский Г.А.** Стандарты – инструментарий экологического сопровождения регулирования водопользования, № 3.
37. **Оболдина Г.А., Самбурский Г.А., Попов А.Н.** Оценка экологического состояния водных объектов: унифицированные подходы для выполнения задач национального проекта «Экология», № 4.
38. **Попов А.Н., Павлюк Т.Е., Мухутдинов В.Ф., Загайнова Е.В., Польшгалов А.С., Сандалова В.В., Бутакова Е.А., Ушакова О.С.** Исследование состояния водоема для выбора приоритетных действий по экологической реабилитации (на примере Волчихинского водохранилища), № 4.
39. **Прохорова Н.Б.** К юбилею института, № 4.
40. **Семеничев В.С., Титова С.М., Воронина А.В., Никифоров А.Ф., Блинова М.О.** Применение композитных сорбентов на основе ферроцианида никеля при определении содержания радионуклидов цезия в пробах природных вод, № 5.
41. **Скалин А.В., Скалин В.А., Скалин А.А.** Защита геохимическими барьерами месторождений подземных вод в долинах Среднего Урала, № 1.
42. **Ташлыкова Н.А., Афонина Е.А., Корякина Е.А., Бесполитов Д.В.** Водоросли и беспозвоночные реки Чикой и ее притоков, № 1.
43. **Федоровский А.С., Бортин Н.Н., Горчаков А.М., Милаев В.М.** Ливневые дожди как фактор наводнений в Приморском крае, № 4.
44. **Хафизов А.Р., Полева А.О., Валитов С.А., Шарфеева А.В., Камалетдинова Л.А., Гайсин И.З.** Оценка биогенного загрязнения воды Павловского водохранилища на реке Уфа. № 4.
45. **Цхай А.А., Левина А.В.** Модельная оценка эффективности водопользования в Сибири на примере предприятий водокоммунального хозяйства, № 6.
46. **Цыбекмитова Г.Ц., Матвеева М.О.** Содержание биогенных элементов в озерах Онон-Торейской котловины в период климатических флуктуаций, № 3.
47. **Чалов С.Р., Леман В.Н.** Региональный подход к рыбохозяйственному нормированию содержания взвешенных веществ, № 6.

48. **Чан Х.Т.** Эколого-гидрологические проблемы дельты реки Меконг, № 1.
49. **Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г.** Наводнения в Иркутской области 2019 года, № 6.
50. **Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г., Гришина Л.В., Кузина Е.Г., Шашуловская О.В.** Особенности многолетней динамики гидрохимических показателей водохранилищ Нижней Волги и реки Урал (на примере Саратовского, Волгоградского и Ириклинского водохранилищ), № 3.
51. **Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М.** Сезонная и пространственная изменчивость химического состава воды реки Аргунь, № 2.

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. Photographs of the author (the authors) are welcomed.

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.** Желательно фото автора (авторов).

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 28.11.2019. Формат 70×100^{1/16}.

Усл. печ. л. 8,5. 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

Оценка состояния водных объектов
как индикаторов экологической ситуации



Наводнения
в Иркутской области



Мониторинг экстремальных
стоковых характеристик
в бассейнах рек