

*Комплексные
исследования
водохранилищ
и их водосборов*



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

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ

*Сборник научных трудов, посвященный 100-летию
со дня рождения Ю. М. Матарзина*

Под редакцией А. Б. Китаева



Пермь 2024

УДК 556.552: 551.579: 551.435
ББК 26.22
К637

Комплексные исследования водохранилищ и их водосборов :
К637 сборник научных трудов, посвященный 100-летию со дня рождения Ю. М. Матарзина / под ред. А. Б. Китаева ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2024. – 132 с.: ил.

ISBN 978-5-7944-4115-4

В материалах сборника представлены результаты комплексных исследований водохранилищ и рек их водосборов. Рассмотрены вопросы влияния водохранилищ на русловые процессы на реках выше и ниже по течению; представлены экологические критерии зарегулирования стока малых рек, вопросы рекреационного использования озер, заиления и цветения водохранилищ, приведены результаты исследования солевого состава водохранилищ, рассмотрены вопросы загрязнения водоемов нефтепродуктами и фенолами, дана оценка потоков метана в водоемах, рассмотрено воздействие водохранилищ на окружающую среду; дана оценка процесса снеготаяния на водосборе Камского водохранилища с использованием разработанной геоинформационной модели; рассмотрен процесс формирования стока загрязняющих веществ с водосбора Воткинского водохранилища в современных условиях, установлена зависимость его массы от объема сточных вод, площади сельскохозяйственных угодий и величины среднегодового стока; определена численность и биомасса бактерий в донных отложениях Саратовского водохранилища.

Материалы, представленные в сборнике, могут быть широко использованы специалистами в области гидрологии и геоэкологии водных объектов.

УДК 556.552: 551.579: 551.435
ББК 26.22

*Печатается по решению кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Рецензенты: научный сотрудник лаборатории проблем гидрологии суши Горного института УрО РАН, канд. техн. наук **Ю. С. Ляхин**;
начальник отдела изысканий, ведущий инженер-гидролог Западно-Уральского института водных и экологических проблем, канд. техн. наук **А. В. Богомолов**

ISBN 978-5-7944-4115-4

© ПГНИУ, 2024

UDC 556.552: 551.579: 551.435

LBK 26.22

C73

Comprehensive studies of reservoirs and their catchments: collection of scientific papers dedicated to the 100th anniversary of the birth of Yu. M. Matarzin / ed. A. B. Kitaev ; Perm State University. – Perm, 2024. – 132 pp.: ill.

ISBN 978-5-7944-4115-4

The materials in the collection present the results of comprehensive studies of reservoirs and rivers in their catchments. Issues of the influence of reservoirs on channel processes on rivers upstream and downstream are considered; environmental criteria for regulating the flow of small rivers, issues of recreational use of lakes, siltation and blooming of reservoirs are presented; the results of a study of the salt composition of reservoirs are shown, issues of pollution of reservoirs with petroleum products and phenols are considered, an assessment of methane flows in reservoirs is given, the impact of reservoirs on the environment is considered; an assessment of the snowmelt process in the catchment area of the Kamskoe Reservoir using the developed geof ormation model is given; the process of formation of the runoff of pollutants from the catchment area of the Votkinskoe Reservoir in modern conditions is considered, the dependence of its mass on the volume of wastewater, the area of agricultural land and the value of the average annual runoff is established; the number and biomass of bacteria in the bottom sediments of the Saratov Reservoir has been determined.

The materials presented in the collection can be widely used by specialists in the field of hydrology and geoecology of water bodies.

UDC 556.552: 551.579: 551.435

LBK 26.22

*Published on the decision of the Department of Hydrology
and Water Resources Protection Perm State University*

Reviewer: researcher at the Laboratory of Land Hydrology Problems of the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ph.D. **Yu. S. Lyakhin**
head of the Research Department, Leading Engineer-Hydrologist LLC "West Ural Institute of Water and Environmental Problems", Ph.D. **A. V. Bogomolov**

ISBN 978-5-7944-4115-4

© Perm State University, 2024

**МАТАРЗИН ЮРИЙ МИХАЙЛОВИЧ –
ОСНОВАТЕЛЬ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ГИДРОЛОГИИ ВОДОХРАНИЛИЩ**



Юрий Михайлович Матарзин родился 4 мая 1924 г в г. Перми. Доктор географических наук, профессор, академик РАЕН, на кафедре работал с 1969 по 2004 г. Участвовал в Великой Отечественной войне с мая 1942 г. После демобилизации в июле 1945 г. работал директором Пермской областной и городской станции Юных Техников. В 1946 г. он поступил на 1 курс геолого-географического факультета Пермского университета и закончил его в 1951 г. по специали-

зации «Гидрология» с присвоением квалификации научного сотрудника, преподавателя вуза и средней школы. После окончания университета Юрий Михайлович работал в «Ураллеспроекте» в должности начальника экспедиции и руководителя группы гидрологии и гидротехники водного отдела этого института. С 1955 г. он избирается на должность ассистента кафедры физической географии и переходит на работу в Пермский университет. Здесь он работал ассистентом, старшим преподавателем, доцентом, профессором, заведующим кафедрой гидрологии суши. Он являлся одним из инициаторов комплексных исследований водохранилищ, результаты которых стали основой его кандидатской «Гидрология Камского водохранилища» (1961 г.) и докторской «Проблемы комплексных географо-гидрологических исследований крупных водохранилищ и рек их водосборов (на примере Камских)» (1971 г.) диссертаций.

В 1959 г. по результатам исследований Камского водохранилища экспедициями Пермского университета опубликована одна из первых в стране научных монографий по искусственным водоемам – «Камское водохранилище» (соавторы Дубровин Л.И., Печеркин И.А.). В университете он создал Лабораторию водохозяйственных проблем (1961 г.) (совместно с И.А. Печеркиным) и Лабораторию комплексных исследований водохранилищ в составе Естественнонаучного института ПГУ, а также разработал комплексную целевую региональную программу «Кама» (1979 г.). Хорошее знание природы, способность к широким обобщениям позволили Ю.М. Матарзину сформировать новое научное направление в гидрологии суши – Гидрологию водохранилищ. Более 20 лет он возглавлял диссертационный совет. Под его руководством подготовлено и успешно защищено 17 кандидатских диссертаций, он был оппонентом многих кандидатских и докторских диссертаций.

Юрием Михайловичем опубликовано более 230 научных работ, в т.ч. 8 монографий и 6 учебных пособий для вузов, он был редактором более 30 работ. Наиболее значимыми научными трудами являются: монография «Камское водохранилище» (1959), а также целый ряд разделов в коллективных монографиях «Краткий справочник для гидрологических расчетов на реках Западного Урала» (1966), «Водоохранилище Воткинской ГЭС на р. Каме» (1968), «Вопросы формирования водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство» (1970), «Водоохранилища и их воздействие на окружающую среду» (программа МАБ-ЮНЕСКО) (1986), «Биология Воткинского водохранилища» (1988), «Актуальные вопросы гидрологии и гидрохимии Камского водохранилища» (2004). Им совместно с Б.Б. Богословским и И.К. Мацкевичем написаны первые учебные пособия по гидрологии водохранилищ: «Специфика водохранилищ и их морфометрия» (1977), «Гидрологические процессы в водохранилищах» (1977), «Гидрологические процессы в верхних и нижних бьефах гидроузлов» (1978), «Формирование водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство» (1981), «Водоохранилища и их народохозяйственное значение» (1984). В 1987 г. вышло в свет учебное пособие «Гидрохимия водохранилищ» (соавторы А.Б. Китаев и Л.А. Кузнецова).

Он стал автором первого в России учебника «Гидрология водохранилищ» (2003). В 1975 г. совместно с Президиумом АН СССР, Институтом водных проблем АН на базе Пермского госуниверситета прошла крупнейшая Всесоюзная конференция по проблемам бассейна Волги, одним из организаторов которой был Ю.М. Матарзин. В 1981-1986 гг. он принял активнейшее участие в редакционной работе Международной программы МАБ-ЮНЕСКО по созданию международной монографии «Водохранилища и их воздействие на окружающую среду». Юрий Михайлович участник многочисленного количества различных Всесоюзных и Международных (Финляндия, Австрия, Италия, Бельгия, Болгария) конгрессов, съездов, совещаний, симпозиумов и конференций.

Ю.М. Матарзин создал широко известную научную школу исследователей водохранилищ. Он участник многих международных, Всесоюзных конгрессов, съездов, совещаний, симпозиумов. Он являлся членом Научного совета ГКНТ СССР по водным ресурсам (секция водохранилищ), Учебно-методического объединения университетов по географическим наукам, Головного совета по географическим наукам Минвуза России (секция гидрометеорологии) и многих других.

На протяжении многих лет Юрий Михайлович с большим успехом читал лекции и проводил практические занятия по таким дисциплинам как «Гидрология водохранилищ», «Речная гидрометрия», «Основы мелиорации» и др. Под его руководством выполнены десятки прекрасных дипломных работ. Более двух десятков лет (1974-1997) он возглавлял кафедру гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного университета.

Признанием заслуг Ю.М. Матарзина является присуждение ему почетного звания «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР» (1984 г.), а также избрание его членом-корреспондентом (1991 г.), а несколько позже действительным членом Российской академии естественных наук (1994 г.) и академиком Российской экологической академии (1995 г.), а также Международной академии наук высшей школы. Ю.М. Матарзин всегда выполнял большую общественную работу. Он избирался секретарем парткома университета, членом Пермского горкома и Дзержинского райкома г. Перми. Был он Председателем Областного Комитета охраны водных ресурсов и атмосферного воздуха. Жители нашего города знали его и как Председателя Пермского областного комитета защиты Мира, Советского и Российского комитетов защиты Мира. Был он и членом бюро Пермского отделения Российского фонда Мира. За участие в Великой Отечественной войне, трудовую и общественную деятельность Юрий Михайлович награжден орденами «Отечественная война» I степени и «Знак Почета», а также 14 медалями, в т.ч. тремя академическими.

Профессор кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов
Пермского государственного национального
исследовательского университета
Китаев Александр Борисович

Е.А. Барабанова, Н.И. Коронкевич, barabanova@igras.ru
Институт географии РАН, г. Москва, Россия

ОСУЩЕСТВЛЕННЫЕ И НЕОСУЩЕСТВЛЕННЫЕ ПРОЕКТЫ ВОДОХРАНИЛИЩ

Дан обзор ряда проектов создания водохранилищ, завершенных и незавершенных, планировавшихся и неосуществившихся. В основном рассматриваются водохранилища России, но приводится ряд данных и по водохранилищам мира. Анализируются причины отказа от проектов водохранилищ и не завершения их создания.

Ключевые слова: водохранилище, завершенные и несостоявшиеся проекты, Россия, мир.

E. Barabanova, N. Koronkevich, barabanova@igras.ru
Institute of Geography Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

IMPLEMENTED AND UNREALIZED PROJECTS FOR THE CREATION OF RESERVOIRS

The article provides an overview of a number of reservoir projects, completed and incomplete, planned and unfulfilled. The reservoirs of Russia are mainly considered, but a number of data on reservoirs of the world are also provided. The reasons for reservoir projects abandonment and for half-finished projects are analyzed.

Keywords: reservoir, completed and failed projects, Russia, the world.

Введение

Создание водохранилищ является одним из важнейших факторов преобразования природной среды, хозяйства, условий жизни населения. Они стали неотъемлемой частью ландшафта и экономики многих стран мира, регулируя речной сток и перераспределяя его во времени. Вместе с тем, сведения об общих масштабах создания водохранилищ нередко противоречивы. Во многом забыты проекты неосуществленных водохранилищ и причины этого. Цель статьи отчасти восполнить этот пробел.

Исходные данные и методы исследования

В основу работы положен анализ литературных данных по истории гидротехнического строительства в России и в мире.

Основные результаты и их обсуждение

Уже существующие водохранилища. Создание водохранилищ – мощный фактор управления водным режимом территории. Вместе с тем, оно сопряжено с крупными материальными и экологическими издержками. Однако выгоды от создания водохранилищ в большинстве случаев преобладают, и во всем мире

наблюдается рост их числа. Сейчас созданы десятки тысяч водохранилищ с суммарной площадью более 750 тыс. км² и объемом около 7 тыс. км³ и полезным примерно 4 тыс. км³. В России создано и находится в эксплуатации свыше 3 тыс. водохранилищ с площадью водного зеркала свыше 100 тыс. км², а без учета площади подпертых озер более 7 тыс. км². Их полный объем составляет около 900 км³, полезный более 400 км³[8]. Полезный объем водохранилищ, как в мире, так и в России позволяет регулировать около 10% среднего многолетнего годового стока. В России созданы одни из крупнейших в мире каскады водохранилищ – Волжско-Камский, Ангаро-Енисейский. Основная часть водохранилищ была создана в советский период, начиная с осуществления плана ГОЭЛРО. Как в мире, так и в России наиболее быстро происходил рост числа водохранилищ в 1960–1970 гг. Затем этот рост замедлился в значительной мере в связи с тем, что в промышленно развитых странах наиболее пригодные створы для создания новых гидроузлов и водохранилищ уже были использованы. Кроме того, на фоне осознания обществом зависимости своего благополучия от качества окружающей среды сформировалась довольно мощная оппозиция строительству крупных плотин со стороны общественных и экологических движений. Изменились и роли, которые играют или могут играть правительства, гражданское общество и частный сектор в планировании и разработке проектов по использованию водных и энергетических ресурсов [12]. В результате целый ряд проектов не был осуществлен, о чем подробнее будет сказано ниже, а ряд других осуществлен, но с большой задержкой по времени.

В таблице приведены объекты, строительство которых было начато в 1970-е гг. и затянулось на несколько десятков лет. Богучанская ГЭС строилась 43 года, Бурейская 38 лет.

Завершенные проекты советского периода

<i>Название водохранилища</i>	<i>Река</i>	<i>Начало строительства</i>	<i>Ввод в эксплуатацию</i>
Богучанское	Ангара	1974	2017
Курейское	Курейка	1975	2002
Виллюйское 3 (Светловское)	Виллой	1979	2008
Бурейское	Буряя	1976	2014

Незавершенные проекты. Чебоксарское водохранилище предполагали создать еще в 1935 г. Оно было включено в проект «Большая Волга», разработанный в СССР в начале 1930-х гг. Но создание гидроузла и водохранилища началось лишь в 1968 г., а завершено в 1980 г., но при пониженной по сравнению с первоначальной проектной отметкой уровня воды (68 м). Уже более 40 лет действует промежуточная отметка 63 м. Это объясняется финансовыми проблемами, неполной готовностью зоны проектируемого затопления и незавершенностью работ по защите территории и населенных пунктов, а также разногласиями

между районами по поводу уровня водоема. Недостижение отметки 68 м создает ряд проблем. В числе наиболее важных из них невозможность обеспечения судоходства на участке между Нижнем Новгородом и Городцом для судов класса «река-море». Прорабатываются различные варианты решения этой проблемы – либо все же поднять уровень водохранилища до проектной отметки 68 м, осуществив целый комплекс природоохранных и защитных мер, либо построить низконапорную плотину в Балахнинском районе, или осуществить строительство третьей нитки шлюзов, сочетая его с дноуглубительными работами на участке Городец – Нижний Новгород [5; 7].

Во многом схожая ситуация сложилась и на Нижнекамском водохранилище, в значительной мере из-за протестов экологов. Создание водохранилища и гидроузла началось в 1963 г. В 1979 г. был осуществлен пуск первого гидроагрегата. В настоящее время функционирование водохранилища осуществляется на отметке НПУ 63.3–63.5 м при запланированной проектной, как и у Чебоксарского водохранилища, 68 м [10].

Крапивинское водохранилище на р. Томь проектировалось для решения экологических проблем региона путем разбавительных попусков и улучшения водоснабжения Кемеровской области [9]. Строительство было начато еще в СССР в 1976 г., а через 15 лет под влиянием протестного экологического движения в условиях нарастающего финансово-экономического кризиса было приостановлено распоряжением Совета Министров СССР от 18 июля 1989 г. и до сих пор не завершено. В проекте 1976 г. были зафиксированы следующие основные параметры гидроузла: НПУ – 177,5 м, полный объем водохранилища – 11,9 км³, полезный – 9,7 км³, площадь водохранилища – 670 км², установленная мощность ГЭС – 300 МВт. К моменту приостановки строительства бетонные сооружения были выполнены на 55,4%, земляная плотина на 34,3%, создана необходимая инфраструктура, проведены работы по подготовке ложа водохранилища [6]. В настоящее время объекты недостроенного гидроузла медленно разрушаются. С 1998 г. предпринимаются попытки возобновить работы по завершению строительства этого объекта. Обоснование целесообразности завершения строительства было выполнено в 2019-2022 гг. АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» (визуальное и инструментальное обследование сооружений Крапивинской ГЭС) и АО «Ленгидропроект» (оценка воздействия на окружающую среду и разработка общих технических решений завершения строительства). Проведенные исследования подтвердили возможность завершения строительства, а также был внесен ряд изменений в параметры гидроузла, включая снижение НПУ водохранилища на 2,5 м, что позволит значительно сократить объем работ в зоне затопления [13]. Вопрос о начале строительства пока остается открытым, а согласно поправкам к «Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2025 года», строительство Крапивинской ГЭС перенесено на 2026-2030 гг. [3].

Неосуществленные проекты. Среди наиболее известных неосуществленных проектов – проект Нижнеобского водохранилища. Соответствующие расчеты по его созданию были выполнены в 1967 г. Гидропроектом. Предполагалось, что оно будет расположено в районе г. Салехарда. Его параметры: полный объем по одному варианту с нормальным подпорным уровнем (НПУ) 25 м 417 км^3 , по другому с НПУ 30 м 656 км^3 . С площадью соответственно 40,8 и 55,5 тыс. км^2 . Выработка электроэнергии на ГЭС предполагалась в размере 18,9 или 23,5 млрд кВт.ч [4]. Проект водохранилища гидроузла подвергся ожесточенной критике, главным образом из-за очень большой площади затопления территории при сравнительно скромных показателях выработки электроэнергии. Решающее слово сказали нефтяники. В это время в Западной Сибири были открыты богатейшие месторождения нефти и газа, освоение которых было бы весьма затруднено с затопленных водой территорий.

В соответствии с разработанной в начале 1990-х гг. Энергетической программой предполагалось создать целый ряд крупных гидроузлов и водохранилищ, главным образом в Сибири на Дальнем Востоке. Один из самых крупных проектируемых гидроузлов Эвенкийский (Туруханский) на р. Нижняя Тунгуска – правом притоке Енисея. Площадь предполагаемого затопления территории водохранилищем довольно большая, но все же значительно меньше, чем у Нижнеобского, так как в районе его создания река протекает в узкой и глубокой долине. По мощности ГЭС (12 тыс. МВт) гидроузел стал бы крупнейшим в стране, превзойдя почти в два раза Саяно-Шушенскую ГЭС (6400 МВт). Решение по созданию гидроузла было принято еще в начале 1980-х гг., но затем из-за протестов экологов и ухудшившегося экономического состояния страны работы по проекту были свернуты. В 2007 г. проект был пересмотрен с учетом ряда замечаний. Его осуществление позволило бы в течение целого года обеспечивать 10% энергопотребления всей страны. Но все же экологи возражали против очень уж существенного, по их мнению, негативного воздействия на окружающую среду, на условия жизни местного населения, в том числе связанные с потерей охотничьих угодий, с возможностью радиационного загрязнения в результате разгерметизации полостей подземных ядерных взрывов и др. Параметры предполагаемого гидроузла и водохранилища действительно впечатляют. При плотине высотой 206 м и длине по гребню 2 км протяженность водохранилища составит 1230 км. Хотя оно будет узкое (ширина 5 км), его площадь превысит 9400 км^2 , полный объем будет равен 410 км^3 , а полезный 101 км^3 [14; 13], что соответственно превысило бы почти в 1,3 раза показатели Волжско-Камского каскада водохранилищ. Вызывает споры и стоимость проекта – 20 млрд долл.

В 1970-е гг. институтом «Гидропроект» была разработана схема гидроэнергетического освоения р. Катунь. Первыми ступенями этого комплекса должны были стать Катунская и ее контррегулятор – Чемальская ГЭС. В 1982 г. начались подготовительные работы по созданию Катунской ГЭС – приступили

к организации транспортной инфраструктуры и обустройству жилья для строителей гидроузла. Плотина Катунской ГЭС высотой 179 м создавала водохранилище площадью 87 км², с полным объемом 5,8 км³ и полезным 3,44 км³ [9]. Планировавшийся гидроэнергетический комплекс на то время должен был стать одним из самых эффективных и безопасных. Однако, под давлением экологов и в силу экономических причин к началу 1990-х гг. строительство ГЭС было остановлено, построенные объекты заброшены. В начале 2000-х гг. вновь вернулись к этому проекту, но уже под названием Алтайская ГЭС в том же створе, но в три раза меньше по размерам (высота плотины 57 м) [2]. В настоящее время ни один крупный гидроэнергетический проект на территории Республики Алтай не воплощен в жизнь. Республика является единственным регионом России, где большая часть электроэнергии производится солнечными электростанциями [15]. Несколько бетонных блоков в русле Катунки стали туристической достопримечательностью.

Также во многом по экологическим и финансовым соображениям не реализованы проекты гидроузлов на Енисее (Игаркский, Осиновский, Среднеенисейский), Ангаре (Нижнеангарский), Витиме (Бодайбинский, Мокский), Лене (Ленский, Нижнеленский, Чапаевский, Якутский), на реках бассейна Амура (Дальнереченский, Нижнениманский, Селемджинский, Шилкинский) и др. реках. В последнее время реализацией некоторых проектов советской эпохи заинтересовался холдинг En+ Group (вертикально интегрированный производитель алюминия и электроэнергии), который прорабатывает возможность строительства Тельмамской ГЭС на р. Мамакан, Нижнебогучанской и Мотыгинской на р. Ангаре, а также возможность завершения строительства Крапивинской ГЭС. Ввод в эксплуатацию Тельмамской и Нижнебогучанской ГЭС при благоприятных экономических условиях может состояться в 2030 г. [18].

Спуск водохранилищ. В США и Европе активизировалось движение по демонтажу плотин и соответственно спуску водохранилищ. По данным организации «Реки Америки» (American Rivers), с 1912 по 2021 год в США была демонтирована 1951 плотина [17]. Демонтируются плотины, расходы на эксплуатацию которых, техническое обслуживание и модернизацию в соответствии с новыми технологиями превышают стоимость вырабатываемой ими энергии [11].

В нашей стране не было случаев спуска крупных водохранилищ. Однако немало призывов спустить некоторые из них, например, Рыбинское. Убедительные доводы против этих призывов дал А.Б. Авакян [1]. Вместе с тем, остается актуальным вопрос об оптимизации их функционирования.

Своеобразным аспектом рассматриваемой темы является повреждение или разрушение уже созданных гидроузлов, приведших в ряде случаев к спуску водохранилищ. Причинами аварий на плотинах бывают как природные (экстремальные паводки и паводки), так и антропогенные (ошибки в проектировании и управлении работой гидроузлов, некачественное строительство) факторы и их

совокупность, а также военные действия (например, спуск Каховского водохранилища в июне 2023 г.).

В практике гидростроительства наиболее известны четыре аварии, ставшие классическими примерами катастроф антропогенного характера. Три из них завершились полным разрушением плотин, остатки которых стали историческими и туристическими объектами. Это аварии на плотинах Мальпаса на р. Рейран (южная Франция), Болдуин Хиллз в Калифорнии (на месте водохранилища сейчас городской парк), Титон в бассейне р. Колорадо. А вот плотина Вайонт (север Италии) устояла, когда обрушившийся в водохранилище оползень, спровоцированный его заполнением, выплеснул в сторону верхнего и нижнего бьефов примерно 115 млн м³ воды. Было принято решение вывести из эксплуатации водохранилище и спустить воду. Сток р. Вайонт направлен через специальный (аварийный) водосброс вокруг плотины. Она по-прежнему остающейся самой высокой в Италии и одной из самых изящных и живописных плотин мира, на которую открыт доступ туристов[8].

Заключение

Водоохранилища играют и будут играть огромную роль в жизни общества, несмотря на зарубежную практику спуска некоторых из них и призывы к спуску ряда наших водохранилищ. Наиболее обоснованным представляется путь их обустройства и оптимизации водного режима. Вместе с тем, создание новых водохранилищ требует все более тщательного анализа экономических и экологических аспектов их проектов, в чем убеждает анализ последствий создания уже существующих водохранилищ, отклоненных и незавершенных проектов.

Исследование выполнено в рамках темы Государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 (1021051703468-8).

Библиографический список

1. Авакян А.Б. Народнохозяйственные и экологические последствия спуска водохранилищ // Гидротехническое строительство. 1991. № 8. С. 1-8.

2. Алтайская ГЭС. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%82%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%93%D0%AD%D0%A1. (дата обращения 12.02.2024).

3. *Ворожейкин В.* Строительство отложили на два года, а общественные слушания признали недействительными. Достроят ли вообще Крапивинскую ГЭС. Региональный сайт Кузбасса А42.RU. 7 февраля 2023 г. Режим доступа: <https://gazeta.a42.ru/lenta/articles/155732-stroitelstvo-otlozili-na-dva-goda-a-obshhestvennye-slusaniya-priznali>. (дата обращения 12.02.2024).

4. *Воропаев Г.В., Бостанджогло А.А.* Проблема изъятия, переброски и распределения части стока сибирских рек для районов Западной Сибири, Урала, Средней Азии и Казахстана. М.: ИВП АН СССР, 1984. 375 с.

5. *Егоров С.П.* Чебоксарская гидростанция. Отдельные страницы из истории строительства 1968–1981. Новочебоксарск, 2020. 83 с.

6. *Жевлаков А.А., Иванов В.М., Слива И.В.* О возможности завершения строительства Крапивинской ГЭС // Гидротехника. 2022. № 3. С. 49-53.

7. *Жирнов Е.П.* Первая несокрушимая крепость // Коммерсантъ История. 17.09.2022. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5569391> (дата обращения 15.07.2023)

8. *Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С.* Вода и человек. М.: Издательство «Перо», 2022. 324 с.

9. *Малик Л.К.* Географические прогнозы последствий гидроэнергетического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке. М.: ИГАН СССР, 1990. 317 с.

10. Нижнекамская ГЭС // Татэнерго. Режим доступа: https://energybase.ru/power-plant/Nizhnekamsk_HPPP?ysclid=lk48j74byj10118350 (дата обращения 15.07.2023).

11. Опять о плотинах. Ташкент, 2015. 52 с.

12. Официальный сайт ICOLD. Режим доступа: https://www.icold-cigb.org/GB/dams/dams_safety.asp (дата обращения 24.02.2024).

13. Оценка воздействия на окружающую среду завершения строительства Крапивинской ГЭС на р. Томь. Книга 3. Резюме нетехнического характера. Ленгидропроект, 2022. 128 с. Режим доступа: <https://storage.yandexcloud.net/storage.rushydro.ru/iblock/320/320085511be9892de859aaf96ca76cc2/2198-8-3-OVOS-Kniga-3-Rezjume-netehnicheskogo-harakter.pdf>. (дата обращения 12.02.2024).

14. Строительный мир. 22.02.2021. Режим доступа: <https://dzen.ru/a/YDIvzb1ynHHRVoM6> (дата обращения 09.02.2024).

15. Схема и программа развития электроэнергетики Республики Алтай на 2022-2026 годы. Режим доступа: https://www.sinref.ru/000_uchebniki/04600_raznie_13/948_Altaiski-krai-razvitie-energet-do-2025-goda/006.htm?ysclid=lsj47dgych794461300. (дата обращения 12.02.2024).

16. Эвенкийская ГЭС. Мечта российских гидроэнергетиков. 23.08.2011. Режим доступа: <https://saiga20k.livejournal.com/39144.html?ysclid=Il3lcwseew417990788> (дата обращения 09.02.2024).

17. American Rivers. Режим доступа: <https://www.americanrivers.org>. (дата обращения 24.02.2024).

18. Еп+ запланировала строительство четырех новых ГЭС до 2030 года // Интерфакс. 6 октября 2021. Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/795554>. (дата обращения 12.02.2024).

З.А. Бекух, Ю.А. Горбачёв, В.С. Горячев, А.Е. Шумихин,
gorbachev_yura23@mail.ru

Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

НОВЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕК

Существуют различные наземные и дистанционные методы измерения гидрологических показателей водотоков. Дистанционные методы позволяют сокращать время проведения работ и повышают безопасность исследований. В работе обоснована целесообразность и варианты дистанционных методов наблюдения с использованием БПЛА за гидрологическими показателями. Появление новых технологий позволяет рассматривать возможность дистанционного сбора информации.

Ключевые слова: исследование, БПЛА, скорость течений, измерение глубин, уровень режим, дистанционные методы.

Z. Bekuh, Y. Gorbachev, V. Goryachev, A. Shumihin, gorbachev_yura23@mail.ru
Kuban State University, Krasnodar, Russia

NEW METHODS OF REMOTE MEASURING AND MONITORING OF HYDROLOGICAL INDICATORS OF RIVERS

There are various ground-based and remote methods for measuring the hydrological parameters of streams. Remote methods can reduce work time and increase the safety of research. The work substantiates the feasibility and options for remote monitoring methods using UAVs for hydrological indicators. The emergence of new technologies makes it possible to consider the possibility of remote collection of information.

Keywords: research, UAV, current speed, depth measurement, level mode, remote methods.

Введение

При проведении наземных наблюдений за водными объектами исследователи часто сталкиваются со многими трудноразрешимыми проблемами: малоизученные районы, места обитания диких животных и др. И при этом, исследователям необходимо находиться непосредственно вблизи водоема для измерения показателей. Многие слабо изученные водотоки у своих берегов имеют труднодоступную, опасную территорию, на которой исследователь может принести вред своему здоровью или вывести из строя оборудование. При использовании БПЛА (беспилотных летательных аппаратов) уменьшается время нахождения специалистов в опасной местности.

С помощью БПЛА в гидрологии решаются следующие задачи: рекогносцировочное обследование территории, измерение уровня режима воды в реке, измерение глубин, измерение скоростей течения и температуры водной глади водоема.

Рекогносцировочное исследование территории

В полевой период перед измерением гидрологических показателей необходимо произвести рекогносцировочное обследование территории. Рекогносцировка местности представляет собой предварительное изучение территории. В гидрологии рекогносцировка представляет собой установление характера подстилающей поверхности (для определения коэффициента шероховатости), измерение ширины поймы, выявление суженных спрямленных участков на водотоках.

Эту задачу также можно выполнить с помощью БПЛА. Благодаря мобильности и скорости БПЛА способны выполнить эту работу намного быстрее, чем исследователи, использовавшие метод наземного наблюдения. Для данного типа наблюдений подходят компактные БПЛА, они обладают достаточными характеристиками для выполнения данной работы, при этом имеют относительно низкую стоимость и высокую мобильность. Данные модели подходят также для замера уровня воды, аэровидеосъемки для измерения скорости течения, но имеют слишком маленькие размеры для установки на них лидара или тепловизора. В зависимости от поставленной цели необходимо подобрать правильную модель БПЛА и проводить дистанционные измерения в комплексе, что позволит увеличить эффективность проведения исследований.

Измерение уровня воды

Для измерения уровня воды в реке, с помощью БПЛА нужно организовать гидрологический пост. Измерение уровня воды планируется проводить с помощью аэрофотосъемки местности и определения показателей по отметке относительно водомерного устройства. Для большинства водотоков рационально использовать речные гидрологические посты.

Для получения наиболее точных показателей по уровням воды, рейка по габаритным размерам должна быть гораздо больше, чем рейка для наземных наблюдений (рис.1).



Рис. 1. Схема речного водомерного поста для дистанционных наблюдений

Это необходимо для фиксации показателей даже с большого расстояния. Длина деления шкалы рейки выбирается в зависимости от колебания уровня воды в реке. Деления шкалы должны быть представлены в черно-белых цветах, граница смены цвета проходит по отметкам шкалы.

Измерение глубин

Наземные измерения высотных отметок дна водоема производится с помощью эхолота. Для дистанционного измерения используются батиметрические лидары – тип аэрофотосъемки сквозь толщу воды. При съемке батиметрическим лидаром инфракрасный свет (традиционной лазерной установки) отражается от земной или водной поверхности, возвращаясь к летательному аппарату, тогда как излучение дополнительного зеленого лазер проникает через толщу воды [4]. Единственное препятствие, которое встает перед лазерно-локационным батиметром, это наличие химических и механических примесей в водоеме. Максимальная глубина, на которой может проводиться данная съемка – 70 м[4].

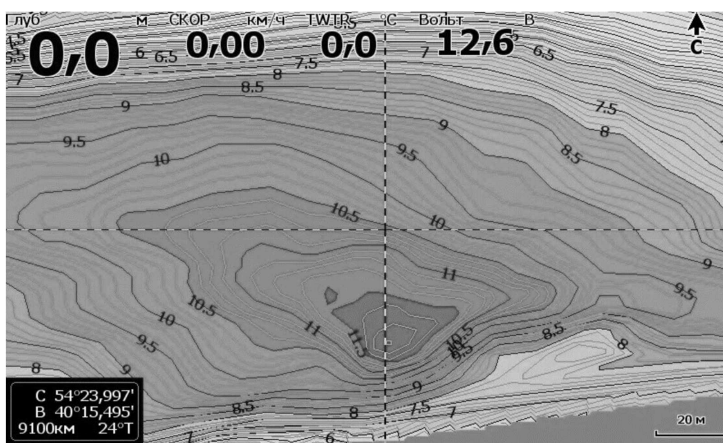


Рис. 2. Результаты измерений глубин с помощью батиметрического лидара

Измерение скорости течения и температуры поверхности водной глади

В международной гидрологической практике распространены следующие методы оценки поверхностных скоростей течения дистанционными методами: измерение скорости по слежению за плавающими объектами – PTV (Particle tracking velocimetry), измерение скорости по анализу изображений объектов – PIV (Particle image velocimetry) и его развитие – LSPIV (Large scale particle image velocimetry), измерение скорости на основе учета пространственно-временных изменений на изображениях – STIV (Space-time image velocimetry) и некоторые другие [5].

В университете Кобэ (Япония) разработана целостная система наблюдений за распределением поверхностной скорости по методу STIV и оценке расхода воды в реке. Система получила название KU-STIV (Kobe university space-time image velocimetry). Она использует видеозаписи с береговых камер и беспилотных самолетов. Компьютерной программой на поверхность реки вдоль створа на скоростных вертикалях накладывается виртуальная «сетка линий» длиной 10-20 м (рис. 2). Скорость потока вычисляется по времени, в течение которого рябь на водной поверхности или плавающие предметы переместятся вдоль этих линий, чтобы затем косвенно вычислить расход воды в этом створе. Поверхностные скорости, расходы воды по этой системе находятся в хорошем соответствии с данными акустического профилографа, однако система KU-STIV работает более оперативно и безопасно [5].

Измерение скорости течения воды также может быть выполнено по тепловым изображениям. Для этого необходимо получить ряд тепловых разновременных изображений и применить метод измерения скорости по изображениям объектов (PIV), в качестве которых выступают термические неоднородности на водной поверхности.

Таким образом, определив показатели уровня, скорости течения и глубины реки, можно определить расход воды в створе.

Для дистанционного измерения температуры поверхности реки используются тепловые датчики, прикрепленные к БПЛА. Тепловые датчики не подходят в ситуациях, когда необходимы точные данные, но могут служить для определения местоположения температурных аномалий стока. С помощью этого метода можно выявить аномалию, и по форме и температуре аномалии определить источник.

Анализ результатов

На данный момент использование БПЛА для измерения различных гидрологических показателей ограничено в связи с относительно высокой себестоимостью проведения таких работ (стоимость оборудования и затраты на его эксплуатацию). Стоит отметить, что зачастую при высокой себестоимости данных работ, при систематическом использовании БПЛА вместо традиционных методов, возможна быстрая окупаемость процесса за счет сокращения времени на производство работ и увеличением качества выполнения исследований.

Также недостатком данного дистанционного метода является невозможность выполнения работ в суровых климатических условиях (БПЛА не функционируют при отрицательных температурах).

Выводы

Главной особенностью использования БПЛА для получения гидрологических показателей является способность охватывать большие территории и, таким образом, предоставлять более подробную, точную информацию о ней, в отличии

от наземных методов, которые позволяют исследовать только определенные выборочные области.

Стоит отметить, данная тема имеет перспективы развития в будущем. При развитии технологий возможна разработка более совершенных вариантов измерения гидрологических показателей и практическое применение, описанных в работе методов.

Библиографический список

1. *Гладков Г.Л., Журавлев М.В., Москаль А.В., Ганеев А.М., Колосов М.А.* Водные пути и гидротехнические сооружения // Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций. 2011.

2. *Клименко Д.Е.* Методы и средства гидрометеорологических измерений. Учебно-методическое пособие // Уральский федеральный университет. 2021.

3. Наставления к гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть 1. Основные агрометеорологические наблюдения. Книга 1. СПб.: Гидрометиздат, 2000. 347 с.

4. *Соболь И.С., Хохлов Д.Н.* Применение аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для мониторинговых исследований береговой зоны водохранилища // Приволжский научный журнал. 2016. № 4. С. 75-77.

5. *Федоровский А.С.* Новые возможности исследования рек с помощью БПЛА // Дальневосточное отделение РАН. Владивосток, 2020. Ч. 2. С.177-192.

К.М. Беркович, Р.С. Чалов
berkovitch@yandex.ru, rschalov@mail.ru
*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В РЕКАХ ВЫШЕ И НИЖЕ ПО ТЕЧЕНИЮ

Рассматриваются последствия создания водохранилищ для участков равнинных рек, остающихся свободными. Создание водохранилищ, которое осуществляется мгновенно в масштабе жизни реки, включает процесс релаксации – саморегулирования русловых процессов в соответствии с новыми гидравлическими и гидрологическими условиями. Показаны механизмы развития релаксации в формах аккумуляции выше водохранилища и размывов русел и трансформации их руслового режима ниже плотины. Длительность этих процессов составляет десятки лет. Темпы трансформации русел постепенно замедляются.

Ключевые слова: русловые процессы, регрессивная аккумуляция, глубинная эрозия, водохранилища, нижние бьефы плотин.

K. Berkovich., R. Chalov,
berkovitch@yandex.ru, rschalov@mail.ru
M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

UPSTREAM AND DOWNSTREAM IMPACT OF RESERVOIRS ON FLUVIAL PROCESSES IN RIVERS

The consequences of the reservoir construction within the free flowing sections of lowland rivers are considered. The reservoir construction, which is carried out instantaneously on the scale of the life of the river, involves the process of relaxation – the self-regulation of channel processes in accordance with new hydraulic and hydrological conditions. The mechanisms of relaxation development in the forms of accumulation above the reservoir and erosion below the dam are shown. The processes of relaxation last for decades. The rate of channel transformation is gradually slowing down.

Keywords: fluvial processes, retrogressive aggradation, bed degradation, reservoirs, tail water downstream of dams.

Введение

Водоохранилища являются самым древним и наиболее распространенным видом деятельности человека, влияющим на русловые процессы. Этот вид деятельности, как способ накопления влаги про запас возник на заре развития земледелия в засушливых теплых регионах. В настоящее время в мире насчитывается более 60 тыс. крупных водохранилищ, образованных большими плотинами высотой более 15 м, в России их более 100. Особенностью водохранилищ является то, регулирование ими речного стока и перехват стока наносов сказывается далеко за пределами самого водоема и оказывает большое влияние на состояние, режим и практическое использование рек [2; 3; 6].

Материалы и методы исследования

Работа основана на многолетних натурных и аналитических исследованиях крупных рек России, находящихся в зонах влияния водохранилищ, образованных большими плотинами: Оби, Енисея, Камы, Волги, Дона, Иртыша и других рек в период 1960-2020 гг. Исследования включали в себя повторные съемки и промеры русел, их сопоставление с установлением тенденций в изменениях морфологии русел, анализ гидрологических материалов, выявление трендов направленного изменения уровней воды, сезонного и многолетнего распределения стока воды, исследования динамики изменения крупности русловых наносов, повторные нивелировки водной поверхности.

Результаты исследований и их обсуждение

Быстрота, с которой образуются искусственные водоемы, режимные их особенности служат причиной того, что возникающие гидролого-морфологические процессы оказываются очень специфичными. Создание водохранилища занимает несколько лет, иногда десять лет, такие темпы внедрения объекта (плотины и водоема) в природную среду сравнимо только с катастрофическими природными событиями. Поэтому перестройка речного русла развивается также очень быстро по сравнению, например, с воздействием глобальных изменений стока или тектонических движений на равнинных территориях. Создание водохранилища включает процесс релаксации русла реки. Релаксация русла ниже плотин и выше водохранилищ – это отражение процесса саморегулирования русла, развивающегося во времени и пространстве и обусловленного изменением гидрологического режима и стока наносов.

Оставляя в стороне процессы переформирования чаши водохранилища, что является отдельной проблемой, выходящей за рамки русловедения, сосредоточимся на свободных участках рек, под которыми понимаются участки вне зоны водохранилища, но находящиеся под влиянием вызванных ими изменений факторов русловых процессов. В нижнем бьефе гидроузла участок начинается непосредственно от плотины и завершается там, где восстанавливается естественный гидрологический режим (стока воды и наносов, русловой режим и т.д.); выше водохранилища нижняя граница свободного участка подвижная, так как уровень водохранилища и, соответственно, дальность распространения подпора меняется в сезонном и многолетнем аспекте в зависимости от назначения водохранилища и технических характеристик использования накопленного объема воды. Неоднозначность границы дала основание Н.И. Маккавееву с соавторами[6] выделить зону переменного подпора, в пределах которой свободные условия периодически меняются подпорными, что делает процессы отложения наносов особенно интенсивными. Заиление этой зоны во многом определяет развитие регрессивной аккумуляции. Выше по течению, в пределах свободного участка релаксация русла осуществляется путем аккумуляции наносов, связанной с подпором косвенно и распространяющейся против течения (регрессивно).

Дальность ее распространения может достигать пяти и более длин зоны подпора. Регрессивная аккумуляция наиболее ярко проявляется при песчаном составе руслообразующих наносов и при большой величине их стока, когда в зоне переменного подпора накапливается большое количество наносов или формируется гряда (дельта) в виде своеобразного конуса выноса. Продвижение гряды к плотине приводит к дополнительным потерям напора, что проявляется в уменьшении уклона на свободном участке и отложению там наносов. Регрессивная аккумуляция проявляется в повышении меженных уровней воды, развитии пойменных рукавов и проток, подтоплении и затоплении земель. Темп аккумуляции зависит от объема стока наносов и соотношения режима реки и водохранилища: в устьевой части р. Белой, впадающей в Нижнекамское водохранилище скорость аккумуляции в 1990-е гг. составляла 6 см в год. Средняя скорость повышения отметок дна р. Оби в 270-290 км от плотины составляла 3 см, на перекатах –7 см/год. Скорость распространения аккумуляции составляет 5-7 км в год, подчиняясь логарифмической зависимости по времени, как другие релаксационные процессы. Однако, в целом явление регрессивной аккумуляции изучено недостаточно, т.к. внимание обычно сосредотачивается на заилении чаши водохранилища, которое имеет наиболее явное практическое значение.

Трансформация русла реки ниже плотин определяется тремя факторами: разрыв непрерывности транспорта наносов, модификация внутригодового режима стока (уменьшение максимальных и увеличение минимальных расходов воды), и неустановившееся движение потока (во многих случаях). Процесс саморегулирования русла ниже плотины развивается за счет преимущественно глубинной эрозии, сопровождающейся увеличением крупности наносов и донных грунтов, уменьшением уклона и распространяющейся трансгрессивно по реке (т.е. вниз по течению)

Глубинная эрозия начинается еще при стеснении русла во время строительства плотины и продолжается после перекрытия реки в течение нескольких десятилетий. Средний годовой темп врезания за период эксплуатации нескольких десятков больших плотин мира (вторая половина XX в.) превышает 20 см, однако максимальные скорости размыва превышают средние как минимум на порядок величины. Характерной чертой является распространение врезания по течению реки на большое расстояние. Этим не ограничивается влияние водохранилища ниже по течению на русловые процессы. Интенсивный размыв характерен для приплотинного участка, на котором происходит насыщение потока руслообразующими наносами. В зависимости от крупности донных отложений и геологического строения русла восстановление стока наносов и характерных форм руслового рельефа происходит на расстоянии от нескольких десятков до сотни километров от плотины. Существенную роль в этом процессе играет распространение волн суточного регулирования стока, увеличивающих транспортирующую способность потока. Так, зона размыва ниже Новосибирской плотины

на р. Оби примерно совпадает с расстоянием (до 50-60 км), на которое распространяются средние по высоте волны суточного регулирования. Развитие трансгрессивной эрозии ниже плотин, вероятно, заключается в постепенном увеличении длины пути насыщения потока по мере укрупнения руслообразующих наносов в зонах первоначального и последующих этапов врезания. Релаксация русла развивается несколько десятков лет, но только относительно короткий участок реки подвергается интенсивной эрозии, исчисляемой сантиметрами и десятками сантиметров в год, довольно быстро сменяющейся медленной эрозией или стабилизацией. Для нижележащего участка длиной несколько десятков километров характерно относительно медленное врезание (до 5 см в год), распространяющееся трансгрессивно, причем стабилизация русла происходит с запаздыванием относительно приплотинного на десяток лет.

Еще ниже по течению главную роль играет сезонное регулирование стока, которое сказывается на устойчивости русла и изменении его морфологии и характера горизонтальных деформаций. Направленных вертикальных деформаций не происходит. Больше всего это сказывается на реках, разветвленных на рукава, причем на расстоянии в десятки и сотни километров в зависимости от восстановления естественных характеристик стока.

Прекращение врезания реки ниже водохранилища происходит при образовании аллювиальной отмостки (если руслообразующие наносы крупногалечные или валунно-галечные) или полном смыве рыхлых речных отложений и обнажении на дне реки трудно- или неразмываемых (скальных) грунтов. В этом случае в нижнем бьефе активизируются размывы берегов (боковая эрозия) при соответствующем их строении или зона размыва полностью смещается вниз по течению, за пределы выходов в русле неразмываемых грунтов. При этом на скальных участках русла продолжается «посадка» уровней как следствие его размыва и понижения отметок дна ниже по течению [7].

Размывы русла ниже плотин гидроузлов и увеличение благодаря им стока наносов ниже по течению, особенно в условиях регулирования стока (снижения водности половодий), сопровождается их аккумуляцией ниже по течению. В результате ниже зоны размыва, которая со временем смещается трансгрессивно, постепенно затухая, возникает волна аккумуляции наносов и временного обмеления русла, также распространяющаяся вниз по течению, постепенно уменьшаясь в объемах и степени выраженности [4].

Вместе с тем, врезание реки само по себе, с учетом понижения уровней воды в многоводную фазу режима приводит к трансформации морфодинамического типа русла или его гидролого-морфологических характеристик. Так, на Оби ниже Новосибирского водохранилища произошло обмеление одного из рукавов в одиночных и сопряженных разветвлениях, причленении островов (полное или пока с сохранением бывшего рукава в виде маловодной протоки) к бере-

говой пойме и преобразование разветвленного русла в извилистое (меандрирующее). Одновременно ниже по течению, там, где аккумулируются продукты размыва ниже плотны, сформировались сначала осередки, которые при зарастании превратились в острова (в основном прибрежные, образующие односторонние разветвления, или острова 2-го порядка в рукавах существующих разветвлений). На нижнем Дону регулирование стока и снижение величины руслоформирующего расхода воды Цимлянским водохранилищем привели к изменению параметров излучин (их радиусов кривизны и шагов) [4; 5].

Регулирование стока и перехват водохранилищами стока наносов сказывается, помимо продуцируемых ими вертикальных деформаций, на русловом режиме реки на участке, протяженность которого зависит от приточности реки: на Оби режим стока воды практически восстанавливается после слияния с р. Томью; на Иртыше влияние каскада водохранилищ в казахстанской части сказывается намного ниже г. Омска, в пределах которого в него впадает лишь сравнительно небольшой приток – р. Омь[2]. Это привело к массовому зарастанию прирусловых отмелей, создававших здесь в естественных условиях, осередковую разветвленность в относительно прямолинейном русле, и превращению ее в островную (русловую) с преобладанием сложных параллельно-рукавных разветвлений. Возникший же ниже водохранилищ дефицит наносов (при слабой размываемости берегов) сказывается в почти полном отсутствии на реке прирусловых отмелей (побочней и осередков), обсыхающих в межень.

Заключение

Выполненные исследования выявили разносторонние изменения руслового режима рек выше и ниже водохранилищ после их создания. Наряду с наиболее изученными процессами врезания рек в нижних бьефах, распространяющееся трансгрессивно, и регрессивной аккумуляцией наносов в зоне переменного подпора и выше водохранилищ происходит изменение морфодинамического типа русла, как следствие этих вертикальных деформаций, так и изменения гидрологического режима и стока наносов.

Исследование выполнено по планам НИИР (госзадания)научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева и кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова (проекты 121051200166-4и 121051400038-1 – исходные материалы, расчеты русловых деформаций) при финансовой поддержке РФФ (проект 23-17-00065 – географический анализ трансформаций русел под влиянием водохранилищ).

Библиографический список

1. Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Географ. ф-т МГУ, 2012. 163 с.
2. Дегтярев В.В. Изменения гидрологического режима Иртыша //Речной транспорт, 1961. № 12. С. 39-40.
3. Маккавеев Н.И. Воздействие крупного гидротехнического строительства на геоморфологические процессы в речных долинах // Геоморфология, 1970. № 2.

4. *Маккавеев Н.И., Федоров Б.Г.* Глубинная эрозия в нижних бьефах // Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. М.: Наука, 1972. С. 89-98.

5. *Серебряков А.В.* Руслые процессы на судоходных реках с зарегулированным стоком. М.: Транспорт. 1970. 128 с.

6. Транспортное использование водохранилищ. М.: Транспорт, 1972. 223с.

7. *Чалов Р.С., Рулева С.Н., Камышев А.А., Беркович К.М., Завадский А.С., Михайлова Н.М.* Верхняя и средняя Обь: русловые процессы и оценка условий управления ими // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Географ. ф-т МГУ. 2018. Вып. 20. 269 с.

А.Н. Василенко^{1,2}, В.Ю. Григорьев^{1,2}, И.А. Репина^{1,2}, an_vasilenko24@mail.ru

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ И ЭМИССИЯ МЕТАНА В МОЛОДОМ БОЛЬШОМ БОГУЧАНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ РАБОТ 2021-2023 ГГ.

Описаны результаты полевых измерений концентрации метана в верхнем и нижнем бьефах Богучанского водохранилища и приведены результаты расчетов потока метана с его поверхности. Установлено пространственное распределение рассматриваемых характеристик и их сезонный ход. Показано, что наибольшие средние концентрации метана формируются в водах в конце календарного лета. Показано также, что, не смотря на недостаточную подготовку ложа водохранилища: затопление массивов болот и леса, эмиссия метана с его акватории невелика в течение свободного ото льда периода (в пределах $30 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$), при том, что концентрации метана в придонных горизонтах отдельных заливов могут достигать сотен мкл/л, при этом с пузырьковым потоком могут формироваться выбросы величиной до сотен $\text{мгСН}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$.

Ключевые слова: метан, парниковые газы, эмиссия с акватории водохранилищ.

A. Vasilenko^{1,2}, V. Grigorev^{1,2}, I. Repina^{1,2}, an_vasilenko24@mail.ru

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

²A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

FORMATION AND EMISSION OF METHANE IN THE YOUNG BIG BOGUCHANSK RESERVOIR ACCORDING TO FIELD WORK DATA 2021-2023

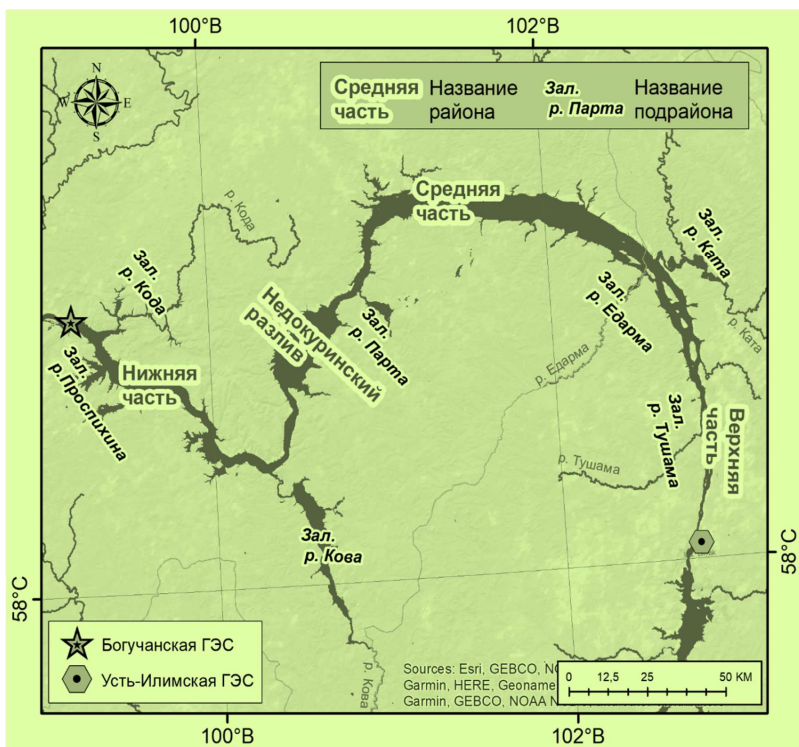
The article describes the results of field measurements of methane concentrations at various horizons of the Boguchansk reservoir, as well as the results of measurements of methane fluxes from its surface, in conditions of high water content. The spatial distribution of the considered characteristics and their seasonal course are established. It is shown that the highest average concentrations of methane are formed in waters at the end of the calendar summer. It is also shown that, despite the insufficient preparation of the reservoir bed: flooding of swamps and forest landscapes, methane emissions from its water area are low during the ice-free period (within $30 \text{ MmgCH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{day}$), despite the fact that methane concentrations in the near-bottom horizons of individual bays can reach hundreds of $\mu\text{l/l}$, at the same time, emissions of up to hundreds of $\text{mgCH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ can form with the bubble flow.

Keywords: methane, greenhouse gases, reservoir fluxes.

Введение

Богучанское водохранилище, замыкающее на сегодняшний день Ангарский каскад, было заполнено до проектной отметки в августе 2015 г. Объем водохранилища при НПУ составляет 55 км^3 [3], максимальные глубины порядка 73 м. При этом высота призмы регулирования составляет всего 1 м, а полезный объем $2,2 \text{ км}^3$. Основной приходной частью водного баланса служат сбросы

Усть-Илимской ГЭС. Площадь водосборов боковых притоков составляет 47 000 км² [1]. Водосборная площадь боковых притоков находится в таёжной зоне, в поймах ряда рек распространены болота. При заполнении водохранилища подготовка ложа не была произведена в полной мере, в связи с чем, затоплены значительные массивы лесов и болот. Водоём димиктический, мощность эпилимниона достигает 20 м в низовьях, температуры воды достигают 20-25°C на поверхности и 4-9°C у дна. Период свободный ото льда составляет 4-5 месяцев. Донные отложения сформированы только на участках абразии берегов, в остальном же представлены галечным материалом [2]. Экспедиционные исследования 2021–2023 гг., охватили все фазы термического режима водохранилища, за исключением осеннего перемешивания. Всего было проведено 5 экспедиций, три из них в период свободный ото льда. Исследованиями была охвачена вся акватория водохранилища (рисунок).



Богучанское водохранилище и его районы

Важной особенностью периода измерений была повышенная водность, как летне-осенняя (вплоть до использования водосбросов), так и зимняя (в связи с ремонтными работами на Усть-Илимской ГЭС).

Материалы и методы исследования

В ходе экспедиций производился отбор проб воды на содержание метана, при прямой стратификации из горизонтов: поверхностный, над и под слоем скачка и придонного, в случае больших глубин (более 40 м) отбирались также промежуточные пробы под слоем скачка; при отсутствии стратификации пробы отбирались из поверхностного (подледного) горизонта, далее с шагом 1 м до глубины около 5 м и из придонного горизонта. Для измерения потоков метана устанавливались поверхностные камеры на срок 1 час. Использовались от двух до трех камер. Определение концентраций метана в пробах проводилось методом *headspace*.

Анализ результатов

Средние концентрации метана в русловой части Богучанского водохранилища составляли 1-2 мкл/л, причём, максимальные концентрации наблюдались в августе 2023 г., а минимальные концентрации – в июне 2022 г. и в сентябре 2021 г. Зимние концентрации метана были в среднем близки к нулю в русловой части водохранилища. В заливах концентрации метана были в среднем несколько выше, однако, в поверхностных горизонтах были близки к таковым в русловой части, различия достигали 1-2 мкл/л. При этом, в придонных частях заливов в основном наблюдался рост концентраций на величины до сотен мкл/л. Концентрации метана в придонных частях заливов как правило росли вверх от входа в залив. На качественном уровне отмечен наиболее значительный рост концентраций метана в заливах при больших площадях затопленных лесов, где, в придонных горизонтах формируются условия близкие к гипоксическим и даже аноксическим. Размах концентраций метана в водах заливов уменьшается в зимний период, но более высокие придонные концентрации сохраняются.

Удельные потоки метана в основной части водохранилища колеблются от 0 до порядка 10 мгСН₄/м²*сут, при преобладающих значениях в 1-2 мгСН₄/м²*сут. Вероятно, что удельные потоки метана с нижней части водохранилища (ниже Недокуринского разлива) превышают потоки с центральной и верхней. Верхняя часть водохранилища, в силу близости к УИГЭС, лучше перемешивается, что препятствует развитию анаэробных процессов. Однако, наличие сильно выраженной стратификации в нижней части водохранилища препятствует прогреву придонных горизонтов и, соответственно, препятствует развитию биохимических процессов. Так в нижней части водохранилища температура воды у дна находится в диапазоне 4-6°С в течение всего года, в то время как в верхней может прогреваться до 9°С. Существенного различия в величине потоков метана с русловой и пойменной частями водохранилища выявлено не было. Во многом это связано со значительной крутизной склонов водохранилища – относительно мелководные участки расположены зачастую в не более чем 100 м от берега. Отметим, что измерения в мелководной части водохранилища были ограничены из-за

наличия затопленного и плавучего леса, что могло привести к тому, что полученная для пойменной части водохранилища выборка является смещенной, т.е. не полностью репрезентативной.

В значительно больших пределах колеблется величина потоков метана с акватории заливов. В большинстве случаев она сопоставима с величиной потока с основной части водохранилища, однако, в ряде случаев были зафиксированы потоки, превышающие $100 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$, с максимумом в $690 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$. Наличие подобных пиков в заливах может быть связано с рядом факторов: защищенность от ветра, что препятствует перемешиванию и, соответственно, поступлению кислорода в придонные горизонты, относительно небольшая глубина, что способствует прогреву придонных горизонтов, поступление органического вещества с речным притоком и разложение органики, сохранившейся с периода до затопления. Однако, величины потоков в этих случаях колебались в пределах двух порядков – как от метановой камеры к метановой камере, так и от сроков измерений. Это, а также труднодоступность многих заливов, в частности Ковинского, вносит существенную неопределённость в полученные оценки.

В период открытой воды для величин потока метана выражен сезонный ход с максимумом в августе – в период наиболее устойчивой стратификации. На это может влиять множество факторов – большие скорости ветра и особенности изменчивости атмосферного давления в этот период, повышенные сбросы с Усть-Илимской ГЭС, накопление автохтонного органического вещества в придонных горизонтах к концу лета.

Содержание метана в водной толще Богучанского водохранилища также имеет выраженную сезонную динамику, во многом совпадающую с динамикой потоков метана – максимум запаса СН_4 был выявлен в августе (208 т), а минимум в июне – 28 т. Вероятно сезонный ход имеет один максимум и один минимум. Так снижение запасов СН_4 происходило и в зимний период – в конце февраля они составили 66 т, в конце марта уже 36 т.

Вероятно, что основным фактором, определяющим временную динамику потоков и концентраций метана в Богучанском водохранилище, является температура воды, определяющая интенсивность процессов метанообразования. Температура воды в придонных горизонтах в нижней части водохранилища колеблется от $3,5^\circ\text{C}$ до $6,5^\circ\text{C}$, а в верхней части от 0°C до 9°C . Это, а также малое количество органического вещества в донных отложениях, говорит о том, что продукция метана на основной, относительно глубоководной, части водохранилища не концентрируется в придонном горизонте, а распределена по всей толще гипolimниона, что подтверждается наличием нескольких пиков концентрации в нем. Косвенным подтверждением данной гипотезы также служит отсутствие связи между потоком метана и глубиной, при глубинах менее порядка 30 м.

Концентрация метана в водах притоков Богучанского водохранилища колеблется в широких пределах, от менее чем $1 \text{ мгСН}_4/\text{м}^3$, что близко к содержанию метана в основной толще водохранилища, до порядка $12 \text{ мгСН}_4/\text{м}^3$. Поскольку

изменения концентрации метана в водотоках происходили лишь в период зимней и летне-осенней межени, в то время как основная часть стока формируется в период половодья, оценка притока метана с боковой приточностью не производилась.

Нижние бьефы как Богучанского так и Усть-Илимского водохранилищ отличаются не большими концентрациями метана, что вносит существенную неопределенность в баланс содержания метана на рассматриваемом участке. Однако, в целом содержание метана в нижнем бьефе БОГЭС выше, чем в нижнем бьефе УИГЭС. При этом рост концентрации может быть связан как с влиянием притоков, т.е. может быть не связан с Богучанским водохранилищем как таковым, так и с внутриводными процессами.

Выводы

По итогам экспедиций средний удельный поток метана с акватории Богучанского водохранилища был оценен от 1,1 мгСН₄/м²*сутв сентябре 2021 г. до 4,7 мгСН₄/м²*сут в августе 2023 г., что в среднем на порядок меньше удельного потока характерного для водохранилищ Европейской части России. Оценка эмиссии метана, сделанная при ряде допущений, составила 958 т/год.

В рамках пяти экспедиций значимые величины дегазации, происходящей при прохождении стока через плотину, были выявлены лишь в одной из них – в августе 2023 г. Величина дегазации составила 103 кг/сут, что более чем в 100 раз меньше величины эмиссии с акватории водохранилища. Таким образом, величину дегазации, исходя из полученных результатов, можно оценить в 3 т/год, а общую величину эмиссии метана в результате работы БОГЭС в 961 т/год.

Исследования выполнены при поддержке ПАО «Русгидро» (договор подряда № 1010-416-2021 от 27 апреля 2021 г.).

Библиографический список

1. Бураков Д.А., Путинцев Л.А. Краткосрочный прогноз бокового притока воды в водохранилище Богучанской ГЭС // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 5. 65-74.

2. Василенко А.Н., Григорьев В.Ю., Ретина И.А. Гидрологические характеристики большого молодого Богучанского водохранилища по данным полевых исследований 2021-2023 гг. // Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова Пятое Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен [Электронный ресурс], под редакцией О.М. Макарьевой, П.А. Никитиной. Санкт-Петербург: ООО Издательство ВВМ, 2023. С. 64-69.

3. Приказ Федерального агентства водных ресурсов Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации №244 от 20 ноября 2015 года «Об утверждении Правил использования водных ресурсов Богучанского водохранилища».

А.М. Гареев, aufar.gareev@mail.ru
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА МАЛЫХ РЕК ВОДОХРАНИЛИЩАМИ

Раскрыты методические положения обоснования оптимальных параметров и размещения водохранилищ на малых реках с учетом экономических и экологических критериев. Они предусматривают необходимость дифференцированного анализа физико-географических условий (географического положения, орографии, водно-балансовых и др. характеристик) территорий, где располагаются бассейны изучаемых рек. Это наибольшую значимость имеет в условиях формирования региональных откликов глобального потепления климата с возникновением совокупности неблагоприятных хозяйственно-экономических и экологических последствий. Аprobация методических положений осуществлена на примере бассейна р. Урал в пределах Российской Федерации.

Ключевые слова: малые реки, сток, зарегулирование, водохранилища, экономические, экологические, критерии.

A. Gareev, aufar.gareev@mail.ru
Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

ECONOMIC AND ECOLOGICAL CRITERIA FOR FLOW REGULATION OF SMALL RIVERS BY RESERVOIRS

The article reveals methodological provisions of justification of optimal parameters and placement of reservoirs on small rivers taking into account economic and ecological criteria. They stipulate the necessity of differentiated analysis of physical and geographical conditions (geographical position, orography, water-balance and other characteristics) of the territories where the basins of the studied rivers are located. This is most important in the conditions of formation of regional response of global climate warming with the emergence of a set of unfavourable economic, economic and environmental consequences. Approbation of methodological provisions is carried out on the example of the Ural River basin within the Russian Federation.

Keywords: small rivers, runoff, regulation, reservoirs, economic, environmental, criteria.

Введение

Методические положения, принятые в данной работе, базируются на нормативных, правовых и иных документах в сфере природоохранного и водного законодательства РФ [1; 7-9; 13], в которых требования к определению допустимого объема изъятия воды из водохранилищ учитывают:

1) обеспечение устойчивого функционирования естественных или сложившихся экологических систем, сохранение биологического разнообразия в малых реках и предотвращение негативного воздействия в результате строительства прудов и водохранилищ;

2) сохранение или улучшение состояния экологической системы в пределах водных объектов или их участков;

3) сведение к минимуму последствий антропогенных воздействий, создающих риск возникновения необратимых негативных изменений в экологической системе водного объекта;

4) обеспечение устойчивого и безопасного водопользования в процессе социально-экономического развития территории.

Однако следует отметить то, что бассейны рек в пределах обширного пространства, как территория Российской Федерации, в разрезе физико-географических зон, округов и районов отличаются наличием больших различий. Это, прежде всего, имеет отношение к отличающимся между ними соотношениям водного баланса, в том числе, и формированию безвозвратных потерь в результате дополнительного испарения с поверхности водохранилищ. Как известно, в регионах, характеризующихся засушливостью климата, в отличие от избыточно увлажненных территорий, на испарение воды с поверхности водоемов расходуется большое количество водных ресурсов, что может являться одной из причин количественного истощения речного стока с возникновением неблагоприятных хозяйственно-экономических и экологических последствий.

С учетом изложенного в статье приведены методические положения по обоснованию оптимального количества, объемов прудов и водохранилищ в бассейнах малых рек с учетом их нормального функционирования в условиях маловодий. Основным положением при этом является применение целевых функций, отражающих необходимость выделения минимума приведенных затрат и достижения максимума экологической эффективности. Они апробированы на основании проведения соответствующих расчетов и оценок по бассейну р. Урал в пределах Российской Федерации в рамках Государственного контракта на выполнение прикладных научных исследований по теме «Экологическая оценка последствий регулирования стока в трансграничном бассейне трансграничной р. Урал (Жайык) и разработка научно-обоснованных предложений по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной р. Урал (Жайык) [11].

Материалы и методы исследования

В качестве исходной информации были использованы: физико-географическое районирование бассейна р. Урал в пределах Российской Федерации, материалы многолетних гидрометеорологических наблюдений по станциям и постам Росгидромета, а также статистические материалы организаций и ведомств, специализирующихся в области управления водопользованием и охраной водных ресурсов в пределах изучаемой территории. Кроме того, широкомасштабно были использованы материалы собственных изысканий и наблюдений, полученные в ходе исследований, проведенных в течение многих лет, включая и 2023 г.

В соответствии с методическими положениями оптимальные параметры размещения прудов и водохранилищ устанавливаются на основании оценки состояния водного объекта (малой реки) и его экологической системы с учетом

необходимости сохранения и воспроизводства ихтиофауны, занимающей верхнюю иерархическую ступень в пищевой цепи гидробионтов в водном объекте, которые отражены в Водном кодексе Российской Федерации [1] и Федеральном законе «Об охране окружающей среды» [13].

Методические положения учитывают следующие виды воздействий:

- 1) изменение гидрологического режима малых рек, их морфометрических характеристик при строительстве и эксплуатации прудов и водохранилищ;
- 2) трансформацию экологических условий в водном объекте в связи с переходом речного режима в озерный;
- 3) изменение экологических условий в водных объектах и паводково-пойменных комплексах, выполняющих важную роль в сохранении и воспроизводстве ихтиофауны;
- 4) забор (изъятие) и количественное истощение водных ресурсов;
- 5) дополнительные потери водных ресурсов в результате испарения с поверхности акватории прудов и водохранилищ.

Таким образом, методические положения включают следующие показатели: безвозвратное изъятие воды за определенный временной период (за год, сезоны, месяцы) для наиболее критических условий по водности (95% обеспеченности) в м³/с, млн м³ и т.д. в зависимости от преобладающих видов использования водных ресурсов (орошение, хозяйственно-питьевое водоснабжение др.); потери воды на дополнительное испарение с поверхности прудов и водохранилищ в условиях изменения климата; обеспечение экологического стока (попусков) с учетом нормального функционирования прудов и водохранилищ в условиях маловодий и обеспечения нормативной водности в нижних звеньях гидрографической сети по бассейну реки.

Анализ результатов

Многообразие путей реализации экономических решений, а также различия в объёмах капиталовложений и эксплуатационных затрат на водоохраные сооружения обуславливают необходимость выбора оптимального варианта осуществления водоохранной деятельности. Таким образом, комплекс исследовательских, изыскательских, проектных и планируемых мероприятий должен проводиться в составе сложной системы, отражающей взаимодействие естественных и антропогенных факторов, изучаемых на стыке географических, экологических и экономических дисциплин. Физико-географические аспекты этого комплекса заключаются в отражении количественных и качественных характеристик воды в водных объектах, формировании потребностей отраслей народного хозяйства в водоснабжении в зависимости от природных зон, районов и формирования естественной основы экологических условий в аквальных комплексах [2].

Остановившись на анализе основных положений, отражающих современный уровень формирования и применения научно-методических подходов к

обоснованию нормативов воздействия на водные объекты, кроме вышеупомянутых Методических указаний... [7], следует привести и значительное количество других опубликованных работ [3-5; 12]. В них в качестве основных приняты положения, отражающие необходимость выполнения расчетов и оценок по определению лимитирующих составляющих речного стока, включая показатели среднегодовых расходов (объемов) воды различной обеспеченности, внутригодичное распределение речного стока в годы 95% обеспеченности по участку расположения пруда или водохранилища, экологических расходов (объемов) воды (попусков), критических расходов (объемов) воды, а также объемов допустимых безвозвратных изъятий воды в бассейне малой реки и др. В качестве методологической основы нормирования безвозвратного изъятия речного стока, установления экологического стока (ЭС) и экологического попуска (ЭП) принимается принцип устойчивого функционирования экологических систем водных объектов и околотоводных экологических систем, сохранение условий естественного размножения организмов. С учетом изложенного, в качестве экологических критериев, которые учитываются и используются при обосновании оптимальных параметров прудов и водохранилищ, мест их расположения, а также ЭП, ЭС и оценке степени нарушенности экологических систем.

Одним из необходимых условий выполнения расчетов с учетом показателей количественного истощения (изъятия) является определение так называемых критических расходов ($Q_{кр}$) и объемов воды ($W_{кр}$) в водотоке. Кроме того, методика расчетов учитывает необходимость определения таких показателей, как исторические минимальные расходы ($Q_{ист}$) и объемы ($W_{ист}$) воды, объем допустимого безвозвратного изъятия $W_{ди}$ за год и отдельные периоды, которые выражаются как:

$$W_{ди} = W_{кр} - W_{ист} . \quad (1)$$

При этом $W_{ди}$ принимается постоянным для различной водности с объемом стока выше базового. В свою очередь, минимальный сток базового года ($W_{б}$), с которого можно начинать изъятие речного стока в количестве $W_{ди}$, рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$W_{б} = W_{кр} + W_{ди} . \quad (2)$$

В качестве расчетных принимаются расходы воды в годы 95% обеспеченности, критических – 97% обеспеченности и исторических – 99% обеспеченности. В свою очередь, экологический сток учитывает необходимость анализа распределения речного стока в годы 95% обеспеченности внутри года по месяцам, учитывая условия обитания и воспроизводства ихтиофауны в пределах расчетного участка реки.

Как было показано ранее, в качестве основных недостатков, имеющихся в указанных работах, следует привести то, что в них не учтена пространственная дифференциация основных физико-географических факторов (географического положения, орографии местности и др.), влияющих на подбор оптимальных параметров гидротехнических сооружений, формирование разницы в составляющих водного баланса в разрезе различных районов и др.

Исходя из изложенного, в работе учтены положения, отражающие то, что экономические и экологические параметры функционирования как существующих, так и новых прудов и водохранилищ (если в их строительстве имеется объективная необходимость) должны учитывать следующее. Одним из основных требований является обоснование необходимого объема водохранилища, места его расположения с учетом привлечения минимальных приведенных затрат на его строительство и эксплуатацию в соответствии с требованиями целевых функций. Таким образом, подбор вида, конструкций и технического решения задачи должны осуществляться на основании применения сравнительного подхода по двум или более независимым вариантам. Это требует необходимости определения параметров самого водохранилища и осуществления экологических попусков в остро-засушливые годы на основании составления водохозяйственного баланса. Уравнение водохозяйственного баланса по створу расположения рекомендуемого водохранилища (пруда) должно учитывать: в приходной части – объем речного стока, поступающего с вышерасположенного участка (Wr), полезный объем водохранилища (Wp), в расходной части – объем испарения воды с поверхности водного зеркала водохранилища (Wi), величину безвозвратных изъятий ($Wди$), а также транзитный сток (Wt), учитывающий необходимый объем воды для поддержания экологических условий в водотоке ниже водохранилища (экологический попуск - Wy) и объем воды, необходимый для удовлетворения потребностей водопользования хозяйственными объектами и населенными пунктами, расположенными ниже по течению (Wn). Исходя из изложенного, оптимальный полезный объем водохранилища может быть рассчитан по формуле:

$$Wp = Wi + Wди + Wy + Wn - Wr . \quad (3)$$

Размещение самого (проектируемого) водохранилища должно учитывать физико-географические условия района, где планируется его строительство, в том числе орографические характеристики участка реки, ее долины, морфометрические параметры самого проектируемого водоема и др.[6;10]. В районах, характеризующихся большой изменчивостью речного стока внутри года, а также в многолетнем разрезе, предпочтительно строительство одного водохранилища многолетнего зарегулирования, что исходит из необходимости удовлетворения требований целевых функций как по экономическим, так и экологическим параметрам по выражению [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi = I_3 + E_n K_3 \rightarrow \min \\ \Delta_{\text{эф}} \rightarrow \max \end{array} \right. , \quad (4)$$

где Π - приведенные затраты, I_3 – эксплуатационные затраты, K_3 – капитальные затраты, E_n – коэффициент приведения, $\Delta_{\text{эф}}$ – показатель экологической эффективности.

Таким образом, решение оптимизационной задачи должно осуществляться на основании реализации двуединой задачи, учитывающей значимость как экономической, так и экологической составляющих эффективности.

На реках, где условия рельефа местности не позволяют (более пологий рельеф), можно разместить каскад из двух или более водохранилищ. При этом, в засушливых районах, расположенных в степной зоне, оптимальное количество водоемов должно определяться с учетом показателей дополнительных потерь воды на испарение с поверхности водоемов, так как с их поверхности в острозасушливые годы значительное количество накопленной в весеннее время воды будет расходоваться на испарение летом. Они здесь довольно высокие, могут быть сопоставимы с показателями изъятия воды на водопользование в расходной части водохозяйственного баланса.

Выводы

В результате проведенного исследования обоснованы и предложены методические положения по оптимальному зарегулированию стока малых рек. Они опробированы в ходе проведения соответствующих расчетов и оценок по бассейну р. Урал в пределах Российской Федерации в рамках Государственного контракта на выполнение прикладных научных исследований по теме «Экологическая оценка последствий регулирования стока в трансграничном бассейне трансграничной р. Урал (Жайык) и разработка научно-обоснованных предложений по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной р. Урал (Жайык). Они входят в состав обширного перечня предложений, направленных на гидролого-экологическое восстановление малых рек с учетом необходимости проведения конкретных мероприятий. В их числе обоснование мест расположения, оптимального количества и параметров водохранилищ в бассейнах малых рек с учетом особенностей нормального функционирования в условиях маловодий в нижних звеньях гидрографической сети имеет ведущее значение. Соответственно, указанные методические положения разработаны в целях поддержания поверхностных и подземных вод в состоянии, соответствующем требованиям водного законодательства Российской Федерации и могут быть применены в решении задач в сфере оптимального управления водохозяйственной деятельностью в бассейнах рек с учетом как хозяйственно-экономических, так и экологических критериев.

Библиографический список

1. Водный кодекс Российской Федерации. Новосибирск. Сиб. унив. изд-во, 2010. 48 с.
2. *Гареев А.М.* Оптимизация водоохранных мероприятий в бассейне реки (географо-экологический аспект). СПб.: Гидрометеоздат, 1995. 190 с.
3. *Дмитриева В.А.* Экологический сток в речных потоках // Региональные системы. 2022. Т. 46, № 3. С. 424-433.
4. *Дубинина В.Г., Никитина О.И.* и др. Методические подходы к определению объемов допустимого безвозвратного изъятия стока из слабоизученных и малоизученных и малых рек // Водное хозяйство России. 2015. №4. С. 80-97.
5. *Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И.* и др. Актуализация методических указаний по нормированию допустимого безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока для сохранения водных экосистем // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 2. С. 16-26.
6. *Кадильников И.П.* Физико-географическое районирование Башкирской АССР. Уфа. 1964. 210 с.
7. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утверждены Приказом МПР России от 12.12.2007 № 328.38 с.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2006 г. N 881 "О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты". Федеральные органы исполнительной власти (Государственный комитет Российской Федерации по рыболовству, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека).
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2014 года о зонах затопления, подтопления. № 360. 7 с. (с изменениями на 17 августа 2022 года).
10. *Прокаев В.И.* Физико-географическое районирование. М. Просвещение, 1983. 176 с.
11. Разработка научно-обоснованных предложений по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной р. Урал. Отчет о научно-исследовательской работе (этап 1). Уфа, УУНИТ, 2023. 167 с.
12. *Фацевский Б.В.* Основы экологической гидрологии. Минск: Экоинвест, 1996. 240 с.
13. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, № 2, ст. 133; 2004, № 35, ст. 3607; 2005, № 1, ст. 25; № 19, ст. 1752; 2006, № 1, ст. 10; № 52, ст. 5498; 2007, № 7, ст. 834; № 27, ст. 3213).

М.Г. Гречушникова, Ф. Щекотихин, allavis@mail.ru
*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗАИЛЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЧИРКЕЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Приведены результаты расчета скорости заиления Чиркейского водохранилища. Используются данные батиметрической съемки 2013 г. в котловинной части водохранилища, данные спутниковых снимков, седиментационной ловушки и новейших измерений в каньонной части водоема. Компиляция данных позволила сделать ЦМР, уточнить современные морфометрические характеристики и скорость заиления водохранилища.

Ключевые слова: водохранилище, заиление, седиментация.

M. Grechushnikova, F. Schekotihin, allavis@mail.ru
M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

DETERMINATION OF THE RATE OF SEDIMENTATION AND ACCUMULATION OF ORGANIC MATTER IN THE CHIRKEY RESERVOIR

The paper presents the results of calculating the siltation rate of the Chirkey reservoir. Data from the 2013 bathymetric survey in the basin part of the reservoir, data from satellite images, sediment trap and the latest measurements in the canyon part of the reservoir were used. The data compilation allowed us to make a digital elevation model, clarify the current morphometric characteristics and siltation rate of the reservoir.

Key words: reservoir, siltation, sedimentation.

Введение

Определение скорости заиления искусственных водоемов является важной задачей, как на этапе проектирования водоема, так и в процессе его эксплуатации, поскольку снижение объема приводит к увеличению его проточности. В случае быстрых темпов заиления требуется проведение мероприятий по удалению наносов из водоема [3]. Для актуализации данных о батиметрических характеристиках водоема требуется периодически проводить подробные измерения с тем, чтобы корректировать ПИВР. У равнинных водохранилищ в первые годы их существования донные отложения формируются преимущественно за счет абразии берегов, только после выработки устойчивого профиля начинают преобладать наносы, поступающие с поверхностным стоком. У горных водохранилищ, берега которых сложены скальными породами, поступление грунта от абразии берегов может составлять менее 10% [6]. Цель работы: определить актуальные батиметрические данные Чиркейского водохранилища.

Объект исследования

Чиркейское водохранилище – крупнейшее в Дагестане, образовано на р. Сулак в 140 км от устья реки. Помимо энергетики водоём используется для рыболовства и водоснабжения. Строительство плотины и заполнение водохранилища происходило в 1970-1974 гг. Площадь водосбора – 11 290 км², НПУ – 355 м, УМО – 315 м. Мелководный район с глубинами 0,2-40 м составляет 60% всей площади водоема. В настоящее время водоем заилен, наибольшие глубины уменьшились с 220 до 120 м. Водоохранилище относится к котловинно-долинному типу. Озеровидная часть водоема и частично русловая сложены известняками, мергелистыми известняками и глинами. Эти грунты от непостоянного уровня воды в водохранилище подвержены разрушению, что приводит к постоянному размыву берегов и оползням. Грунтообразовательный процесс в водохранилище в первые годы после заполнения осуществлялся в основном за счет размыва береговой линии [5]. За первые годы эксплуатации (к 1979 г.) в приплотинной части водохранилища слой отложений достиг в среднем 10-15 м, общий объем достиг 50 млн. м³. За 20 лет эксплуатации (к 1994 г.) объем заиления Чиркейского водохранилища составил 370 млн. м³. С началом эксплуатации Ирганайского водохранилища на р. Аварское Койсу в 1998 г. процесс заиления Чиркейского замедлился. Согласно данным измерений, проведенных Гидрометцентром Дагестана в 2000 г., фактические объемы заиления составили 480–500 млн. м³. По данным батиметрической съемки эхолотом в июне 2013 г. полезный объем водохранилища составил 1235,4 млн. м³, что на 84,6 млн. м³ меньше проектного значения 1320 млн. м³. В хвостовой части водохранилища отложения представлены крупными и средними песками, а перед расширенной частью водохранилища – пылью и глинистыми частицами.

Материалы и методы исследования

На основании результатов съемки 2013 г., промерных работ в каньонной части водохранилища авторами в 2023 г. и проверочных измерений в котловинной части (2021-2023 г.) была построена цифровая модель рельефа водоема и актуализированы его батиметрические кривые.

Для проверки точности привязки топографического плана, выполненного в 2013 г. был использован снимок Sentinel-2 за 07.08.2018 (дата, когда была достигнута отметка НПУ) с пространственным разрешением 10 м. Был выбран участок береговой линии на топографическом плане, затем береговая линия была оцифрована, после чего полученный векторный слой был наложен на снимок. Результат привязки оказался неудовлетворительным (рисунок). Выявлено, что смещение береговой линии относительно береговой линии линейное, в связи с чем топографический план был перепривязан.



Демонстрация неудовлетворительного результата привязки топографического плана на снимке Sentinel-2, где красная линия – отвекторизованная по топоплану береговая линия (левый), финальный результат привязки топографического плана (правый)

По полученным с плана векторным данным и была построена ЦМР с пространственным разрешением 1 м. В течение 2021-2023 гг. в результате экспедиций на Чиркейское водохранилище были получены точечные измерения глубин, призванные уточнить ЦМР и расширить область её построения не только на озёрную часть водохранилища, но и на каньонную (к югу от озёрной).

Значения точек промеров, попадающих на топоплан, сравнивались со значениями, полученными по ЦМР. Была рассчитана разность высот по формуле:

$$D = H_r - H_t,$$

где H_r – высота в точке, полученная в результате полевого измерения (м БС), H_t – высота в точке по топографическому плану (ЦМР). Таким образом, были получены значения превышения для всех точек.

Выводы на основании полученных результатов следующие: были подняты значения высот всех изолиний и точечных отметок с топоплана на 10 м в связи с констатированием заиления водохранилища в последние 10 лет; были удалены все изолинии в южной части водоема (у входа в каньон), после чего опираясь на полученные в ходе полевых измерений и экспертных соображений (в т.ч. предположения, что имеет место быть затопленный конус выноса наносов) были построены новые изолинии; для диапазона высот 315-355 м БС вместо изолинии с топографического плана были использованы изолинии, полученные по данным космической съёмки при разных уровнях водохранилища.

Определение содержания органического углерода (Сорг) в донных отложениях (ДО) производилось в РУДН на анализаторе VARIOTOCSELECT. Отбор проб грунта производился дночерпателем Экмана-Бэрджа.

Определение скорости седиментации производилось в центральной части водохранилища при помощи заякоренной седиментационной ловушки в период 09.10-10.12.2022. Определение содержания органического вещества в материале,

накопленном ловушкой, и в ДО производилось методом потерь при прокаливании.

Результаты исследования

По полученным данным ЦМР определен современный объем водохранилища – 1,96 км³. По проектным данным его полный объем в 1974 г. 2,78 км³. Т.е. заиление за 49 лет составило 0,82 км³. Содержание ОВ в ДО распределено по водоему однородно и составляет в среднем 6,7%, а скорость седиментации составила 1,4 г/м²сут.

Плотность верхнего слоя ДО (объемный вес натуральной влажности) по данным измерений составила порядка 1019 кг/м³. Очевидно, что толща наносов в чаше под давлением теряет влагу, поэтому в соответствие с литературными данными [1] удельный вес ила может иметь значение в среднем порядка 1620 (1250-1850) кг/м³. Тогда вес объема отложений составит от 1025 до 1517 млн т. При содержании Сорг в грунте около 0,7% (по данным пробоопределения) его запасы в толще оцениваются от 7,2 до 10,6 млн т., а скорость накопления 146-217 тыс. т Сорг в год.

Содержание ОВ в материале ловушки на Чиркейском водохранилище мало отличается от содержания ОВ в ДО (6-8%). Поэтому оценка запаса углерода в накопившемся слое осадка в нем за 1 год, распространяя данные ловушки на всю площадь при НПУ, составляет 1,53 тыс. т при содержании Сорг в материале седиментации, принятом равным в ДО 0,7%.

Данный пример показывает, что для водохранилища с быстрым темпом роста объема донных отложений за счет занесения наносами с водосбора при значительной мутности притоков вертикальная составляющая Сорг незначительна. Конечно же, единственную оценку скорости седиментации нельзя считать репрезентативной для всего года и всего водоема. Более точной следует принять оценочную величину аккумуляции Сорг по данным объема заиления – порядка 159-235 тыс. т Сорг в год. Далее была проведена попытка оценки заиления за счет притока наносов в водохранилище с рр. Аварское и Андийское Койсу, а также с учетом сокращения мутности в первый период после строительства Ирганайского водохранилища в 1998 г. Используются данные о стоке и мутности воды, опубликованные в [4] (для периода 1974-2023 гг.: створы Балаханский мост и Чиркота) и на сайте gmvo.skniivh.ru (для периода 1999-2022 гг.: створы нижний бьеф Ирганайской ГЭС и Чиркота). Данные о среднегодовом сбросе воды Ирганайской ГЭС получены по разности общего притока к водохранилищу (сайт ПАО РУСГИДРО) и стока в створе Чиркота. Среднегодовое значение мутности воды за первый период составило 2300 и 1600 г/м³ [4], а среднегодовой расход воды 69,6 и 95 м³/с на Андийском и Аварском Койсу соответственно. За второй период среднегодовое значение мутности воды составило 1422 и 804 г/м³ [АИС ГМВО и данные собственных наблюдений 2021-2023 гг.], а среднегодовой расход воды 76,4 и 85,9 м³/с соответственно. Согласно данным [2], соотношение

взвешенных и влекомых наносов составляет 10:5. Поэтому за первый и второй период в водохранилище поступило 354,3 и 150,8 млн т. По данным Б.И. Новикова [7] коэффициент наносодержания составляет 96,8%, по данным Д.М. Бруна [8] – 91,4%. Примем среднее наносодержание в 94%, тогда в водоеме оставалось 474,6 млн т наносов. В пересчете на объем (при средней плотности 1620 кг/м³) заиление составляет 0,29 км³. Т.е. около 0,5 км³ поступило в водоем за счет абразии берега. А всего аккумуляция Сорг в ДО (0,7%) составила 8700 тыс. т.

Выводы

Несмотря на регулирование притока воды с большей части водосбора Чиркейского водохранилища продолжается его активное заиление со средней скоростью около 2 м в год за весь период. Однако за последние 10 лет по данным измерений скорость заиления снизилась до 1 м/год. Это означает, что для уточнения морфометрических характеристик водохранилища необходимо производить периодические промерные работы. Более 60% накопленных отложений обусловлено абразией берегов. При стабилизации береговой линии продолжение заиления обусловлено притоком мутных вод Андийского Койсу, а среднегодовое поступление наносов (взвешенных и влекомых) в современный период оценивается в 6300 тыс. т в год.

Работа выполнена в рамках темы АААА-А16-116032810054-3 «Гидрологический режим водных объектов суши в условиях изменения климата и антропогенного воздействия».

Библиографический список

1. *Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П.* Донные отложения волжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 157 с.
2. *Габриэлян Г.К.* Интенсивность денудации на Кавказе. Геоморфология, 1971. №1. С. 22-27.
3. *Водоохранилища мира.* М.: Наука, 1979. 288 с.
4. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 9. Закавказье и Дагестан.* Л.: Гидрометеиздат, 1969. 579 с.
5. *Технический паспорт Чиркейского водохранилища.* М., 1978. С. 2-105.
6. *Халилов Ш.Б.* Водоохранилища Азербайджана и их экологические проблемы. Баку, 2003. 310 с.
7. *Эдельштейн К.К.* Гидрология материков. М., ГЕОС, 2005. 304 с.
8. *Brune G.M.* Trap efficiency of reservoirs // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 1953. <https://doi.org/10.1029/TR034i003p00407>.

И.Л. Григорьева, Н.Ю. Панкова, Л.И. Хрусталева,
irina_grigorieva@list.ru

Институт водных проблем РАН, Ивановская НИС, г. Конаково, Россия

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Проанализировано содержание ряда микроэлементов в воде Ивановского водохранилища в различные сезоны 2023 г. Проведено сравнение полученных концентраций с ПДК для рыбохозяйственных водоемов, с фоновыми концентрациями для региона верхней Волги и с концентрациями, характерными для природных вод. Отмечена межсезонная изменчивость концентраций определяемых ингредиентов. Зафиксировано значительное увеличение концентраций в придонных горизонтах в период открытой воды за счет, очевидно, поступления из донных отложений при дефиците кислорода у дна.

Ключевые слова: Ивановское водохранилище, железо общее, марганец, медь, цинк, свинец, никель, кадмий.

I. Grigoryeva, N. Pankova, L. Khrustaleva, irina_grigorieva@list.ru
Water Problems Institute of RAS, Ivankovo Research Station, Konakovo, Russia

CONTENT OF MICROELEMENTS IN THE WATER OF IVANKOVO RESERVOIR

The content of a number of trace elements in the water of the Ivankovo reservoir in various seasons of 2023 has been analyzed. The obtained concentrations were compared with the MPC for fishery reservoirs, with background concentrations for the Upper Volga region and with concentrations characteristic of natural waters. The inter-seasonal variability of the concentrations of the determined ingredients was noted. A significant increase in concentrations in the bottom horizons during the open water period was recorded due, obviously, to the intake from bottom sediments with a shortage of oxygen at the bottom.

Keywords: Ivankovo reservoir, common iron, manganese, copper, zinc, lead, nickel, cadmium.

Введение

При исследовании химического состава природных вод кроме макрокомпонентного состава изучается также и содержание микроэлементов, поскольку повышенные концентрации последних могут оказывать негативное, а порой токсическое действие на гидробионтов, и ухудшать качественные характеристики воды. К токсическим элементам относятся свинец и ртуть. Железо, медь, цинк и молибден участвуют в биологических процессах и в определенных количествах являются необходимыми для функционирования гидробионтов. Исследование микрокомпонентного состава воды особенно важно для водоемов питьевого назначения, к которым относится Ивановское водохранилище.

Авторы [5] исследовали содержание микроэлементов в воде Иваньковского водохранилища в 1977 г. Диапазоны изменения концентраций железа общего во входном створе составили 145-480 мкг/дм³, а в замыкающем створе у плотины Иваньковской ГЭС (г. Дубна) – 220-275 мкг/дм³. Концентрации марганца колебались в интервале 25-120 во входном и 45-81 мкг/дм³ в замыкающем створах. Концентрации меди варьировали в интервале 4,3-10,5 мг/дм³ во входном и 7-8 мкг/дм³ в замыкающем створе, а цинка соответственно: 17,5-76,7 и 19,5-46,5 мкг/дм³.

Наши исследования в 2015–2016 гг. показали, что в замыкающем створе Иваньковского водохранилища концентрации железа общего изменялись в диапазоне 50-260 мг/дм³, марганца – 1-31, меди 3-26, цинка 12-117, а свинца 4-21 мкг/дм³ [2; 3].

В качестве регионального геохимического фона для водных объектов в районе озера Селигер авторы [7] рекомендуют для марганца концентрации 6-24 мкг/дм³, для меди – 3-9 мкг/дм³, свинца – 3-5 мкг/дм³, никеля – 5-38 мкг/дм³ и кадмия – не более 0,09 мкг/дм³.

Материалы и методы исследования

Содержание микроэлементов в воде Иваньковского водохранилища в настоящее время оценивалось авторами по результатам собственных исследований, проведенных в 2023 г. в различные сезоны. Отбор проб воды на химический анализ проводился из поверхностного и придонного горизонтов на русле в постоянных створах наблюдений, представленных в [1]. Химический анализ проб воды проводился в аккредитованной химической лаборатории Иваньковской НИС – филиал ФГБУН ИВП РАН. Микроэлементный состав (медь, цинк, свинец, никель, кадмий) определялся на атомно-абсорбционном спектрометре AA-6800F фирмы Shimadzu. Железо общее и марганец определялись фотометрическим методом по аттестованным методикам.

Результаты химического анализа отобранных проб воды представлены в таблицах 1-3.

Анализ результатов

Первый отбор проб воды на содержание микроэлементов в 2023 г. был произведен в марте, в конце сработки уровня воды и перед началом заполнения водохранилища. На водохранилище сохранялся ледовый покров, у дна наблюдался дефицит кислорода, особенно значительный в Шошинском плесе. Распределение величин концентраций микроэлементов в марте можно представить рядом: Fe>Mn>Zn>Cu>Pb>Ni>Cd.

Максимальная концентрация железа общего была зафиксирована в придонном горизонте устья Шошинского плеса (табл. 1).

**Концентрации микроэлементов в воде Иваньковского водохранилища
13-14 марта 2023 г., поверхность/дно**

Ингредиент, мкг/дм ³	Створ наблюдений				ПДК _{рх} , мкг/дм ³ , по [6]	Концентрации в природных водах (мкг/дм ³), по [4]
	Городня	Шошинский плес (устье)	Конаково	Дубна		
Железо общее (Fe)	350/390	430/1350	490/380	440/270	100	10–90
Марганец (Mn)	75/80	118/383	146/134	145/134	10	1–160
Медь (Cu)	12/11	13/40	15/22	17/25	1	2–30
Цинк (Zn)	13/8	20/66	28/32	22/25	10	3–120
Свинец (Pb)	5/6	6/15	6/7	5/8	6	0.1–1
Никель (Ni)	7/6	5/8	5/11	0.3/3.7	10	0.8–10
Кадмий (Cd)	1/1	0.4/0.9	0.4/0.1	0.3/0.5	5	меньше 1

Наименьшая концентрация в придонном горизонте отмечалась в замыкающем створе (Дубна). Все зафиксированные концентрации превышали величину ПДК_{рх} и концентрации, наблюдающиеся в незагрязненных природных водах.

Концентрация марганца в поверхностном горизонте увеличивалась от входного (Городня) к замыкающему створу (Дубна). Максимальная концентрация, как и для железа общего, наблюдалась в придонном горизонте устья Шошинского плеса. Она превышала, как ПДК_{рх}, так и максимальное значение, характерное для незагрязненных природных вод (табл. 1). Все остальные зафиксированные концентрации также превышали ПДК_{рх}.

Максимальные концентрации меди, цинка и свинца также зафиксированы в придонном горизонте устья Шошинского плеса. Все концентрации этих ингредиентов превышали ПДК_{рх}. Наблюдаемые концентрации свинца свидетельствуют о том, что водохранилище является загрязненным водным объектом. Концентрации никеля, в основном, не превышали ПДК_{рх}, а концентрации кадмия соответствовали значениям, характерным для незагрязненных водоемов, и были значительно ниже ПДК_{рх}.

В мае наблюдалось уменьшение концентраций железа общего, марганца и меди и увеличение концентраций цинка, свинца и кадмия в воде водохранилища (табл. 2).

В придонном горизонте на всех створах концентрации железа общего, марганца и меди были выше, чем в поверхностном горизонте. Распределение величин концентраций микроэлементов в поверхностном горизонте в мае в створах Городня и центре Шошинского плеса можно представить рядом: Fe>Zn>Pb>Ni>Mn>Cu>Cd, а в створах Конаково и Дубна: Fe>Zn>Mn>Cu>Pb>Ni>Cd.

Таблица 2

**Концентрации микроэлементов в воде Иваньковского водохранилища
15-16 мая 2023 г., поверхность/дно**

Ингредиент, мкг/дм ³	Створ наблюдений				ПДК _{рх} , мкг/дм ³	Концентрации в природных водах, (мкг/дм ³) по [4]
	Городня	Шошинский плес (центр)	Конаково	Дубна		
Железо общее (Fe)	170/230	80/220	170/230	160/270	100	10–90
Марганец (Mn)	10/32	16/157	7/84	19/135	10	1–160
Медь (Cu)	12/13	4/1	8/11	5/18	1	2–30
Цинк (Zn)	47/35	17/10	24/44	18/44	10	3–120
Свинец (Pb)	20/12	18/10	3/9	8/13	6	0.1–1
Никель (Ni)	20/14	11/16	4/12	7/8	10	0.8–10
Кадмий (Cd)	3/2	3/2	2/2	1/0.6	5	меньше 1

В начале августа в поверхностном горизонте отмечены концентрации железа общего и марганца более низкие, чем в марте и мае. Наблюдалось увеличение концентраций в придонном горизонте как по сравнению с поверхностным горизонтом, так и от входного створа к замыкающему (табл. 3). Практически во всех точках наблюдений отмечались концентрации железа общего, марганца, меди, цинка и свинца, превышающие ПДК_{рх}. Концентрации никеля и кадмия были ниже ПДК_{рх}. Наблюдались концентрации железа общего, свинца и никеля, превышающие максимальные концентрации, характерные для незагрязненных природных вод.

Таблица 3

**Концентрации микроэлементов в воде Иваньковского водохранилища
3-4 августа 2023 г., поверхность/дно**

Ингредиент, мкг/дм ³	Створ наблюдений				ПДК _{рх} , мкг/дм ³	Концентрации в природных водах, (мкг/дм ³), по [4]
	Городня	Шошинский плес (центр)	Конаково	Дубна		
Железо общее (Fe)	30/30	50/140	30/160	40/180	100	10–90
Марганец (Mn)	12/20	25/93	3/146	6/273	10	1–160
Медь (Cu)	5/12	7/8	10/6	22/12	1	2–30
Цинк (Zn)	5/10	9/15	6/12	34/12	10	3–120
Свинец (Pb)	9/8	6/11	11/16	9/7	6	0.1–1
Никель (Ni)	5/3	3/4	0.3/8	8/10	10	0.8–10
Кадмий (Cd)	0.5/0.3	0.4/0.7	0.4/0.6	0.2/0.8	5	меньше 1

Выводы

В воде Иваньковского водохранилища из микроэлементов наибольшие концентрации характерны для железа общего и марганца, а наименьшие – для кадмия. Наблюдалась внутригодовая изменчивость всех определенных ингредиентов, обусловленная различной ролью поверхностного и подземного притока в водохранилище в различные сезоны. Отмечены концентрации железа общего,

марганца, цинка, свинца и меди, превышающие как ПДК для рыбохозяйственных водоемов, так и концентрации, характерные для незагрязненных природных вод.

Наблюдались концентрации марганца, меди и свинца, превышающие значения, рекомендуемые авторами [7] в качестве регионального геохимического фона для водных объектов в районе оз. Селигер. Во все сроки наблюдений концентрации железа общего и марганца в придонных горизонтах значительно превышали концентрации в поверхностном слое, очевидно, за счет поступления из донных отложений при дефиците кислорода у дна. По сравнению с 1977 г. в воде водохранилища увеличилось концентрации железа общего и меди.

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

Библиографический список

1. Гречушникова М.Г., Григорьева И.Л., Ломова Д.В., Кременецкая Е.Р., Комиссаров А.Б., Федорова Л.П., Ломов В.А., Чекмарева Е.А., Панкова Н.Ю., Терский П.Н. Результаты исследования внутриводоемных процессов Иваньковского водохранилища в различные годы и сезоны // Сб. докл. международной конф. памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова «Пятые Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен». Санкт-Петербург, 2023. Издательство: ООО «Издательство ВВМ». 2023. С. 148-153.

2. Григорьева И.Л., Хрусталева Л.И. Содержание тяжелых металлов в воде Иваньковского водохранилища //Тез. докл. X Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика-2016». Углич: Филигрань. 2016. С. 41.

3. Григорьева И.Л., Хрусталева Л.И. Содержание микроэлементов в воде водохранилищ Верхней Волги // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: сб. мат. VI Всероссийской конференции по водной экотоксикологии. Ярославль: Филигрань. 2017. С. 25-27.

4. Зенин А.А., Белоусов Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат. 1977. 239 с.

5. Кадукин А.И., Красинцева В.В., Романова Г.И., Тарасенко Л.В., Турунина Н.В. Баланс органического вещества, биогенных элементов и микроэлементов в Иваньковском водохранилище // Водные ресурсы. 1980. №4. С. 120-131.

6. Нормативы качества водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения // Приложение к приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. №552. 151с.

7. Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М. Характеристика потоков веществ в системе озеро Селигер – река Селижаровка // Туризм, экология и устойчивое развитие: мат. международной научно-практ. конф. Тверь: Тверской государственный университет. 2003. 426-432.

Ю.С. Даценко, yuri0548@mail.ru

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДОРОДНОСТЬ ЦВЕТЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА ДИАТОМОВЫМИ ВОДОРΟΣЛЯМИ

Пространственное распределение диатомовых водорослей в типичном долинном Можайском водохранилище рассматривается по результатам модельного расчета биомасс фитопланктона с использованием имитационной гидроэкологической модели. Обобщением 30-летнего ряда рассчитанных биомасс водорослей анализируются даты начала, окончания цветения и продолжительность цветения в различных участках водохранилища – верхнем, центральном и приплотинном. Продольно-вертикальная неоднородность развития диатомовых водорослей в водохранилище в мае иллюстрируется распределением биомасс водорослей в различные стадии цветения.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, водохранилище, гидроэкологическое моделирование, цветение водохранилища.

Yu. Datsenko, yuri0548@mail.ru

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

SPATIAL HETEROGENEITY OF RESERVOIR BLOOMS BY DIATOMS

The spatial distribution of diatoms in a typical Mozhaik valley reservoir is considered based on the results of a model calculation of phytoplankton biomass using a simulated hydroecological model. By generalizing a 30-year series of calculated algae biomass, the dates of the beginning, end of flowering and duration of flowering in various sections of the reservoir – upper, central and near-dam are analyzed. The longitudinal-vertical heterogeneity of the development of diatoms in the reservoir in May is illustrated by the distribution of biomass in different stages of flowering.

Keywords: diatoms, reservoir, hydroecological modeling, reservoir blooming.

Введение

Изучение процессов развития фитопланктона внутренних водоемов находится в центре большинства комплексных лимнологических исследований внутренних водоемов, т.к. фитопланктон относится к тем биотическим компонентам экосистемы водоема, которые определяют общую энергетическую основу круговорота вещества и энергии, оказывая огромное влияние на качество воды и интенсивность трофических взаимодействий компонентов экосистемы. Особенно актуальна задача диагностической оценки условий развития цветения для водохранилищ, относящихся к типу эвтрофных водоемов. Колебания первичной продуктивности и особенности формирования качества воды в таких водохранилищах характеризуются исключительно большой нестационарностью, связанной с колебаниями гидрологического режима притока воды и внешнего воздействия в

виде непредсказуемо меняющихся синоптических условий. Асимметричность ложа долинных водохранилищ и сложность гидрологической структуры водных масс обуславливает пространственную неоднородность развития цветения и распределения биомассы фитопланктона. Возникающая пятнистость очагов развития фитопланктона связана с разнообразием пространственного распределения главных факторов продуктивности – температуры воды, освещенности и биогенного питания. Особенно велика изменчивость этих характеристик в период наполнения водохранилища водами половодья. В этот период в водохранилище активно развиваются группа холоднолюбивых диатомовых водорослей, доминирующих в составе фитопланктона и достигающих максимума продуктивности и биомассы. Неоднородность развития диатомовых водорослей в этот период очень сложно проследить натурными наблюдениями, требующими отбора проб воды по детальной сети станций. В качестве альтернативы в этом случае можно использовать расчеты биомассы фитопланктона по математической гидроэкологической модели. В модели сложные структурные взаимосвязи в экосистеме воспроизводятся с учетом пространственно-временной изменчивости ее компонентов в зависимости от комплекса внешних воздействий. Подобные модели относятся к классу имитационных, и разрабатываются на основе законов сохранения и превращения веществ, включают наиболее существенные характеристики окружающей водоем среды.

Цель настоящей работы – по данным результатов модельных экспериментов установить закономерности распределения диатомовых водорослей в Можайском водохранилище – типичном долинном водохранилище, осуществляющем многолетнее регулирование стока. Для таких водохранилищ характерны большие диапазоны колебания уровня, зависящие от речного притока. Обычно максимум биомасс диатомовых водорослей достигается в середине мая, на спаде половодья, поэтому наибольший интерес привлекают особенности пространственного распределения фитопланктона в водохранилище. Сложная гидрологическая структура водохранилища на момент начала вегетационного периода в первую очередь проявляется в характере развития и распределения диатомовых водорослей – первой из доминирующих в водохранилище групп фитопланктона.

Материалы и методы исследования

Математические модели экологических процессов в водоемах всегда содержат как минимум два относительно самостоятельных блока: гидрологический, определяющий перенос и перемешивание пассивных субстанций в водоеме, и экологический, описывающий кинетику внутриводоемной трансформации неконсервативных переменных состояния экосистемы. Эти блоки успешно сбалансированы в балансовой боксовой гидроэкологической модели водохранилищ (ГЭМВ) [1]. Эта модель учитывают специфику водохранилищ при моделировании многометровых колебаний уровня и переноса воды и веществ в разных слоях водной толщи с учетом поверхностных и донных водосборов и, кроме

того, позволяет рассчитывать внутренний водообмен морфологически сложных водохранилищ.

Экологический блок модели, в котором рассчитывается биомасса фитопланктона, неоднократно успешно верифицировался по данным натурных наблюдений на Можайском и Рыбинском водохранилищах [2; 3]. Величины биомасс диатомовых водорослей в Можайском водохранилище рассчитывалась с суточных шагом в продольно-вертикальной плоскости с шагом по глубине 1м. Надежное информационное обеспечение входными данными модели для Можайского водохранилища позволили провести расчеты для последних 30 лет эксплуатации водохранилища. Обобщением результатов расчета получены осредненные многолетние характеристики развития цветения диатомовых водорослей и на примерах распределения биомассы фитопланктона позволили проанализировать пространственно-временные закономерности формирования полей биомассы диатомовых водорослей в водохранилище.

Анализ результатов

Временной ход изменения биомассы анализировался по трем участкам водохранилища – верхнем, центральном и приплотинном. Эти морфоучастки отличаются друг от друга в соответствие с асимметрией ложа, прежде всего глубиной, и, как следствие, условиями динамического перемешивания вод при различных метеорологических условиях и формирования полей биогенных веществ, а также интенсивностью внутренней биогенной нагрузки.

На первом этапе анализировалась продолжительность цветения диатомовых водорослей, при этом цветением считался период, когда биомасса водорослей превышала 1 мг/л. Развитие диатомовых водорослей, в водохранилище начинается обычно в середине апреля и заканчивается в июне [4]. Осеннее цветение в Можайском водохранилище практически не наблюдается. Продолжительность и границы периода цветения характеризуется небольшими отклонениями в разные годы. Как правило, период максимальной биомассы диатомей отмечается в середине мая, поэтому данный промежуток времени наиболее интересен для анализов модельных расчетов и выявления влияний гидрологических условий на ход развития диатомовых водорослей. Осредненные даты характеристик весеннего цветения водохранилища за рассматриваемый 30-летний период и значения биомасс водорослей на пике цветения представлены в таблице.

Осредненные даты начала и окончания цветения Можайского водохранилища диатомовыми водорослями

<i>Участок водохранилища</i>	<i>Дата начала цветения</i>	<i>Дата окончания цветения</i>	<i>Дата наступления максимальной биомассы</i>	<i>Максимальная биомасса за период цветения, мг/л</i>
Верхний	26.04	9.06	4.05	9.2
Центральный	29.04	12.06	11.05	11.2
Приплотинный	3.05	12.06	15.05	12.7

Наиболее бурное развитие диатомовых водорослей наблюдается в первой половине мая, а завершается цветение примерно в середине июня. В большинстве случаев максимальная биомасса достигается в приплотинном отсеке, где максимальное значение отмечено в 2005 г. – 12,7 мг/л, а наименьшее – в 1992 г. также в приплотинном отсеке – 2,70 мг/л.

Развитие биомассы диатомовых водорослей начинается с верхних участков водохранилища и постепенно продвигается к его приплотинному участку и при примерно одинаковой продолжительности цветения даты его наступления и окончания в разных участках водохранилища смещены.

Средние значения биомассы диатомовых водорослей по трем рассматриваемым отсекам свидетельствуют о более высокой продуктивности верхних участков водохранилища. Они колеблются от 1,60 мг/л в приплотинном отсеке до 1,81 в центральном и 2,43 мг/л, в верхнем отсеках. Большое значение коэффициента глубоководности при низкой проточности обусловили ослабление гидродинамической активности центрального и приплотинного районов. С этим связана стратификация водной толщи по всем параметрам состава воды, значительно большая толщина трофолитического слоя по сравнению с трофогенным. Слабая интенсивность перемешивания воды не даёт возможности обогащения поверхностных слоёв из придонных горизонтов Можайского водохранилища. Более высокая биологическая продуктивность верхних участков водохранилища связана еще и с тем, что в эти районы все время поступают питательные биогенные вещества с речными водами. Кроме того, верховья мелководны, они характеризуются хорошей прогреваемостью и перемешиванием вод.



Распределение биомасс (мг/л) диатомовых водорослей в Можайском водохранилище 10.05 (а) и 20.05 (б) 2005 г.

В период максимальных биомасс в верхних отсеках клетки водорослей распределены по всей водной толщине на значительную глубину (рис.).

Этот рисунок иллюстрирует последовательное развитие цветения в водохранилище. В средней и нижней части Можайского водохранилища процесс цветения заметен обычно только до глубины примерно 7 м. В верхней части водохранилища фитопланктон распределяется по всей глубине иногда и максимум биомассы наблюдается не на поверхности. Однако, в некоторые годы в период

вегетационного сезона водоросли развиваются во всей водной толще и в средней части водохранилища, что может быть объяснено динамическими причинами – клетки водорослей переносятся в более глубокие слои конвективными и плотностными течениями.

Выводы

В водохранилищах долинного типа умеренного пояса весеннее развитие диатомовых водорослей характеризуется значительной пространственной неоднородностью, обусловленной морфометрическими особенностями асимметричного ложа водохранилища. Развитие цветения начинается с верхних участков водохранилища и постепенно распространяется до приплотинных районов. Верхние участки водохранилища характеризуются более высокой первичной продукцией, связанной с благоприятными условиями прогрета и перемешивания водной толщи, а также с интенсивным поступлением биогенных веществ с речными водами.

Библиографический список

1. *Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья*. М.: Перо, 2015. 284 с.
2. *Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.* Моделирование развития фитопланктона в Можайском водохранилище // Вестник МГУ, сер. География. 2010. №6. С. 41-47.
3. *Даценко Ю.С., Ерина О.Н., Пуклаков В.В.* Моделирование развития фитопланктона в Рыбинском водохранилище // Водное хозяйство России. 2015. № 1. С. 32-40.
4. *Эдельштейн К.К., Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.* Цветение водохранилища многолетнего регулирования стока // Водные ресурсы. 2021. Т.48. № 2. С. 164-172.

В.В. Законнов, А.В. Законнова, zak@ibiw.ru
*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
пос. Борок, Ярославской обл., Россия*

ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ

Водохранилища занимают особое место среди водных объектов. Их специфика заключается в том, что они являются искусственными водоемами, режим работы которых регулируется и контролируется человеком. Помимо процесса осадконакопления в водохранилищах происходят и другие процессы в прибрежных, литоральных и профундальных зонах, приводящие к изменению ландшафтов, почво-грунтового комплекса, проектных гидроморфометрических характеристик и социально-экономических преобразований в обществе.

Ключевые слова: подпор грунтовых вод, режим уровня, экзогенные и эндогенные процессы, осадконакопление, новообразования, водохранилища.

V. Zakonnov, A. Zakonnova, zak@ibiw.ru
Papanin Institute for Biology of Inland Waters of RASciences, Borok, Russia

CHANGES IN THE NATURAL ENVIRONMENT UNDER THE EFFECT OF RESERVOIRS

Reservoirs have a special place among water bodies. Their specificity consists in the fact that they are artificial water bodies, the operation mode of which is regulated and controlled by humans. In addition to the process of sedimentation in reservoirs, other processes occur in coastal, littoral and profundal zones, leading to changes in landscapes, soil complex, project hydromorphometric characteristics and socio-economic transformations in the society.

Keywords: groundwater afflux, level regime, exogenous and endogenous processes, sedimentation, new formations, reservoirs.

Введение

Вопросы воздействия водохранилищ на природную среду и общество впервые нашли отражение в монографии под редакцией Г.В. Воропаева и А.Б. Авакяна с группой гидрологов национальных комитетов по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» [2]. Подобные задачи были поставлены и в значительной степени решены И.А. Печеркиным в книге «Геодинамика побережий Камских водохранилищ» под редакцией Ю.М. Матарзина [6]. Идейное направление этих исследований было продолжено Н.Н. Назаровым [4]. Изменениями геологической среды интересовались не только на равнинных водохранилищах, но и на горных и предгорных ангаро-енисейского каскада [5].

Цель работы – систематизировать в краткой форме основные постулаты изменения пространственных систем под воздействием водохранилищ с учетом процессов осадкообразования.

Материал и методика

За основу взяты результаты мониторинга донных отложений водохранилищ Волги за период с 1937 по 2020 гг. опубликованные в журнале «Водное хозяйство России» с № 3 2015 по № 6 2021 г.

Основные результаты

Строительство плотин на крупных реках в первой половине XX в. шло опережающими темпами по сравнению с изучением самих водохранилищ, особенно связанных с их влиянием на природную среду и общество. В 80-х гг. уже наблюдается паритет, благодаря созданию Института биологии водохранилищ АН СССР (1952 г.), преобразованного впоследствии в Институт биологии внутренних вод. Начались интенсивные исследования зарегулированных рек: Волги, Дона, Камы, Днепра, Влтавы и др. Большую роль в этом сыграла «Секция водохранилищ» при ГКНТ СССР под руководством А.Б. Авакяна, Н.В. Буторина, А.С. Литвинова, с активным участием Ю.М. Матарзина, В.М. Широкова, С.М. Успенского и др.

Главное отличие естественных водоемов от водохранилищ – это резкое нарушение сложившегося равновесия в природе, которое коренным образом раскрывает сущность данной проблемы. По мнению И.А. Печеркина – водохранилища создают характерные только для них формы разрушения существующего рельефа и приводят к формированию рельефа, более приспособленного к сложившейся геодинамической обстановке [6]. Это относится не только к проблеме побережий, социально-экономическим последствиям для населения и изменению климата, но и к внутриводоемным процессам на границе вода-дно, где формируются «вторичные» донные наносы.

Донные осадки – это минерально-органические природные образования, являющиеся средой обитания и пищевым объектом многочисленных гидробионтов, отражающие в своей гетеродисперсности и хемогенном составе все разнообразие внутриводоемных, бассейновых и планетарных гидрофизических и биогеохимических процессов, влияющих на функционирование пресноводных экосистем через взаимодействие между водой, седиментами и биотой.

В аквальных условиях формируется разнообразный грунтовый комплекс, отличающийся особенностями гидродинамического воздействия на дно, морфометрией и свойствами кластического материала, поступающего из ближайших и трансграничных источников. Переменный подпор и подъем уровня грунтовых вод создают условия для образования гидроморфных – заболачивающихся, болотно-луговых и трансформированных почв и аккумулятивно-биогенных берегов.

Экзогенные и эндогенные процессы взаимосвязаны. Их взаимодействие обусловлено стремлением обеспечить относительное равновесие в природной среде. В первую очередь это отразилось на проектных гидроморфометрических показателях (табл. 1).

Таблица 1

Основные проектные гидроморфометрические характеристики водохранилищ Волги и их трансформация

<i>Водохранилище</i>	<i>Год заполнения</i>	<i>Площадь, км²</i>	<i>Объем, км³</i>	<i>Период эксплуатации, лет</i>	<i>Площадь, км²</i>	<i>Объем, км³</i>
Иваньковское	1937	327	1.12	85	287	1.10
Угличское	1940	249	1.24	82	226	1.22 [3]
Рыбинское	1941	4550	25.42	81	4480	25.00
Горьковское	1955	1591	8.70	67	1509	8.59 [3]
Чебоксарское*	1981*	2270	13.85	41*	1200	5.20
Куйбышевское**	1955	6450	58.00	61	5885	56.40
Саратовское	1967	1950	13.40	50	1833	11.97
Волгоградское	1958	3126	31.40	64	3248	28.08 [3]

Примечание: Чебоксарское* – уровень 68 м БС, уровень 63.5 м БС, Куйбышевское** – до и после создания Нижнекамской (1978 г.) и Нижнечебоксарской (1981 г.) ГЭС.

По классификации, режиму эксплуатации и водообмену водохранилища не одинаковы. Смена аэральных условий на аквальные привели к активному разрушению берегов, изменению рельефа и структуры дна, и ландшафтных преобразований на суше. Для установления динамического равновесия и стабилизации потребовалось время, что отражено в табл. 2.

Таблица 2

Динамика седиментационных характеристик и прогноз к 100-летию водохранилищ

<i>Водохранилище</i>	<i>Интенсивность осадконакопления, год⁻¹</i>			<i>Прогноз к 100-летию водохранилищ</i>	
	<i>A_{мм}</i>	<i>B_{мм}</i>	<i>S_{млн.м³}</i>	<i>C_{мм год⁻¹}</i>	<i>V, %</i>
Иваньковское	3.0	1.9	0.5	1.6	2.3
Угличское	3.8	2.1	0.4	1.8	1.6
Рыбинское	9.2	2.7	10.3	2.0	2.1
Горьковское	9.6	2.3	3.5	2.2	2.0
Чебоксарское	3.0	1.8	1.8	3.0	1.8
Куйбышевское	8.0	4.4	223.0	3.8	9.6
Саратовское	5.0	3.8	52.0	2.8	9.7
Волгоградское	10.0	4.9	141.4	4.0	11.3
<i>R²</i>	0.18	0.68	0.43	0.81	0.73

Примечание. $A_{мм}$ – среднегодовое осадконакопление песчаных и глинистых отложений на площадь их распространения по результатам первой грунтовой съемки. $B_{мм}$, $S_{млн. м^3}$ – последней. $C_{мм год^{-1}}$ – занесение, на площадь водохранилища при НПУ, $V, \%$ – потеря объемов воды.

Коэффициенты детерминации демонстрируют не только хаос в водохранилищах ($R^2=0.18$), вызванный «лавиной» седиментацией осадкообразующего материала, но и постепенное приспособление ($R^2=0.43-0.81$) нижнего яруса экосистем к новым условиям и географической зональности осадконакопления в каскаде.

Потеря объемов воды и накопление донных отложений примерно одинаковое, что доказано независимыми исследованиями на Угличском, Горьковском и Волгоградском водохранилищах [3].

Таблица 3

Осредненный (ориентировочный) баланс взвешенных наносов водохранилищ Волжского каскада за период 1937–2020 гг., %

<i>Основные составляющие</i>	<i>Приход</i>	<i>Основные составляющие</i>	<i>Расход</i>
Абразия	71 (50–86)	Осадконакопление	78 (52–96)
Сток речных наносов	26 (10–46)	Сток наносов через гидроузел	22 (4–48)
Продукция гидробийонтов	3 (1–6)		
Всего	100	Всего	100

Все статьи седиментационного баланса водохранилищ (табл. 3) недостаточно точны, поэтому разброс от средних значений довольно значительный, что указывает на их индивидуальные особенности. Оценка точности расчета статей показывает, что имеющиеся невязки (от 6 до 25%) не превосходят возможные ошибки. Это обстоятельство, а также «замкнутость» составленных балансов позволяют считать, что они достаточно верно отражают ход абиотических и биотических процессов в рассматриваемых водоемах.

Кроме основных источников осадкообразующего материала имеется ряд специфических: размыв подводных банок и островов, торфяных и макрофитных сплавин (эрозия); создание (намыв) вдольбереговых валов, кос, пересыпей; формирование рельефа дна (нивелировка), дельт малых и средних рек, впадающих в водохранилища, аккумулятивно-биогенных берегов (заболачивание); карст на дне (растворение) и вынос тонкодисперсных частиц (суффозия) из русловых ложбин; оползни на крутых склонах затопленных крупных рек; добыча песчано-гравийных смесей (зимовальные ямы); спрямление судовых ходов (каналы); эоловые взвеси и аэрозоли; (трансграничный и региональный перенос); вещественный состав промышленных и сельскохозяйственных стоков (ПХБ, СОЗ и др.) – качество водных ресурсов. Все выше перечисленные источники в седиментационном балансе не учитывались вследствие их малой доли. Роль продуцентов – бактерий, зоопланктона, бентоса, рыб и др., кроме фитопланктона и макрофитов (от 1 до 6 %) еще недостаточно оценена. Сток речных наносов и сброс через гидроузлы определялся по материалам Гидрометеослужбы и экспедиционных исследований с 2012 по 2022 г.

Все это в совокупности аккумулируется на дне, формируя состав и свойства донных отложений, а главное участвует в процессах внутриаэрированной

толщи в виде суммарного геохимического эффекта в сочетании с продукционной жизнедеятельностью организмов. По В.И.Вернадскому – изучение физико-химических условий в пространственных системах (как на суше, так и в воде) с участием геохимического – биотического фактора (живого вещества) начинает приобретать особое значение [1]. Это направление должно стать ведущим в системе исследований: атмосфера-гидросфера-литосфера-биосфера.

Заключение

На основании выполненного анализа сформулированы основные задачи и направления исследований:

– перевод ориентировочных гидроморфометрических показателей и количественных характеристик источников осадкообразующего материала в цифровой масштаб процессов, происходящих в природной среде в зонах влияния водохранилищ;

– поддержание стабильных уровней в навигационный период, соответствующих нормальному функционированию водохранилищ комплексного назначения;

– осуществление контроля за процессами седиментации тонкодисперсных (илистых) отложений и их хемотропным составом, как основных продуктивных объектов для гидробионтов;

– проблемы водохранилищ и их водосборов – решать через развитие современных технологий по реконструкции и восстановлению пресноводных экосистем;

– совершенствовать систему мониторинга, контроля качества воды и прогнозирования в условиях стабилизации гидродинамических процессов и активизации экстремальных природно-антропогенных катаклизмов и техногенных вызовов.

Работа выполнена в рамках тем госзадания № 121051100099-5 и № 121051100104-6.

Библиографический список

1. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1987. 340 с.

2. *Водохранилища и их воздействие на окружающую среду.* М.: Наука, 1986. 368 с.

3. *Землянов И.В., Шкунова С.Ю., Горелиц О.В., Павловский А.С.* Использование цифровой модели рельефа для уточнения современных морфометрических характеристик водохранилищ // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов:* тр. межд. науч.-практ. конф. Пермь, 2011. С.189–193.

4. *Назаров Н.Н.* Геодинамика побережий водохранилищ Пермского края. Пермь: Изд-во ЗАО «Полиграф-комплект», 2008. 152 с.

5. *Овчинников Г.И., Павлов С.Х., Тржцинский Ю.Б.* // *Изменение геологической сферы в зонах влияния ангаро-енисейских водохранилищ.* Новосибирск: Наука. Сиб. изд. Фирма РАН, 1999. 254 с.

6. *Печеркин И.А.* Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1969. Часть II. 308 с.

С.Г. Захаров, s_zakcharov5@mail.ru
*Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический
университет, г. Челябинск, Россия*

РЕКРЕАЦИОННОЕ ОСВОЕНИЕ ОЗЕР ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассматриваются особенности озер Челябинской области, активно использующихся в целях рекреации (летний пляжно-купальный отдых и водные виды рекреации и спорта). Выделены первоочередные задачи по рациональному рекреационному природопользованию на озерах. Разработана региональная классификация рекреационных озер по особенностям рекреационного освоения. Один из наиболее тяжелых видов воздействия на рекреационные озера – падение уровня озер и сброс сточных вод (как от учреждений рекреации, так и от промышленных предприятий). Негативное воздействие на качество воды оказывают также локальные сбросы ливневой канализации, местный загрязненный сток от баз отдыха, залповые аварийные поступления сточных вод. Управление рекреационными ресурсами озер должно учитывать уже накопленный экологический ущерб.

Ключевые слова: рекреационные ресурсы озер, озера Челябинской области.

S. Zakharov, s_zakcharov5@mail.ru
South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia

RECREATIONAL DEVELOPMENT OF LAKES IN THE CHELYABINSK REGION

The article discusses the features of lakes in the Chelyabinsk region that are actively used in recreation (summer beach and bathing recreation and water recreation and sports). The priority tasks for rational recreational environmental management on lakes are identified. A regional classification of recreational lakes has been developed according to the characteristics of recreational development. One of the most severe impacts on recreational lakes is a drop in lake levels and the discharge of wastewater (both from recreational institutions and from industrial enterprises). Local storm sewer discharges, local polluted runoff from recreation centers, and emergency discharges of wastewater also have a negative impact on water quality. Management of lake recreational resources must take into account the already accumulated environmental damage.

Key words: recreational resources of lakes, lakes of the Chelyabinsk region.

Введение

Челябинская область – озерный край (средняя озерность территории 2,4%), имеющий ряд особенностей. Прежде всего, здесь нет ни одного крупного водоема (только Аргазинское водохранилище едва превышает площадь 100 км²; из озер же самое крупное озеро – Увильды имеет площадь около 68 км²). Общее количество озер Челябинской области достоверно неизвестно, их число изменяется в зависимости от водности года. В области насчитывают от 1890 до 3170 озер, из которых 565 имеют площадь более 0,5 км² и являются более-менее постоянными. Только 33 озера имеют площадь зеркала свыше 10 км², и только

3-4 озера превышают площадь 60 км². Максимальная глубина более 2 м отмечена для 570 озер, а глубины более 10 м характерны примерно для 20 озер [6].

Таким образом, рекреационное природопользование в Челябинской области осуществляется на малых и средних озерах. При интенсивном освоении озерных ресурсов негативные изменения в относительно небольших озерных геосистемах могут проявиться уже через несколько лет или в течение первых десятилетий. Устойчивость водных геосистем к рекреационным нагрузкам – один из важнейших показателей при долговременном использовании водных объектов. Так в одной из пионерных работ по рекреационному использованию рек и озер упоминалось, что природным рекреационным ресурсам обычно относят «... незагрязненные водоемы и водотоки...» [1].

Особенности озер Челябинской области (живописность ландшафта, характеристики береговой зоны, особенности строения котловины, объем водной массы и ее качество) обусловили использование озер в рекреационных целях, которое начинается примерно с начала XX в. (в виде частных дач). Планомерное развитие санаторно-курортного дела на Урале в 1920-1980 гг. обусловило появление околоозерных кустов здравниц (с системой водозабора и водоотведения). В постсоветский период резко сокращается количество пионерских/детских лагерей на побережье озер (часто они были организованы для детей сотрудников заводов и предприятий, которые закрывались в годы экономического кризиса); распалась единая санаторно-курортная сеть курортов ВЦСПС. Начинается несистемное освоение озерных рекреационных ресурсов в виде строительства отдельных баз отдыха, как туристической инфраструктуры, так и частного (закрытого) характера. Эти базы отдыха часто наследуют территорию, ранее закрепленную за детскими оздоровительными лагерями или ведомственными базами отдыха; в отдельных случаях и на местах разоренных санаториев.

Примерно к середине 1980-х гг. были освоены в рекреационном отношении все озера Челябинской области, которые и поныне используются для этих целей. Отсюда следует не очень утешительный вывод – несмотря на все богатство озерного фонда в Челябинской области в летний период для пляжно-купального отдыха и водных видов отдыха и спорта используется всего 30-40 озер и вряд ли следует ожидать экстенсивного прироста местных озерных рекреационных ресурсов.

Цель исследования – рассмотреть проблемы освоения рекреационных ресурсов озер Челябинской области, подвергающихся значимой рекреационной нагрузке.

Структура фонда рекреационных озер Челябинской области

Озера Челябинской области можно разделить по природному качеству водно-рекреационных ресурсов самих озер, по характеру доступности/удаленности (и связанной с этим интенсивности рекреационной нагрузки), по степени снижения привлекательности и истощения рекреационных ресурсов (вплоть до степени «неблагоприятно») (табл. 1).

Безусловно, рекреационное освоение (большей частью стихийное) идет и на других озерах, не отмеченных в таблице 1. В таблицу попали только основные озера, где рекреационное освоение является достаточно значимым. В таблице показано 35 таких озер, 17 из них имеют площадь водного зеркала более 10 км².

Таблица 1

Рекреационные озера Челябинской области

<i>Категория</i>	<i>Характер расположения и степень рекреационного и иного хозяйственного освоения</i>	<i>Озера, на которых осуществляется рекреационная деятельность</i>
I	Озера, входящие в состав ООПТ высокого ранга (национальный парк, природный парк)	<u>Зюраткуль</u>
II	Озера курортных местностей с действующими санаторно-курортными учреждениями или сохранившейся/преобразованной их инфраструктурой	<u>Тургояк, Увильды, Б. Кисегач, М. Теренкуль, Еловое, Чебаркуль, Подборное</u>
III	Озера, имеющие на берегах базы отдыха, несколько удаленные от крупных населенных пунктов	<u>Аракуль, Силач, Б. Теренкуль, Б. Сунукуль, М. Сунукуль, Калды, Чебакуль, Курочкино, Боровушка</u>
IV	Озера вблизи крупных населенных пунктов (Челябинск), с базами отдыха и/или организованными пляжами	<u>Касарги, Б. Кременкуль, Первое, Смолино, Сугояк</u>
V	Озера преимущественно стихийного освоения рекреационных ресурсов (в т.ч. горько-соленые)	<u>Сладкое, Горькое (Хомут.), Горько-Соленое (Чесм.), Еткуль, Песчаное, Сугомак, Акуля, Сунгуль, Киреты, Б. Касли, Синара, Иртяш, Иткуль</u>
VI	Озера, испытавшие ухудшение качества вод в результате рекреационной и иной хозяйственной деятельности	<u>Б. Кисегач, Чебаркуль, Смолино, Синара</u>
VII	Озера, рекреационная деятельность на которых осложнена или опасна	<u>Курочкино, М. Теренкуль, Силач</u>

Примечание: подчеркнуты озера с площадью акватории более 10 км²

Нумерическая шкала категорий в таблице 1 не есть синоним плохому качеству природно-рекреационных ресурсов. Скорее, это сводная характеристика степени организованного, относительно культурного или в большей степени маргинального использования озерных ресурсов. Первые 5 категорий – распределение озер согласно предложенных классификационных характеристик; VI и VII категории – перечень озер, претерпевших значимые изменения параметров водной массы и гидробиоценоза (как правило, связанные с иным (нерекреационным) типом хозяйственного воздействия) (табл.2).

В объеме, в среднемноголетнем не влияющем на водность озера, водозабор также производится из озер Тургояк, Увильды, Еловое. Следует отметить, что в XX в. воды озер Тургояк и Увильды интенсивно использовались в хозяйстве и

даже перебрасывались на пополнение водных ресурсов Челябинского промышленного узла (в засуху 1936 г. и засуху 1975-1977 гг.). Перебрасывался избыток вод и из переполняющегося оз. Смолино (1954, 1965-1967, 1995). Также сброс промышленных вод и откачка вод осуществлялись в оз. Первое.

Таблица 2

Иные типы хозяйственного воздействия на рекреационные озера

<i>Водозабор</i>	<i>Непосредственный сброс стоков</i>	<i>Опосредованный сброс стоков (приток со стороны озера-реципиента стоков)</i>	<i>Сельскохозяйственный освоенный водосбор (в т.ч. СНТ)</i>
Чебаркуль	Силач	М. Теренкуль**	Касарги
Б. Кисегач	М. Теренкуль*	Б. Кисегач	Сугояк
Аракуль	Смолино***	Сунгуль	Первое
Иткуль	Первое***	Увильды	Еткуль
Синара			Горько-Соленое
Иртяш			

* – до 1953 г.; ** – после 1953 г.; *** – значительно сокращен после 1994 г.

Сточные воды ливневой канализации или локальные частные выпуски не учтены в составе водоотведения (табл.2): подобные воды до сих пор попадают в озера Смолино, Первое, Чебаркуль, Синара, Иртяш, Увильды, Тургояк, Еткуль.

В настоящее время назрела необходимость выработки политики рекреационного использования и сохранения уже в различной степени претерпевших изменения озерных систем средних и малых озер Южного Урала.

Предлагается для начала выявить их качественное состояние по оценке природно-рекреационного потенциала для пляжно-купального отдыха. Автором предлагается 15 критериев оценки природно-рекреационного потенциала, в баллах от 5 до 0. Методика расчета и интегральная качественная оценка («благоприятно», «относительно благоприятно», «неблагоприятно») изложена автором в [2]. При оценке по данной методике наиболее популярных озер Челябинской области выяснилось, что только немногие из них превышают 4,0 балла (т.е. относятся к категории «благоприятно») [3;4]. Появились спорные варианты оценки, а также появление в некоторых оцениваемых критериях значения «0» баллов (крайне неблагоприятно, опасно) [5].

Было предложено усовершенствование методики интегральной оценки (введение дополнительной категории «относительно неблагоприятно») и предложено уделить особое внимание на частоту и продолжительность появления значения «0» баллов (связано с опасными гидрологическими явлениями или значительным ухудшением качества вод, препятствующим купанию) [5].

По-прежнему открытым остается вопрос об оптимальной протяженности освоенной площади озера под пляжную инфраструктуру. С точки зрения экономики – чем больше, тем лучше; с точки зрения экологии (или долгосрочной экономики) – скорее всего для малых и средних озер этот показатель не должен превышать 10% протяженности побережья.

Заключение

Рекреационному использованию озер Челябинской области больше лет, чем самой области (более 90 лет). К сожалению, систематическое, хотя и не всегда экологически обоснованное, освоение рекреационных ресурсов на благо и здоровье человека закончилось вместе с советской властью, и только с недавних пор начинает робко возрождаться.

Назрела необходимость единой системной политики региональных властей по освоению рекреационных ресурсов малых и средних озер; определению их рекреационной емкости, регулированию и снижению рекреационной нагрузки на аттрактивных участках (привлекательные участки побережья, мысы и крупные острова), пресечению стихийного использования озерных грязей. Необходимо применять восстановительные технологии по ликвидации накопленного экологического ущерба (для системы озер М. Теренкуль – Б. Кисегач и других озер прямых или опосредованных приемников сточных вод), выполнять профилактические работы по сохранению озер Тургойк, Увильды, Еловое, которые еще пока справляются с нагрузкой. Для озер в черте крупных населенных пунктов обеспечить режим разумного использования, с улучшением пляжной инфраструктуры и создания безопасных условий для отдыха при регулировании уровня и качественного режима водоемов, переводя их в режим природно-технических водоемов рекреационного назначения. Использовать, максимально сохраняя – вот девиз озерного рекреационного природопользования.

Библиографический список

1. *Васильев Ю.С., Кукушкин В.А.* Использование водоемов и рек в целях рекреации. Л., Гидрометеиздат, 1988. 230 с.

2. *Захаров С.Г.* Оценка природного рекреационного потенциала пляжно-купального отдыха на озерах Южного Урала // Астраханский вестник экологического образования, 2021, № 5 (65). С. 112-121.

3. *Захаров С.Г.* Рекреационный потенциал наиболее популярных озер Челябинской области // Экологический туризм: современные векторы развития: коллективная монография / Уральский гос. пед. ун-т; под ред. О.Ю. Гурьевских (Электронное издание). Екатеринбург, 2022. С. 250-254.

4. *Захаров С.Г.* Рекреационный потенциал и рекреационная нагрузка на озера курорта Кисегач (Южный Урал) // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: тр. XVIII Международной научно-практической конференции [Электронный ресурс]. Гжель, ГГУ, 2023. С. 170-175.

5. *Захаров С.Г.* Проблема оценки природно-рекреационного потенциала озер // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии [Электронный ресурс]: мат. международной научно-практической конференции посвящ. 50-летию кафедры общего землеведения и гидрометеорологии Белорус. гос. ун-та. Минск, БГУ, 2023. С. 339-344.

6. Природа Челябинской области. Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2000. 269 с.

А.Б. Китаев, Е.Э. Матвеева, kitaevab1953@gmail.com
*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия*

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НЕФТЕПРОДУКТАМИ И ФЕНОЛАМИ В РАЗНЫЕ ПО ВОДНОСТИ ГОДЫ

В основу исследования положены фондовые материалы ФГУ «Камводэксплуатация» за современный многолетний период (2010-2021 гг.). Дана оценка загрязнения различных частей Воткинского водохранилища нефтепродуктами и фенолами. Выявлены пространственно-временные закономерности их поведения. Показана загрязненность вод этими компонентами химического состава в районе расположения Пермско-Краснокамского промышленного комплекса, находящегося в верхней части водоема и ее снижение по мере продвижения вниз по течению. Оценка поведения нефтепродуктов и фенолов представлена применительно к разным фазам водного режима водоема. Кроме того, в исследовании учтена водность лет (многоводные, маловодные и близкие к средневодным).

Ключевые слова: водохранилище, содержание нефтепродуктов и фенолов в воде, промышленный комплекс, фазы водного режима.

A. Kitaev, E. Matveeva, kitaevab1953@gmail.com
Perm State National Research University, Perm, Russia

POLLUTION OF THE VOTKINSK RESERVOIR WITH PETROLEUM PRODUCTS AND PHENOLS AT DIFFERENT TIMES BY WATER RESULTS YEARS

The study is based on the stock materials of the Federal State Institution “Kamvodexploitation” for the modern long-term period (2010-2021). An assessment of the pollution of various parts of the Votkinsk reservoir with petroleum products and phenols is given. Spatiotemporal patterns of their behavior have been revealed. The contamination of water with these components of the chemical composition in the area of the Perm-Krasnokamsk industrial complex, located in the upper part of the reservoir, and its decrease as it moves downstream are shown. An assessment of the behavior of petroleum products and phenols is presented in relation to different phases of the water regime of a reservoir. In addition, the study took into account the water content of years (high-water, low-water and close to middle-water).

Key words: reservoir, content of petroleum products and phenols in water, industrial complex, phases of water regime.

Актуальность

В условиях высокого антропогенного воздействия на природные воды актуальной становится задача оценки не только количества, но и прежде всего качества вод. Выявление закономерностей пространственно-временных изменений показателей качества водных ресурсов и степени загрязненности вод искусственных водных объектов, к которым относятся водохранилища, особенно актуально в связи с наблюдаемой нестационарностью климата в последние десятилетия и возрастающей интенсивностью хозяйственной деятельности на водосборах рек.

Нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных и опасных веществ, загрязняющих поверхностные воды. Большие количества нефтепродуктов поступают в поверхностные воды при перевозке нефти водным путем, со сточными водами предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, химической, металлургической и др. отраслей промышленности, с хозяйственно-бытовыми водами. Что касается фенолов, то они также являются одним из наиболее распространенных загрязнений, поступающих в поверхностные воды со стоками предприятий нефтеперерабатывающей, сланцеперерабатывающей, лесохимической, коксохимической, анилиноокрасочной промышленности и др.

В настоящее время имеются лишь отрывочные материалы по содержанию и динамике, как нефтепродуктов, так и фенолов в водах камских водохранилищ [1-4].

Целью настоящего исследования является оценка влияния содержания нефтепродуктов и фенолов на качество воды в различных частях Воткинского водохранилища в последнее десятилетие.

Материалы и методы исследования

Для характеристики изменения концентрации химических элементов в воде Воткинского водохранилища в условиях современной нагрузки проанализированы материалы гидрохимических съемок водоема за период наблюдения с 2010 по 2021 г. Данные по химическим показателям являются фоновыми материалами ФГУ по эксплуатации Камского и Воткинского водохранилищ «Камводэксплуатация» [6]. Отбор проб воды осуществлялся в 10 створах по длине исследуемого водоема, 6 из которых контролируют качество воды в районе расположения основного промышленного загрязнителя, а именно Пермско-Краснокамского промышленного комплекса. В настоящем исследовании материалы по загрязняющим компонентам представлены для трех основных фаз водного режима Воткинского водохранилища: зимняя сработка (в период с декабря по апрель), весеннее наполнение (оно начинается в апреле и заканчивается в конце мая – начале июня) и летне-осенняя стабилизация уровня воды в водоеме. Из загрязняющих веществ рассмотрены нефтепродукты и фенолы, которые во многом определяют техногенную нагрузку на водохранилище. Полученные данные сопоставлялись со значениями предельно допустимых концентраций исследуемых компонентов химического состава вод.

Результаты исследования

Для анализа динамики загрязнения водохранилища нефтепродуктами и фенолами использован материал гидрохимических съемок за многолетний период. Исследования проводились по основным фазам эксплуатации водоема. Для более четкого представления о гидрохимическом режиме водоема дана оценка водности водохранилища, согласно [5]. В результате можно отметить очень многоводные годы – 2017 и 2019 гг. ($P < 16,7\%$); многоводные – 2015, 2016 гг. ($16,7\% \leq P < 33,3\%$); к маловодным годам отнесен 2012 г. ($66,7\% < P \leq 83,3\%$); и очень маловодными годами были 2010 и 2011 гг. ($P > 83,3\%$). Исходя из этого,

в исследовании были выбраны годы с наибольшей водностью, средней по водности и очень маловодные – это 2017, 2015 и 2012 соответственно (таблица).

Концентрация нефтепродуктов и фенолов по гидрологическим сезонам

Место отбора	Нефтепродукты, мг/дм ³	Фенол, мг/дм ³	Нефтепродукты, мг/дм ³	Фенол, мг/дм ³	Нефтепродукты, мг/дм ³	Фенол, мг/дм ³
	Весеннее наполнение		Летне-осенняя стабилизация		Зимняя сработка	
2012 г.						
Нижний бьеф Камской ГЭС, в 1 км. ниже плотины	0,093	0,003	0,069	0,002	0,040	0,002
Створ Большекамского водозабора	0,077	0,002	0,093	0,002	0,058	0,002
Пос. Нижняя Курья, 9,4 км ниже сброса №1 сточных вод ООО "Новогор-Прикамье"	0,055	0,002	1,037	0,002	0,047	0,003
В створе КРФС г. Краснокамск	0,052	0,002	0,227	0,002	0,047	0,002
Пос. Ниж. Муллы, 1 км ниже впадения р.Ниж. Муллянка	0,076	0,003	0,188	0,002	0,042	0,003
Дер. Чирки, 1,0 км выше впадения р.Бол. Ласья.	0,056	0,003	0,149	0,002	0,044	0,004
Створ в 2 км выше впадения р. Качка	0,043	0,003	0,163	0,002	0,094	0,002
Створ в 1 км ниже пос. Уральский	0,083	0,003	0,154	0,002	0,093	0,002
Створ в 1 км ниже пос. Усть-Нытва	0,251	0,002	0,156	0,003	0,083	0,005
2015 г.						
Нижний бьеф Камской ГЭС, в 1 км ниже плотины	0,040	0,002	0,040	0,002	0,074	0,002
Створ Большекамского водозабора	0,040	0,002	0,040	0,002	0,076	0,002
Пос. Нижняя Курья, 9,4 км ниже сброса №1 сточных вод ООО "Новогор-Прикамье"	0,064	0,002	0,040	0,002	0,082	0,002
В створе КРФС г. Краснокамск	0,040	0,003	0,040	0,002	0,075	0,002
Пос. Ниж. Муллы, 1 км. ниже впадения р.Ниж. Муллянка	0,040	0,002	0,040	0,002	0,072	0,002
Дер. Чирки 1,0км. выше впадения р.Бол. Ласья.	0,040	0,002	0,040	0,002	0,070	0,002
Створ в 2 км выше впадения р. Качка	0,040	0,003	0,040	0,002	0,076	0,002
Створ в 1 км ниже пос. Уральский	0,040	0,004	0,042	0,002	0,079	0,003
Створ в 1 км ниже пос. Усть-Нытва	0,040	0,003	0,056	0,002	0,071	0,003
2017 г.						
Нижний бьеф Камской ГЭС, в 1 км ниже плотины	0,040	0,002	0,040	0,002	0,040	0,002
Створ Большекамского водозабора	0,040	0,002	0,044	0,002	0,040	0,002
Пос. Нижняя Курья, 9,4 км ниже сброса №1 сточных вод ООО "Новогор-Прикамье"	0,040	0,002	0,040	0,002	0,040	0,002
В створе КРФС г. Краснокамск	0,040	0,002	0,050	0,002	0,040	0,002
Пос. Ниж. Муллы, 1 км. ниже впадения р.Ниж. Муллянка	0,040	0,002	0,044	0,002	0,040	0,003
Дер. Чирки 1,0 км выше впадения р.Бол. Ласья.	0,047	0,002	0,042	0,002	0,040	0,002
Створ в 2 км выше впадения р. Качка	0,059	0,002	0,040	0,002	0,048	0,003
Створ в 1 км ниже пос. Уральский	0,040	0,002	0,065	0,002	0,040	0,002
Створ в 1 км ниже п. Усть-Нытва	0,058	0,004	0,040	0,002	0,042	0,004

*красным цветом выделены значения концентрации веществ, которое превышает ПДКрх

Воткинское водохранилище имеет рыбохозяйственное значение, предел допустимой концентрации для нефтепродуктов составляет $0,05 \text{ мг/дм}^3$, фенолов – $0,001 \text{ мг/дм}^3$.

Анализ материалов за многолетний период показал, что самая высокая концентрация нефтепродуктов зафиксирована в период зимней сработки водоема и она составила $0,071 \text{ мг/дм}^3$, в фазу летне-осенней стабилизацию уровня воды она была $0,066 \text{ мг/дм}^3$, а в весеннее наполнение водохранилища отмечалась наименьшая их концентрация – $0,064 \text{ мг/дм}^3$. Материалы гидрохимических съемок в многоводном 2017 г. свидетельствуют, что в период весеннего наполнения водохранилища превышение норм ПДК по нефтепродуктам отмечалось в двух створах – в 2 км выше впадения р. Качка и в 1 км ниже пос. Усть-Нытва. 1 км ниже пос. Уральский. Превышение ПДК нефтепродуктов сосредоточено в основном в створах, где расположены нефтеперерабатывающие и химические промышленные предприятия.

Анализируя средний по водности год (2015), можно констатировать, что превышение ПДК нефтепродуктов встречается намного чаще, чем в многоводном 2017 г. Так в период зимней сработки водоема концентрация нефтепродуктов в воде превышала предельно допустимую во всех рассматриваемых створах (табл.). В период весеннего наполнения водохранилища превышение отмечалось в створе пос. Нижняя Курья, 9,4 км ниже сброса №1 сточных вод ООО «Новогор-Прикамье», в летнюю межень – в 1 км ниже пос. Усть-Нытва. Тогда как в эти же сезоны в многоводном году превышение ПДК нефтепродуктов на выше упомянутых створах не отмечалось.

Максимальная концентрация нефтепродуктов было зафиксировано в 2012 г., который является маловодным, в период летне-осенней стабилизации уровня воды в створе п. Нижняя Курья, 9,4 км ниже сброса № 1 сточных вод ООО «Новогор-Прикамье», ОАО «Мотовилихинские заводы». Она равнялась $1,037 \text{ мг/дм}^3$, что превышает значение ПДК в 20 раз. В этом году отмечалось загрязнение нефтепродуктами по всем створам наблюдений в фазу весеннего наполнения и летне-осенней стабилизации уровня воды. В период зимней сработки водохранилища концентрация нефтепродуктов не превышала ПДК лишь на 1, 3, 4, 5 и 6 створах.

Анализируя концентрацию фенолов за многолетний период в воде Воткинского водохранилища в пределах промышленного комплекса, можно заметить, что превышение норм концентрации для данного компонента химического состава воды наблюдается всегда. На всем протяжении исследуемого периода ПДК была превышена примерно в 2 раза. Максимальная величина превышения ПДК по фенолам в 6 раз была зафиксирована в 2020 г. в период летне-осенней стабилизации в створе пос. Уральский, в 1,0 км ниже сброса сточных вод № 1 ООО «Пермский фанерный комбинат». В этом же году и в этом же сезоне наблюдалось и самое минимальное значение концентрации фенола – $0,001 \text{ мг/дм}^3$, что

равняется значению ПДК. Материалы настоящего исследования свидетельствуют, что превышение ПДК по фенолам практически не зависит от водности года.

Выводы

Рассматривая материалы последнего десятилетия, можно утверждать, что присутствует зависимость превышения концентрации нефтепродуктов от водности лет. Так, самая максимальная концентрация нефтепродуктов прослеживается в годы с очень малой водностью – 2010, 2011 гг., а также в годы с малой водностью – 2012, 2013 гг. Год с максимально загрязненной нефтью водой – маловодный 2012 г., ПДК в данном году превышена в 20 раз, что говорит об очень большой загрязненности. ПДК в многоводном 2017 г. не было сильно превышено. Выявлено, что в зимнюю межень концентрация нефтепродуктов наибольшая. Но при этом не стоит забывать, что рост их содержания в первую очередь зависит от величины и характера антропогенной нагрузки. Загрязнение Воткинского водохранилища фенолами находится вне зависимости от фазы водного режима и водности года, превышая при этом норму ПДК.

Библиографический список

1. *Китаев А.Б., Маленьких С.Б.* Фенолы в воде Камских водохранилищ // Комплексные экологические исследования водоемов и водотоков бассейна реки Камы. Пермь, Перм. ун-т, 1992. С. 29-33.

2. *Китаев А.Б.* Пространственно-временные изменения химического состава воды в условиях существующей техногенной нагрузки // Комплексные исследования Воткинского водохранилища и оценка его влияния на природу. Пермь, 2007. С. 92-102.

3. *Китаев А.Б.* Химическое загрязнение водохранилищ Камского каскада // Современные наукоемкие технологии. М.: Академия естествознания, 2008. № 8. С.48-49.

4. *Китаев А.Б.* Качество воды в приплотинной части Камского водохранилища // Международный журнал экспериментального образования. М.: Академия естествознания, 2016. № 6. Ч.2. С. 292-293.

5. СП 33-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик (одобрен постановлением Госстроя РФ от 26 декабря 2003 г., №218). М., 2004. 73 с.

6. Фондовые материалы ФГУ «Камводэксплуатация» за период наблюдения с 2010 по 2021 г.

О.В. Кондакова, А.Т. Зиновьев, kondakova.o.v@mail.ru

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Рассмотрен гидрологический режим Новосибирского водохранилища, крупнейшего искусственного водоема Западной Сибири, в 2020–2022 гг. Установлено, что 2020 и 2021 годы являлись средними по водности, а 2022 г. – маловодным. Выполнен анализ уровня режима и рассчитаны показатели интенсивности внешнего водообмена. Отмечены особенности гидрологического режима в рассматриваемые годы в сравнении со среднемноголетними значениями. Исследуемые характеристики оказывают существенное влияние, как на водное хозяйство, так и на экосистему водохранилища.

Ключевые слова: Новосибирское водохранилище, Верхняя Обь, уровеньный режим, внешний водообмен.

O. Kondakova, A. Zinoviev, kondakova.o.v@mail.ru

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

ANALYSIS OF CURRENT HYDROLOGICAL REGIME OF NOVOSIBIRSK RESERVOIR

The paper deals with hydrological regime of the Novosibirsk reservoir – the largest artificial water body in Western Siberia, in 2020–2022. The years 2020 and 2021 were found to be medium water, and the year 2022 – low water one. The water level regime is analyzed and indicators of external water exchange are calculated. The peculiarities of hydrological regime inconsidered years as compared with long-term average characteristics were revealed. The studied parameters are important both for the reservoir ecosystem and water sector.

Key words: Novosibirsk reservoir, Upper Ob, water level regime, external water exchange.

Введение

Новосибирское водохранилище, самый крупный искусственный водоем Западной Сибири, осуществляет неглубокое сезонное регулирование стока р. Обь. Площадь акватории водохранилища составляет 1070 км², площадь водосборного бассейна р. Оби в створе гидроузла – 228000 км². Водоем расположен на территории Новосибирской области и Алтайского края. Стадийное заполнение происходило в 1957–1959 гг. До отметки нормального подпорного уровня (НПУ) водохранилище впервые было наполнено в июне 1959 г. Полный объем водохранилища составляет 8,86 км³, полезный – 4,4 км³ при среднемноголетней величине годового стока р. Оби в створе гидроузла 51 км³. В настоящее время водные ресурсы водохранилища используются сложившимся водохозяйственным комплексом, включающим хозяйственно-питьевое водоснабжение, энергетику, рыбное хозяйство, водный транспорт, орошение, рекреацию [1; 9; 13].

Гидрологический режим является важным фактором, влияющим на экологическое состояние Новосибирского водохранилища, и обусловлен как колебаниями водности Верхней Оби (изменчивостью притока к створу ГЭС), так и режимом попусков в нижний бьеф для решения водохозяйственных задач [1;9]. Сезонное регулирование стока обуславливает периодические, повторяющиеся от года к году колебания уровня водной поверхности водохранилища. С характером наполнения и сработки водохранилищ тесно связано внутригодовое изменение интенсивности внешнего водообмена [6-7].

Описание гидрологического режима Новосибирского водохранилища с различной степенью детальности за разные периоды и годы приведено в большом количестве работ, например, в [1-2; 5; 8-13] и многих др.

Цель данной работы – анализ гидрологического режима Новосибирского водохранилища в 2020–2022 гг. (характеристик уровенного режима и внешнего водообмена) в сопоставлении со среднемноголетними показателями.

Материалы и методы исследования

Исходными материалами являлись ежедневные данные о притоке воды к створу ГЭС, сбросах в нижний бьеф, среднем по водохранилищу уровне воды [3]. Анализ уровенного режима выполнялся по хронологическим графикам и годовым таблицам уровня [6-7]. Для расчета средних многолетних характеристик фаз уровенного режима использованы данные за период 1960–1975 гг. [2]. Коэффициенты внешнего водообмена вычислены по формуле В.Н. Штефана (как отношение полусуммы объемов притока и сброса к фактическому объему водохранилища) [4].

Анализ результатов

Для рассматриваемых лет (2020–2022 гг.) определены характеристики водности, выполнен анализ уровенного режима и расчет показателей интенсивности внешнего водообмена, рассчитаны средние многолетние значения исследуемых характеристик с учетом данных за последние годы, выявлены особенности гидрологического режима в сравнении со среднемноголетними показателями.

Установлено, что по величине годового притока к водохранилищу 2020 и 2021 гг. являлись средневодными, а 2022 г. – маловодным. Расходы притока к створу ГЭС составили: в 2020 г. – 1680 м³/с, в 2021 г. – 1645 м³/с., в 2022 г. – 1274 м³/с при средней многолетней величине за 1960–2022 гг. – 1614 м³/с. Показатели водности по годам и гидрологическим сезонам (отношение расходов притока и сбросов к их среднемноголетним величинам) приведены в таблице 1.

Уровенный режим Новосибирского водохранилища в течение года характеризуется тремя типовыми фазами: интенсивным повышением уровня воды в результате заполнения водохранилища стоком весеннего половодья до отметки НПУ, летней стабилизацией на отметках близких к НПУ и осенне-зимней сработкой до уровня мертвого объема (УМО) [1; 9].

Таблица 1

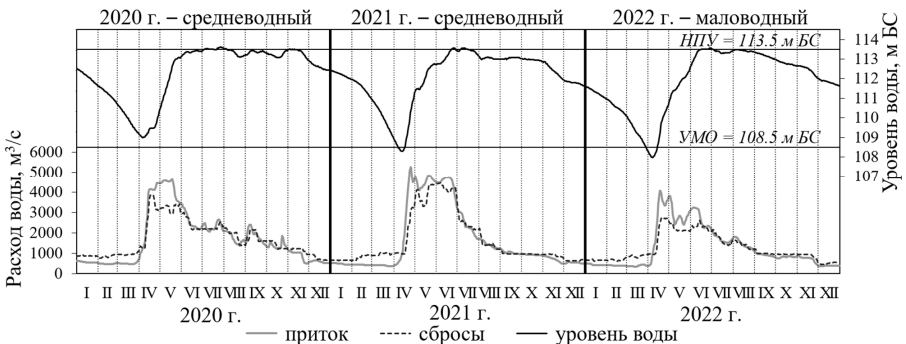
Модульные коэффициенты притока к Новосибирскому водохранилищу

Год	Характеристика года по водности	За год	По сезонам			
			Зима (XI–III)	Весна (IV–VI)	Лето (VII–VIII)	Осень (IX–X)
2020	средневодный	1.04	1.35	0.99	0.90	1.28
2021	средневодный	1.02	1.15	1.14	0.85	0.78
2022	маловодный	0.79	1.04	0.81	0.71	0.69

Отличия во внутригодовом ходе уровня Новосибирского водохранилища в отдельные годы существенны, но общий характер колебаний сохраняется (рисунок). Различия в датах наступления и длительности фаз, интенсивности изменения уровня обуславливаются не столько водностью года в целом, сколько водностью отдельных периодов внутри года, а также зависят от режима регулирования стока [9-10].

В отдельные годы перед началом весеннего наполнения уровень воды водохранилища срывается ниже отметки УМО, что вызывает негативные последствия для водного хозяйства и экосистемы водоема [9; 12]. В маловодные сезоны и годы дефицит водных ресурсов Новосибирского водохранилища усугубляется вынужденным увеличением объемов пусков по сравнению с проектными вследствие посадки уровня воды в нижнем бьефе из-за осуществлявшейся в течение длительного времени выемки песчано-гравийной смеси из карьеров в русле Оби г. Новосибирска [9].

Для рассматриваемых лет по хронологическим графикам (рисунок) и годовым таблицам уровня определены даты начала и окончания фаз, их продолжительность и интенсивность изменения уровня (табл. 2).



Ежедневные приток, сбросы и уровни воды Новосибирского водохранилища в 2020–2022 гг.

Характеристики фаз уровня режима

<i>Год, период</i>	<i>Дата начала наполнения</i>	<i>Дата достижения НПУ</i>	<i>Продолжительность наполнения, сут.</i>	<i>Средняя интенсивность наполнения, см/сут.</i>	<i>Общая продолжительность стояния и превышения НПУ, сут.</i>	<i>Общая продолжительность стояния уровня на отметках 113,4 м БС (и выше), сут.</i>	<i>Дата начала сброски НПУ</i>
2020	7 апреля	2 июля	86	5.2	33	86	13 ноября
2021	14 апреля	22 июня	69	7.5	17	35	16 июля
2022	7 апреля	15 июня	71	7.8	17	53	1 сентября
1960-2022	13 апреля	17 июня	64	9.2	78	104	14 октября

По интенсивности внешнего водообмена Новосибирское водохранилище относится к водоемам с большим водообменом [1; 9]. Среднемноголетний годово-вой коэффициент водообмена за 1960–2022 гг. составляет 6,63. Характер внутри-годового изменения внешнего водообмена зависит от соотношения объемов притока и сбросов и объема водохранилища в течение года [6-7; 10]. В Новосибирском водохранилище наиболее интенсивно водообмен происходит в весенний период, максимальных показателей он достигает в мае [9-10; 13].

Результаты расчетов сезонных и годовых коэффициентов водообмена водохранилища в рассматриваемые годы и их средние величины за 1960–2022 гг. приведены в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты внешнего водообмена

<i>Год, период</i>	<i>Характеристика года по водности</i>	<i>За год</i>	<i>По сезонам</i>			
			<i>Зима (XI–III)</i>	<i>Весна (IV–VI)</i>	<i>Лето (VII–VIII)</i>	<i>Осень (IX–X)</i>
2020	средневодный	6.96	1.44	3.39	1.23	0.97
2021	средневодный	6.98	1.27	4.06	1.18	0.62
2022	маловодный	5.51	1.25	2.77	0.95	0.58
1960-2022	–	6.63	1.11	3.48	1.32	0.78

Выводы

Анализ гидрологического режима Новосибирского водохранилища в 2020–2022 гг. показал, что 2020 и 2021 гг. являлись средними по водности, а 2022 г. – маловодным. Для рассматриваемых лет определены характеристики фаз

уровенного режима и рассчитаны показатели внешнего водообмена по сезонам и годам, выявлены особенности гидрологического режима водохранилища в сравнении со средними многолетними характеристиками.

В качестве отличительных черт уровня режима отмечены сработка уровня воды ниже УМО в 2021 г. и 2022 г. – на 0.20 м и на 0.53 м, соответственно, и короткая общая продолжительность поддержания уровня на отметках НПУ для всех трех лет: в 2020 г. – 33 сут., в 2021 и 2022 гг. – по 17 сут. (при средней многолетней величине 78 сут.). Интенсивность внешнего водообмена водохранилища в 2020 и 2021 гг. была выше средней многолетней на 4.7% и 5.0%, а в 2022 г. – ниже на 17.2%.

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

Библиографический список

1. *Васильев О.Ф., Савкин В.М., Дзуреченская С.Я., Тарасенко С.Я., Попов П.А., Хабидов А.Ш.* Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал. 2000. Т. 7. № 2. С. 149-163.

2. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Новосибирское водохранилище и озера бассейна Средней Оби. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 156 с.

3. ГИС-портал Центра регистра и кадастра. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России. URL: <http://gis.vodinfo.ru> (дата обращения 30.01.2024).

4. *Китаев А.Б.* Показатели внешнего водообмена искусственных водоемов // Географический вестник. 2009. №2. С. 27-32.

5. *Кондакова О.В., Зиновьев А.Т.* Особенности гидрологического режима Новосибирского водохранилища в 2019–2021 гг. // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2022. № 4 (67). С. 36-49.

6. *Матарзин Ю.М.* Гидрология водохранилищ. Пермь: Изд-во ПГУ, ПСИ, ПССГК, 2003. 296 с.

7. *Матарзин Ю.М., Богословский Б.Б., Мацкевич И.К.* Гидрологические процессы в водохранилищах. Пермь, 1977. 88 с.

8. *Медведева Л.Н.* К характеристике уровня режима Новосибирского водохранилища // Труды ЗапСибНИИГоскомгидромета. 1981. Вып. 51. С. 58-64.

9. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / отв. ред. О.Ф. Васильев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 393 с.

10. *Орлова Г.А., Широков В.М.* Особенности гидрологического режима Новосибирского водохранилища за 15-летний период эксплуатации // Природные

условия Западной Сибири и переброска стока рек в Среднюю Азию. Новосибирск: Наука, 1975. С. 65-89.

11. *Подлипский Ю.И., Садовьяк М.М.* Особенности регулирования Новосибирского водохранилища // Труды ЗапСибНИИГоскомгидромета. 1985. Вып. 70. С. 16-24.

12. *Савкин В.М.* Регулирование экстремального стока Верхней Оби Новосибирским водохранилищем // География и природные ресурсы. 2018. № 4. С. 115–121.

13. *Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Кондакова О.В.* Влияние Новосибирского водохранилища на формирование гидролого-гидрохимического режима Верхней Оби на зарегулированном участке // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. №1 (81). С. 51-61.

Е.В. Механошина, К.Д. Микова, В.Г. Калинин

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

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

ПРОГНОЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ДЛЯ РЕК ВОДОСБОРА КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Предложены эмпирические зависимости для прогноза дат начала и пика весеннего половодья от даты перехода температуры воздуха через 0°C весной, а также максимального расхода воды и объема стока весеннего половодья от максимального запаса воды в снеге перед началом снеготаяния. Выявлено, что для прогноза дат начала весеннего половодья в качестве определяющего фактора можно использовать дату перехода температуры воздуха через 0°C весной, зависимости имеют небольшую заблаговременность 5-15 сут. У зависимостей для прогноза дат прохождения пика весеннего половодья от даты перехода температуры воздуха через 0°C весной, зависимости имеют небольшую заблаговременность (18-42 сут), что привело к снижению качества прогнозов. Наиболее тесными получились зависимости объема стока за период весеннего половодья от максимального снеговзапаса, которые по критериям \bar{S} и P могут быть использованы в качестве методики прогнозов.

Ключевые слова: реки, сроки начала весеннего половодья, сроки наибольшего расхода воды, наибольший расход воды, объем стока, краткосрочные и долгосрочные прогнозы.

E. Mekhanoshina, K. Mikova, V. Kalinin

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

Perm State University, Perm, Russia

FORECAST OF SPRING FLOOD PARAMETERS ON SOME RIVERS OF THE KAMSKY RESERVOIR BASIN

The correlations for predicting the dates of the beginning and peak flow of the spring flood from the zero isotherm date, as well as the maximum water discharge and the runoff volume of the spring flood from the maximum water reserves in the snow before the snowmelt beginning were developed. It was revealed that to predict the dates of the spring floods beginning, the zero isotherm date can be used as a major factor. These correlations have a short lag time of 5-15 days. For correlations of the peak flow date from the zero isotherm date, the lag time increased (18-42 days), this led to a decrease in the quality of the forecasts. Empirical correlations were also obtained for forecasting the runoff volume on the maximum water reserves in snow. According to the \bar{S} and P criteria, these correlations can be used as forecasting techniques.

Keywords: rivers, dates of the beginning of spring floods, dates of the peak flow, maximum water discharge, runoff volume, short-term and long-term forecasts.

Введение

Процесс формирования стока весеннего половодья является одним из наиболее сложных гидрологических явлений, зависящий от большого числа зональных и а зональных факторов. Прогноз весеннего половодья и его основных характеристик важен для своевременного предупреждения населения и органов

государственной власти о формировании опасного гидрологического явления. Половодья на реках России формируются ежегодно и характеризуются интенсивным подъемом уровней и расходов воды, что приводит к затоплению пойменных территории, подтоплению населенных пунктов, разрушению мостов и гидротехнических сооружений. Ущерб от наводнений ежегодно оценивается в 75 миллиардов рублей [11].

Гидрологические методы прогноза делят на две группы: стохастические и детерминированные. Результат детерминированной модели является определенным, когда входные параметры являются фиксированными, но менее информативными по сравнению со стохастической моделью. Стохастическая модель более значима для прогнозирования на основе вероятности исхода при различных обстоятельствах [13]. Детерминированные модели можно разделить на: эмпирические, концептуальные и физико-математические. Эмпирические модели основываются на нахождении взаимосвязи между определяющими факторами и формированием какого-либо явления.

Разработке методик прогноза весеннего половодья в России посвящено большое количество работ [2-4; 7]. В работах [2-3] дана характеристика условий формирования и прогноз стока весеннего половодья в лесной зоне Сибири. Для бассейна реки Абакан выявлены особенности прохождения высокого половодья и дан прогноз наводнений по «коэффициенту экстремальности половодья» [10]. Вопросы долгосрочного прогнозирования весеннего половодья в настоящее время особенно актуальны [1], т.к. позволяют заблаговременно принимать необходимые управленческие решения, что помогает сократить ущерб и избежать человеческих жертв.

На исследуемой территории актуальных работ, посвященных прогнозам весеннего половодья, нет. Поэтому настоящее исследование посвящено разработке эмпирических зависимостей для прогноза основных характеристик весеннего половодья на реках водосбора Камского водохранилища.

Характеристика исследуемой территории. Территория водосбора общей площадью 168000 км² охватывает бассейн Верхней и Средней Камы и расположена на северо-востоке Европейской части России. Правобережная часть водосбора находится на Русской равнине, левобережная – в предгорьях и на западном склоне Уральских гор. Исследуемый водосбор представляет собой всхолмленную равнину (70%), повышающуюся с запада на восток, где характерной особенностью рельефа являются западные хребты Уральской горной страны (30% общей площади). В местах слабой расчлененности территория заболачивается, а в условиях сильной расчлененности сток становится более интенсивным. Уральские горы, расположенные с востока, создают преграду, что влияет на распределение осадков. Водосбор расположен в умеренно-континентальном климате с преобладающим западным переносом и сложен в основном осадочными породами (пески, глина, песчаники, конгломераты) [12].

Материалы и методы исследования

Для прогноза основных характеристик весеннего половодья в качестве исходных данных использованы материалы наблюдений ежедневных расходов воды по 5 гидрологическим постам (г/п) с различными площадями водосборов и с минимальным антропогенным воздействием на их водный режим: Кама – с.Бондюг; р. Вишера – пос. Рябиново; р. Яйва – с. Усть-Игум; р. Иньва – г. Кудымкар; р. Велва – д. Ошиб за период с 2002 по 2019 гг.

По ближайшей к гидрологическому посту метеорологической станции собраны данные о среднесуточной температуре воздуха, атмосферных осадках и максимальном снегозапасе перед началом весеннего половодья. Были установлены: дата перехода температуры воздуха через 0°C к положительным значениям весной; коэффициент увлаженности бассейна осенью перед замерзанием; даты начала, пика и окончания весеннего половодья; максимальный расход и объем стока за период весеннего половодья (табл. 1).

Для составления краткосрочного прогноза характерных дат весеннего половодья в первом случае выполнен анализ зависимостей даты начала и пика половодья от даты перехода температуры воздуха через 0°C весной.

Во втором случае были проанализированы зависимости, где исследуемой характеристикой выступали объем стока W (млн. км³) за период весеннего половодья и максимальный расход Q (м³/с), а в качестве основных факторов использовались следующие показатели:

– максимальный запас воды в снеге S_{max} перед началом снеготаяния, мм слоя воды (определялся по данным снегомерных съемок);

– коэффициент комплексного влияния в виде произведения максимального снегозапаса S_{max} и индекса осенней увлажненности бассейна I_w предыдущего года:

$$I_w = a_1 X_{1-2} + a_2 X_{3-5} + a_3 X_{6-10} + a_4 X_{11-20} + a_5 X_{21-30} \quad (1)$$

где I_w – индекс осенней увлажненности бассейна, разработанный на основе воднобалансовых соображений и экспериментов Н.Ф. Бефани в виде многочлена (1); X – количество осадков, выпавшее за период до 30 сут считая назад от момента, на который рассчитывается индекс; a_i – коэффициенты выбираются по средней за i -ю декаду температуре воздуха за весь предыдущий период или его часть.

Оценка методик прогноза выполнена в соответствии с [9]:

1) Для краткосрочных (*заблаговременность до 10 сут*) и среднесрочных прогнозов (*заблаговременность 10–15 сут*): по средней квадратичной погрешности проверочных прогнозов (S) в зависимости от допустимой погрешности ($\pm\delta_{дон}$), а именно:

Оценка качества методик прогноза

Допустимая ошибка, сут	1	2	3	4	5	6	7
Хорошая при $S \leq$	0,7	1,5	2,2	3,0	3,7	4,5	5,2
Удовлетворительная при $S \leq$	1,2	2,4	3,6	4,8	5,9	7,1	8,2

Допустимая погрешность для дат наступления явлений ($\pm\delta_{доп}$, сут) рассчитывается в зависимости от средней заблаговременности прогноза:

$$\pm\delta_{доп} = 0,5 \cdot \Delta \quad (2)$$

Допустимая погрешность для максимального расхода воды и суммарного объема стока за весеннее половодье рассчитывается по формуле:

$$\pm\delta_{доп} = 0,674 \cdot \bar{\sigma} \quad (3)$$

где Δ – заблаговременность методики прогноза, сут; $\bar{\sigma}$ – среднее квадратическое отклонение предсказываемого расхода или объема стока от нормы.

Для долгосрочных прогнозов: по критерию S/σ , где S – средняя квадратическая погрешность проверочных прогнозов; σ – среднее квадратическое отклонение прогнозируемого значения элемента от среднего:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y'_i)^2}{n - m}} \quad (4)$$

где y_i и y'_i – соответственно фактическое и предсказанное значения, n – число членов ряда; m – число степеней свободы, равное числу постоянных в прогнозическом уравнении:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

где y_i – данное значение явления в многолетнем ряду наблюдений, \bar{y} – норма данной величины; n – число членов ряда;

Допустимая погрешность для долгосрочных прогнозов дат наступления явлений рассчитывается в зависимости от средней заблаговременности прогноза согласно формуле 3.

2. По величине обеспеченности допустимой погрешности (P , %), вычисленной как вероятность непревышения допустимой погрешности числа случаев m , в которых ошибки проверочных прогнозов были меньше допустимой, к общему числу проверочных прогнозов n :

$$P = \frac{100}{m} \cdot n \quad (6)$$

где m – общее количество выпущенных прогнозов; n – количество оправдавшихся прогнозов.

Анализ результатов

Реки исследуемой территории относятся к типу рек с четко выраженным весенним половодьем, летне-осенними паводками и длительной устойчивой зимней меженью. Талые снеговые воды являются главным источником в питании рек. Доля талых вод в суммарном стоке рек достигает 85-90% в южных лесостепных районах и 60-65% – в горных частях территории, при этом велика и роль дождей (до 40%). Около 25-35% годового стока формируются подземным путём [12].

Результаты проведенных исследований за период 2002–2019 гг. показали, что в среднем, весеннее половодье на исследуемых реках начиналось с 3 марта по 13 апреля (амплитуда 10 дней). Наивысшие расходы воды на реках равнинной части водосбора наблюдались в период с 30 апреля по 10 мая, а в горных районах в среднем на 6 дней позже – с 6 по 18 мая. При этом на горных реках продолжительность периода с момента начала фазы и до формирования пика волны половодья значительно меньше, чем на равнинных реках. Окончание весеннего половодья в среднем приходилось на 17 мая - 18 июня. Продолжительность весеннего половодья составила от 36 до 56 дней в зависимости от площади водосбора реки (табл. 2).

Анализ эмпирических зависимостей для прогноза даты начала и пика весеннего половодья от даты перехода температуры воздуха через 0°С весной, показал, что наиболее тесные и статистически значимые зависимости выявлены для даты начала ($D_{нач}$) весеннего половодья (рис. 1, табл. 3). Для всех гидрологических постов получены высокие коэффициенты корреляции (более 0,80) со средней заблаговременностью прогноза для равнинных рек от 5 до 7 сут, а для горных – 11-15 сут.

Таблица 2

Характеристики исследуемых зависимостей

Гидрологический пост	A км ²	I_w	S_{max} мм	$D_{0^{\circ}C}$	$Q_{D0^{\circ}C}$ м ³ /с	$D_{нач}$	$Q_{нач}$ м ³ /с	$D_{пик}$	Q_{max} м ³ /с	$D_{кон}$	W км ³
р. Кама – с. Бондюг	46300	26.5	211	5 апр	132	5 апр	131	10 май	2571	11 июн	7.00
р. Иньва – г. Кудымкар	2050	28.0	168	6 апр	9.14	13 апр	12.4	30 апр	178	18 май	0.25
р. Вишера – пос. Рябинино	30900	26.4	260	3 апр	161	10 апр	167	18 май	3855	9 июн	8.60
р. Велва – д. Ошиб	836	28.0	166	6 апр	1.19	11 апр	1.43	3 май	71.7	17 май	0.11
р. Яйва – с. Усть Игум	5320	26.7	198	6 апр	25.0	3 апр	22.0	6 май	957	1 июн	1.51

Примечание: I_w – индекс осенней увлажненности бассейна; A – площадь водосбора; S_{max} – максимальный снеговзапас; $D_{0^{\circ}C}$ – дата перехода температуры воздуха через 0°С весной; $Q_{D0^{\circ}C}$ – расход воды на дату перехода температуры воздуха через 0°С весной, м³/с; $D_{нач}$ – дата начала весеннего половодья; $Q_{нач}$ – расход на дату начала весеннего половодья м³/с; $D_{пик}$ – дата наибольшего расхода воды весеннего половодья; Q_{max} – наибольший расход воды весеннего половодья м³/с; $D_{кон}$ – дата окончания весеннего половодья; W – объем стока за весеннее половодье, км³.

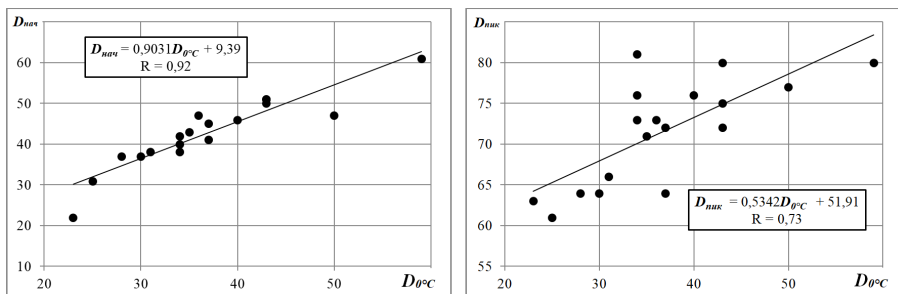


Рис. 1. Зависимость дат (в числах от 1 марта) наступления начала ($D_{нач}$) и пика ($D_{пик}$) весеннего половодья от даты перехода температуры воздуха через 0°C весной ($D_{0^{\circ}\text{C}}$) г/п Кама – с. Бондюг (2002-2019 гг.)

Оценка качества полученных методик прогноза по критерию S показала, что все зависимости имеют качество прогностических. Для г/п р. Кама – с. Бондюг, р. Иньва – г. Кудымкар, р. Вишера – пос. Рябинино зависимости имеют «хорошее» качество прогноза, для отставных г/п – «удовлетворительное». Данные зависимости могут быть использованы для прогноза дат начала весеннего половодья.

Таблица 3

Характеристики зависимостей для прогноза дат начала ($D_{нач}$) и пика ($D_{пик}$) весеннего половодья от даты перехода температуры воздуха через 0°C ($D_{0^{\circ}\text{C}}$)

Гидрологический пост	r	Δ	$\pm\delta_{доп}$	S^*	P	Уравнение
Дата начала весеннего половодья ($D_{нач}$)						
р. Кама – с. Бондюг	0,92	6	3	3,32	83	$D_{нач} = 0,9031 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 9,397$
р. Иньва – г. Кудымкар	0,86	5	3	3,22	67	$D_{нач} = 0,6054 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 19,35$
р. Вишера – пос. Рябинино	0,85	15	7	3,63	94	$D_{нач} = 0,6872 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 26,23$
р. Велва- д. Ошиб	0,84	7	4	3,22	78	$D_{нач} = 0,5685 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 22,57$
р. Яйва- с. Усть Игум	0,82	11	6	4,80	72	$D_{нач} = 0,7444 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 19,71$
Дата пика весеннего половодья ($D_{пик}$)						
р. Кама – с. Бондюг	0,73	35	4	0,67	78	$D_{пик} = 0,5342 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 51,91$
р. Иньва-г. Кудымкар	0,52	18	5	0,80	56	$D_{пик} = 0,4565 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 44,53$
р. Вишера-пос. Рябинино	0,03	42	7	0,97	56	$D_{пик} = 0,0349 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 77,27$
р. Велва- д. Ошиб	0,53	28	6	0,73	72	$D_{пик} = 0,4862 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 46,08$
р. Яйва- с. Усть Игум	0,33	18	7	0,89	61	$D_{пик} = 0,3554 \cdot D_{0^{\circ}\text{C}} + 54,21$

Примечание: r – коэффициент корреляции; Δ – заблаговременность методики прогноза, сут; $\pm\delta_{доп}$ – допустимая ошибка, сут; S – средняя квадратичная погрешность проверочных прогнозов; P – величина обеспеченности допустимой погрешности, %; * – для среднесрочных и долгосрочных прогнозов рассчитан критерий S/σ

Теснота зависимости $D_{пик} = f(D_{0^{\circ}\text{C}})$ значительно ниже, и характеризуется коэффициентами корреляции $0,52 \pm 0,73$ для равнинных рек и $0,03 \pm 0,33$ для горных при средней заблаговременности 18–42 сут. Оценка качества методики прогноза по критерию S/σ показала, что только для г/п р. Кама – с. Бондюг зависимость имеет качество «удовлетворительное» и подходит для долгосрочного про-

гноза даты максимального расхода воды. Зависимости для остальных гидрологических постов не являются прогностическими и характеризуются низкой оправдываемостью (56-72%). Это объясняется тем, что в период с момента начала половодья до формирования максимального расхода, могут наблюдаться возвраты холодов, которые нарушают плавность развития волны половодья. При этом чем позднее наступление прогнозируемого явления и больше заблаговременность прогноза, тем ниже качество последнего.

На следующем этапе выполнено исследование зависимостей максимального расхода Q (м³/с) и объема стока W (км³) от главного фактора формирования весеннего половодья – максимального снегозапаса перед началом снеготаяния [5]. Оценка зависимости $Q_{max} = f(S_{max})$ показала, что они не являются прогностическими и характеризуются невысокими коэффициентами корреляции ($r = 0,32 \div 0,78$). При добавлении индекса осеннего увлажнения I_w в исследуемые зависимости $Q_{max} = f(S_{max}, I_w)$ и $W = f(S_{max}, I_w)$ теснота связи снижается ($r = 0,32 \div 0,50$), при этом качество методик становится непрогностическим.

Выполненные исследования показали, что наиболее тесные и статистически значимые зависимости выявлены при долгосрочном прогнозе объема стока за период весеннего половодья от максимального снегозапаса $W = f(S_{max})$ (рис. 2, табл. 4).

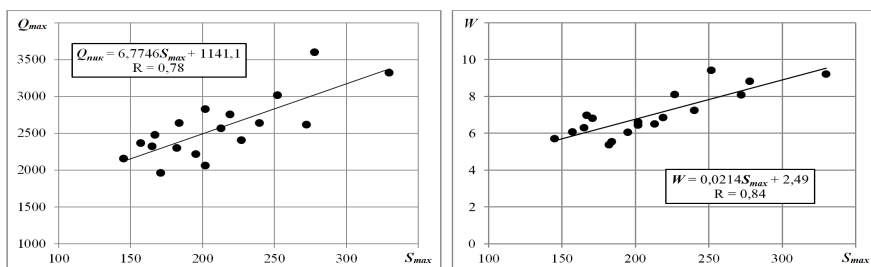


Рис. 2. Зависимости максимального расхода воды (Q_{max} , м³/с) и объема стока (W , км³) за весеннее половодье от максимального запаса воды в снеге (S_{max} , мм) перед началом снеготаяния г/п Кама – с. Бондюг (2002-2019 гг.)

Таблица 4

Характеристики зависимостей для прогноза максимального расхода воды (Q_{max}) и объема стока (W) весеннего половодья от максимального запаса воды в снеге (S_{max}) перед началом снеготаяния

Гидрологический пост	r	A	$\pm \delta_{доп}$	S/σ	P	Уравнение
Максимальный расход воды (Q_{max}.)						
р. Кама – с. Бондюг	0,78	75	286	0,61	72	$Q_{max} = 6,7746 \cdot S_{max} + 1141,1$
р. Иньва – г. Кудымкар	0,32	29	63	0,92	56	$Q_{max} = 1,2264 \cdot S_{max} + 7,6175$
р. Вишера – пос. Рябинино	0,47	48	681	0,86	61	$Q_{max} = 9,1544 \cdot S_{max} + 1367,2$
р. Велва-д. Ошиб	0,62	33	6	0,76	61	$Q_{max} = 0,1964 \cdot S_{max} + 39,20$
р. Яйва- с. Усть Игум	0,67	36	170	1,23	61	$Q_{max} = 2,9120 \cdot S_{max} + 404,05$
Объем стока за период весеннего половодья (W)						
р. Кама – с. Бондюг	0,84	64	0,83	0,52	78	$W = 0,214 \cdot S_{max} + 2,49$
р. Иньва-г. Кудымкар	0,75	41	0,05	0,66	77	$W = 0,0022 \cdot S_{max} + 0,13$

Гидрологический пост	r	Δ	$\pm\delta_{доп}$	S/σ	P	Уравнение
р. Вишера-пос. Рябино	0,84	62	1,36	0,53	78	$W = 0,0334 \cdot S_{max} - 0,09$
р. Велва- д. Ошиб	0,80	42	0,02	0,61	83	$W = 0,0006 \cdot S_{max} + 0,01$
р. Яйва- с. Усть Игум	0,73	55	0,24	0,68	78	$W = 0,0046 \cdot S_{max} + 0,63$

Примечание: r – коэффициент корреляции; Δ – заблаговременность методики прогноза, сут; $\pm\delta_{доп}$ – допустимая ошибка, сут; S – средняя квадратичная погрешность проверочных прогнозов; P – величина обеспеченности допустимой погрешности, %; * – для среднесрочных и долгосрочных прогнозов рассчитан критерий S/σ .

Чем больше запасы воды в снеге к началу снеготаяния, тем больше объём стока весеннего половодья. Для всех гидрологических постов получены высокие коэффициенты корреляции ($0,73 \div 0,84$) со средней заблаговременностью прогноза от 41 до 64 сут. Оценка качества методик прогноза по критерию S/σ показала, что все зависимости имеют «удовлетворительное» качество и являются прогностическими. Оправдываемость на зависимом материале составила 77–83%. Данные зависимости могут быть использованы для долгосрочных прогнозов объёма стока за период весеннего половодья.

Выводы

1. Анализ зависимостей для прогноза сроков начала ($D_{нач}$) весеннего половодья показал, что для всех гидрологических постов получены связи с высокими коэффициентами корреляции (более 0,80). Средняя заблаговременность для равнинных рек от 5 до 7 сут, а для горных – 11–15 сут. По критериям S и P все зависимости можно использовать в качестве методик прогноза сроков начала весеннего половодья.

2. Зависимости для прогноза даты прохождения пика весеннего половодья ($D_{пик}$) имеют низкую тесноту связи ($r=0,52 \div 0,73$). При этом средняя заблаговременность стала значительно выше 18–42 сут, что соответствует среднесрочной и долгосрочной заблаговременности. Увеличение заблаговременности приводит к большой неопределенности развития атмосферных процессов, как правило, это приводит к снижению качества прогнозов. Только одна зависимость для г/п р. Кама – с. Бондюг соответствует критериям S/σ и P .

3. Для прогноза объёма стока (W) за период весеннего половодья (W , км³) получены зависимости с высокими коэффициентами корреляции ($r=0,73 \div 0,84$). Средняя заблаговременность зависимостей 41–64 сут, что соответствует долгосрочным прогнозам. По критериям S/σ и P все зависимости имеют «удовлетворительное» качество и могут быть использованы для выпуска прогнозов. Зависимости для прогноза максимального расхода воды (Q_{max}) характеризуются невысокими коэффициентами корреляции ($r=0,32 \div 0,78$) и не соответствуют критериям S/σ и P .

4. Анализ возможности комплексного учета максимального снеговзапаса (S_{max}) и индекса увлажнения почвы (I_w) для прогноза максимального расхода воды (Q_{max}) и объёма стока (W) показал, что их произведение не дает существенного увеличения тесноты связи зависимостей и методики прогноза не являются прогностическими.

Библиографический список

1. Акилина, В.А., Борщ, С.В., Симонов, Ю.А., Христофоров, А.В., Юмина, Н.М. Долгосрочное прогнозирование характеристик весеннего стока рек бассейна Тобола // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022. №. 4. С. 64-78.
2. Бураков Д.А. Основы гидрологических прогнозов объема и максимума весеннего половодья в лесной зоне Западно-Сибирской равнины // Вопросы географии Сибири. 1978. С. 3-49.
3. Бураков Д.А., Иванова О.И. Анализ формирования и прогноз стока весеннего половодья в лесных и лесостепных бассейнах рек Сибири // Метеорология и гидрология. 2010. №. 6. С. 87-100.
4. Зиновьев А.Т., Галахов В.П., Кошелев К.Б. О результатах прогнозирования весеннего половодья на верхней Оби в 2015 году // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – №. 3. – С. 58-68.
5. Калинин В.Г., Механошина Е.В. О зависимостях стока весеннего половодья от основных факторов // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. 2019. С. 129-134.
6. Микова К.Д., Трифонова Е.В. Вопросы об использовании эмпирических зависимостей для прогноза дат начала весеннего половодья // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: материалы междунар. науч.-практ. конф. Челябинск. АБРИС. 2008. С. 80.
7. Мухин В.М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. 2014. №. 351. С. 108.
8. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. Издание второе, переработанное и дополненное. Л.: Гидрометеиздат. 1983. 390 с.
9. Наставление по службе прогнозов. Разд. III. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 362 с.
10. Паромов В.В., Шумилова К.А., Гордеев И.Н. Условия формирования половодья большой водности и прогноз наводнения на реке Абакан // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. №. 11. С. 57-67.
11. РБК. Минприроды назвало ежегодные убытки от наводнений в России [Электронный ресурс] <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/613318c99a79476ed3a8139a> (дата обращения: 14.04.2024).
12. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Вып. 1. Кама. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 420 с.
13. Старков И.А., Рангулов Р.А. О статистическом прогнозировании характеристик речного стока // Географический вестник. 2008. № 2(8). С. 139–142.

А.В. Рахуба¹, М.В. Шмакова², Т.В. Турутина³, rahavum@mail.ru

¹*Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти*

²*Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

³*Государственный Гидрологический Институт, г. Санкт-Петербург*

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Обсуждаются результаты четырехлетних (2020-2023 гг.) экспедиционных исследований донных отложений в Куйбышевском водохранилище. Представлены карты пространственного распределения медианной крупности донных отложений и содержания органического вещества, сформированных в условиях неустановившегося гидродинамического режима и режима наносов в различных частях водохранилища – озеровидных расширениях, обширных заливах и узких русловых участках. На основе разработанной 2D численной гидродинамической модели и модели транспорта наносов проведены расчеты и построены карты удельного расхода наносов в летний период с учетом разнообразия стоковых и ветровых течений. Выявлены зоны активности двухфазного массопереноса в акватории водохранилища.

Ключевые слова: водохранилище, грунт, донные отложения, гранулометрия, водосбор, водообмен.

A. Rakhuba¹, M. Shmakova², T. Turutina³, rahavum@mail.ru

¹*Samara Federal Research Scientific Center RAS,*

Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Togliatti

²*Institute of Limnology RAS, St. Petersburg*

³*State Hydrological Institute, St. Petersburg*

DISTRIBUTION OF BOTTOM SEDIMENTS KUIBYSHEV RESERVOIR

The results of four-year (2020-2023) expeditionary studies of bottom sediments in the Kuibyshev reservoir are discussed. Maps of the spatial distribution of the median size of bottom sediments and the content of organic matter formed under conditions of an unsteady hydrodynamic regime and sediment regime in various parts of the reservoir – lake-like extensions, extensive bays and narrow channel areas are presented. Based on the developed 2D numerical hydrodynamic model and sediment transport model, calculations were carried out and maps of the specific sediment consumption in the summer period were constructed, taking into account the diversity of runoff and wind currents. Zones of activity of two-phase mass transfer in the water area of the reservoir have been identified.

Keywords: reservoir, soil, sediment, grain size distribution, water collection, water exchange.

Введение

Куйбышевское водохранилище представляет собой гидродинамически и морфометрически неоднородный водный объект. Верхнее течение водохранилища представлено гидродинамически активными русловыми участками переносного подпора Волги и Камы. Далее, участок их слияния (Волжско-Камский плес) характеризуется обширной мелководной акваторией с резким падением

русловых скоростей потока. В среднем и нижнем течении сформировалось чередование озеровидных плесовых расширений и небольших участков сужения акватории между ними. Плесы характеризуются как глубоководными правобережными и центральными участками, так и мелководными левобережными акваториями, находящимися в подпоре [3]. Значительные размеры этих плесов и увеличение их объемов от верховья к плотине определяют крайне замедленный водообмен и, как следствие, аккумуляцию твердого вещества, поступившего в акваторию в результате почвенной эрозии.

В нижнем течении помимо подпора имеет место активное гидродинамическое влияние, вызванное неравномерным режимом работы Жигулевской ГЭС. Для Приплотинного плеса характерна большая глубина в центральной части и перед плотиной (до 40 м и более) и два мелководных участка на левом и правом берегу (до 15 м). В Черемшанском заливе – наиболее крупном мелководном заливе Куйбышевского водохранилища, глубина акватории не превышает 5-7 м и характеризуется преобладанием ветровых течений и течений, вызванных прямыми и обратными волнами попусков ГЭС, в результате чего происходит активное перераспределение донных отложений в этой части водохранилища.

Материалы и методы исследования

В безледный период 2020-2023 гг. в ходе научно-исследовательских водных экспедиций ИЭВБ РАН были отобраны пробы донных отложений на 91 станции, расположенных в характерных районах по всей акватории Куйбышевского водохранилища. Пробы отбирались стратометром (микробентометром) С-1 в 10-сантиметровом слое донных отложений. Расположение станций отбора проб учитывало морфометрическую неоднородность водохранилища и особенности водообмена и является репрезентативным для последующего анализа.

Анализ результатов

Разнообразие условий формирования твердого стока с территории водосбора крупных водных объектов, неоднородная морфология водохранилища, антропогенная нагрузка на водный объект, разнонаправленное влияние на отдельные части акватории гидродинамической составляющей сработки водохранилищ обуславливает неравномерный гранулометрический состав и долю органического вещества в донных отложениях водоема. На рисунке 1 приведено распределение медианной крупности донных отложений d_{50} , мм и содержания органического вещества ОВ, % в донных отложениях Куйбышевского водохранилища.

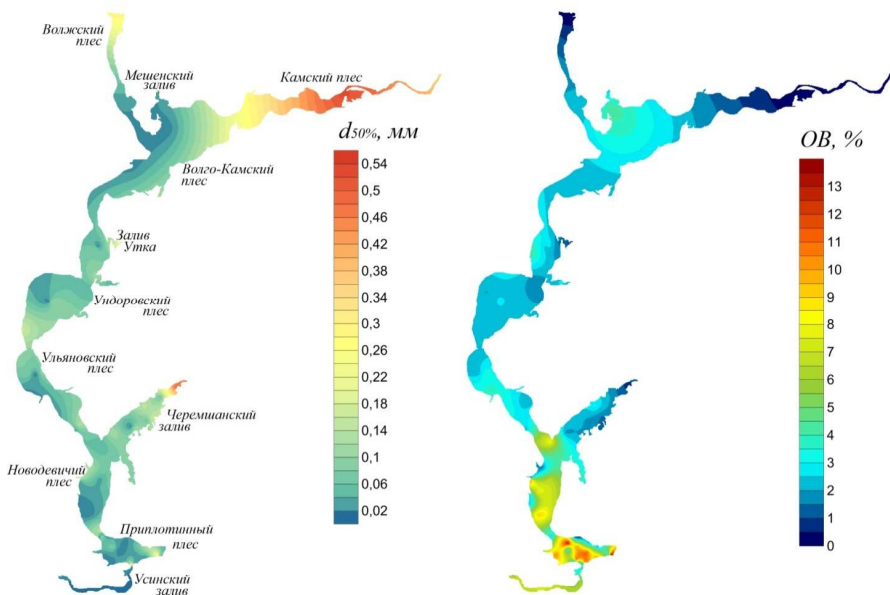


Рис. 1. Распределение медианной крупности донных отложений d_{50} , мм и содержания органического вещества OB , % в донных отложениях Куйбышевского водохранилища

Максимальная крупность донных отложений наблюдается в Камской и Волжской ветке в начале зоны влияния подпора водохранилища и составляет 0,32-0,54 мм. Падение скорости потока на этих участках обуславливает падение транспортирующего потенциала потока и, как следствие, формирование зоны последовательного осаждения транспортируемых наносов. Аналогичная зона последовательного осаждения наблюдается в верхней части Черемшанского залива и низовьях р. Утки, где водный поток рр. Утка и Большой Черемшан в результате подпора теряют скорость и твердые частицы в потоке осаждаются в соответствии со своей крупностью. В центральной и нижней частях водохранилища средняя крупность донных отложений варьирует от 0,01 до 0,18 мм.

В донных отложениях Куйбышевского водохранилища наименьшие значения OB регистрировались в песках и илистых песках в верхней и средней частях водохранилища, причем минимальные (<1 %) в Волжском и Камском плесах в зонах сильных русловых течений. В зоне слияния Камы с Волгой скорости течения заметно снижаются, а содержание OB увеличивается до 2,5 % в Волго-Камском плесе и до 6,0 % в Мешенском заливе. Обширная центральная часть плесовых расширений, включая Черемшанский залив, характеризуются песчано-илистыми и илистыми отложениями с содержанием OB до 2,5-4,7 %, при этом наименьшее среднее значение 1,48-1,79 % отмечено в левобережной мелководной зоне. Наиболее обогащены органическим веществом илистые отложения

глубоководных Новодевичьего и Приплотинного плесов – 10,2-13,3%. Органическое вещество в основном оседает в центральной глубоководной зоне плесов, где формируется мощная зона илонакопления.

При этом разнообразии стоковых и дрейфовых течений в различных частях Куйбышевского водохранилища способствует дальнейшей неоднородности распределения в них донных отложений. Стоковые течения прослеживаются вдоль правобережной и центральной частей водохранилища. На мелководьях плесовых расширений и подтопленных заливах скорости стокового течения минимальны, а при сильных ветрах здесь образуются вихри течений циклональной и антициклональной направленности. Также в результате неравномерной работы гидрозлов на акватории водохранилища могут возникать прямые и обратные волны попусков, которые приводят к размыву ложа и снижению темпов осадконакопления в плесах, приближенных к плотине [1; 2; 5]. Согласно результатам гидродинамического моделирования двухфазного массопереноса в акватории Куйбышевского водохранилища (гидродинамическая модель «Волна», дополненная алгоритмами транспорта наносов [4]), активное перераспределение донных отложений отмечается преимущественно в мелководной зоне центральной части водохранилища и участках, расположенных выше переменного подпора Волги и Камы. На рисунке 2 представлены результаты модельных расчетов удельного расхода наносов ($\text{г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$) в меженный период при ветрах различных направлений.

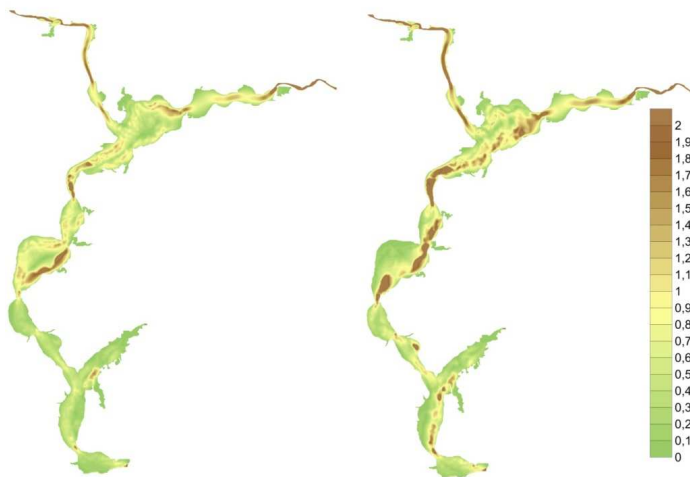


Рис. 2. Распределение удельного расхода наносов ($\text{г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$) в Куйбышевском водохранилище в период летней межени при юго-западном ветре (а) и северном ветре (б)

Здесь ветер северного направления способствует более интенсивному перемещиванию акватории в ее центральной и северной части. Значения удельного расхода наносов превышают $2,0 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Для ветра юго-западного направления наибольшие значения приходятся на плесовые расширения в центральной части водохранилища, тогда как в южной части значения удельного расхода наносов в среднем составляет около $0,5 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$.

Выводы

По данным экспедиционных съемок четырех лет наблюдений 2020-2023 гг. проведен анализ и построены карты распределения донных отложений в Куйбышевском водохранилище. Отмечено, что в зависимости от гидродинамической активности прослеживаются определенные закономерности распределения донных отложений в пространстве, а также содержания органического вещества в них. Наиболее выраженная неоднородность распределения донных отложений и органического вещества прослеживается на приплотинном участке водохранилища в Новодевичьем и Приплотинном плесах, где из-за слабости течений и больших глубин формируются мощные заиленные участки ($d_{50\%}<0,01\text{мм}$) с высоким содержанием органического вещества ($>13\%$). В верхней части водохранилища преобладают песчаные и песчано-илистые отложения ($d_{50\%}=0,32-0,54 \text{ мм}$) с меньшим содержанием органического вещества ($<1\%$).

Проведено численное моделирование и получены карты удельного расхода наносов с учетом стокового и ветровых течений разной направленности. Выявлены зоны с максимальным и минимальным расходом наносов, где соответственно формируются донные отложения определенного гранулометрического состава.

Библиографический список

1. *Законнов В.В.* Илонакопление в системе водохранилищ Волжского каскада // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2016. № 75 (78). С. 30-40.
2. *Калинин В.Г., Пьянков С.В., Перевоицкова О.А.* О формировании подводного рельефа дна долинных водохранилищ (на примере Камского) // Географический вестник. 2018. № 1 (44). С. 128-137.
3. Куйбышевское водохранилище. Л.: Наука, 1983. 213 с.
4. *Рахуба А.В., Шмакова М.В.* Нестационарный режим водохранилища: опыт моделирования русловых процессов с подвижным дном // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2022. Т. 15. № 2. С. 138-149.
5. *Чигиринский П.Ф.* О течениях в Куйбышевском водохранилище на основании Четырехлетних наблюдений // Сборник работ Комсомольской гидрометеорологической обсерватории. 1962. Вып. II. С. 200-233.

ГИДРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТОКА Р. ТУЛВЫ

Рассматривается процесс формирования стока загрязняющих веществ (ЗВ) с водосбора р. Тулвы в современных условиях. Построены зависимости массы ЗВ от объема сточных вод, площади сельскохозяйственных угодий и величины среднегодового стока. Установлена связь показателей ХПК, БПК и взвешенных веществ со среднегодовым стоком р. Тулвы. Дана комплексная оценка стока р. Тулвы за многолетний период с учетом изменений климата, которая позволила установить увеличение среднегодового стока за период 1976–2021 гг. на 17%, среднегодового значения температуры воздуха на 1 °С, и величины атмосферных осадков на 0,22 мм.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, объем сточных вод, среднегодовой сток, изменения климата.

M. Fasakhov, komrad.fasakhov2017@yandex.ru

Perm State University, Perm, Russia

HYDROLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE TULVA RIVER RUNOFF

The process of formation of the runoff of pollutants from the Tulva river catchment in modern conditions is considered. The dependences of the mass of pollutants on the volume of wastewater, the area of agricultural land and the average annual runoff are constructed. The relationship of COD, BOD and suspended solids indicators with the average annual runoff of the Tulva river has been established. A comprehensive assessment of the Tulva River runoff over a multi-year period, taking into account climate changes, has been given, which made it possible to establish an increase in the average annual runoff for the period 1976–2021. by 17%, the average annual air temperature by 1 °C, and precipitation by 0.22 mm.

Keywords: pollutants, wastewater volume, average annual runoff, climate change.

Введение

В последнее время сток рек претерпевает существенные изменения. Это связано с климатическими изменениями, увеличением количества сельских и городских территорий, а также с ростом числа промышленных предприятий и площади сельскохозяйственных угодий. Все эти факторы приводят к количественным и качественным изменениям стока на водосборах рек и водохранилищ. Качество воды в водных объектах определяется физическими, химическими и биологическими показателями, и является важным как для водопользователей, так и для водных экосистем [5]. При всем многообразии источников ухудшения качества природных вод все они с той или иной степенью условности могут быть подразделены на два больших класса: точечные и диффузные (неточечные) [1]. Поступление ЗВ с точечных и диффузных источников в водные объекты явля-

ется одной из актуальных проблем, вопросами изучения которой занимались такие ученые как С.А. Кондратьев [2], С.А. Михайлов [3], С.В. Ясинский и Ф.Н. Гуков [6], А.В. Слабунова и А.П. Сурувикина [4] и др.

Целью настоящего исследования является гидролого-геохимическая оценка стока р. Тулвы в условиях изменения климата, а также выявление зависимостей между массой загрязняющих веществ (т и кг), находящихся в реке, и факторами, которые их формируют.

Материалы и методы исследования

Для оценки поверхностного стока и стока загрязняющих веществ был выбран бассейн р. Тулвы, находящийся на водосборе Воткинского водохранилища (рис. 1). Река берет свое начало в южной части Тулвинской возвышенности. В западной части бассейна расположены Усинские Увалы, а сама р. Тулва протекает вдоль одноименной низменности, и впадает в Тулвинский залив Воткинского водохранилища. Площадь водосбора в районе гидрологического поста (г/п) в с. Барда составляет 1904 км², а длина реки от истока до г/п – 77 км. В реку впадает порядка 20 малых и средних рек.

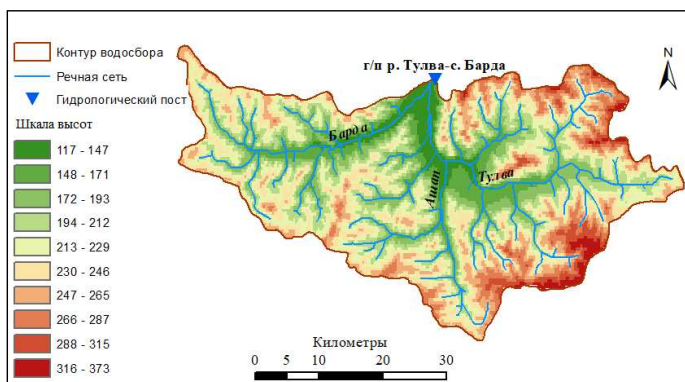


Рис. 1. Водосбор р. Тулвы

В качестве картографических данных использованы цифровая модель рельефа SRTM [12] с разрешением растровой ячейки 30 м и электронная карта Роскартографии масштаб 1:100 000. Это позволило определить ландшафтные характеристики водосбора, и представить их в виде векторных слоев, включающих информацию о лесной растительности, сельскохозяйственных полях, лугах, пастбищах, гидрографической сети, водных объектах и населенных пунктах.

Площадь залесенной территории составляет 1116 км² (59%). На долю сельскохозяйственных полей (с/х поля), лугов и пастбищ приходится порядка 740 км² (39%), из них 200 км² (11% от общей площади) приходится на с/х поля. Информация о площади с/х полей на конкретный район и за конкретный год находится в открытом доступе на сайте Росстата [11].

Данные по объему ЗВ (в т и кг), сброшенных в реку за период 2009–2021 гг., были взяты на сайте АИС ГМВО [8] по форме 2-ТП (водхоз). Для оценки поверхностного стока в работе использовался среднегодовой расход воды по г/п р. Тулва–с. Барда за период 1937–2021 гг. [10]. Данные по среднемесячной температуре воздуха (1951–2021 гг.) и атмосферным осадкам (1966–2021 гг.) взяты по метеостанциям (МС) Оса и Чернушка[9].

Для оценки изменения поверхностного стока, температуры воздуха и атмосферных осадков выполнено сравнение этих показателей за два периода: 1937–1976 и 1976–2021 гг. Выбор 1976 г. в качестве переломной точки начала современного потепления основан на докладе Гидрометцентра России за 2022 г.[7]. Анализ стока ЗВ проводился с использованием корреляционной зависимости между массой ЗВ в воде и факторами, которые влияют на появление этих элементов в водных объектах.

Анализ результатов

Поверхностный сток в первую очередь реагирует на изменение климата, в частности, на уменьшение или увеличение температуры воздуха и количества атмосферных осадков. Используя данные о среднегодовой температуре воздуха, была предпринята попытка определить эти изменения до и после 1976 г. Для выявления изменений температуры воздуха во времени построен график по МС Оса и Чернушка (рис. 2).

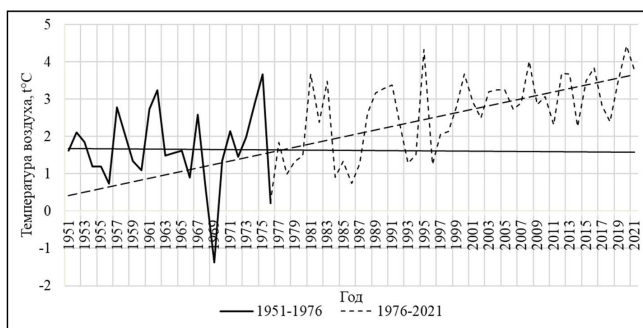


Рис. 2. Среднегодовой ход температуры воздуха (на примере МС Чернушка)

Как видно на графике, температура воздуха начала расти после 1976 г., и продолжает увеличиваться до настоящего времени. В среднем, рост за период 1976–2021 гг. составляет 1°С по сравнению с периодом 1951–1976 гг. Анализ изменения величины атмосферных осадков показал их незначительный рост в современный период. Так, на МС Чернушка количество выпадающих осадков в среднем за весь период 1966–1976 гг. составило 1,45 мм, а за период 1976–2021 гг. эта величина составляет 1,77 мм, что на 0,32 мм больше по сравнению с предыдущим периодом. Аналогичная ситуация наблюдается и на МС Оса.

Климатические изменения напрямую влияют на величину речного стока. В связи с этим выполнен анализ изменения расхода воды в р. Тулва с момента открытия гидрологического поста и до наших дней. На основе данных о среднегодовых расходах воды за период 1937–2021 гг. был построен гидрограф, который характеризует многолетнее изменение стока реки во времени (рис. 3). Анализ рисунка 3 показал увеличение расхода воды за период 1976–2021 гг. на 2,3 м³/с, или на 17%, что может быть связано с увеличением количества осадков в теплое время года за аналогичный период в 1,28 раза.

Увеличение поверхностного стока приводит к росту концентраций и объема загрязняющих веществ (ЗВ) в водных объектах, что ухудшает качество воды и делает ее непригодной для хозяйственно-бытовых и рекреационных целей.

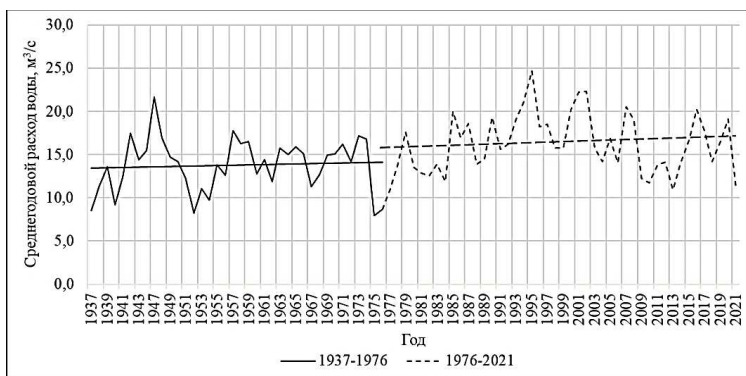


Рис. 3. Кривая изменения среднегодового расхода воды по г/п Тулва-Барда.

Для оценки стока ЗВ на территории водосбора р. Тулвы были проанализированы следующие химические элементы: биогенные вещества (азот аммонийный, азот общий, аммоний-ион, нитраты, нитриты и железо), токсичные вещества (СПАВ, нефтепродукты), главные ионы (сульфаты и хлориды), кислород и его интегральные показатели (ХПК и БПК полн.), а также взвешенные вещества.

Масса ЗВ, находящаяся в воде, формируется под влиянием различных факторов. Как было сказано выше, ЗВ попадают в водные объекты с точечных и диффузных источников загрязнения. К точечным источникам относят хозяйственно-бытовые сбросы воды с очистных сооружений, промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Диффузные источники включают в себя площадные объекты, такие как сельскохозяйственные поля, урбанизированные территории, лесное хозяйство, добыча полезных ископаемых, строительство и др.

Для определения ключевого фактора, влияющего на концентрацию определенного ЗВ, были построены зависимости массы ЗВ от объема сточных вод, сбрасываемых в поверхностные и подземные воды, площади сельскохозяйственных полей и от среднегодового расхода воды за период 2009-2021 гг. (рис. 4).

Анализ зависимостей показал, что масса азотосодержащих веществ, сульфатов, хлоридов, СПАВ и нефтепродуктов тесно связана с объемом сточных вод, поступающих в поверхностные и подземные воды. Так, например, коэффициент корреляции для общего азота составляет 0,99, для СПАВ – 0,96. Как показано на рис. 4 (а и в), чем больше объем сточных вод, тем больше массы ЗВ поступает в реку.

Некоторые биогенные вещества тесно связаны с площадью сельскохозяйственных полей за конкретный год. Это нитриты, нитраты и общее железо. Увеличение площади полей приводит к росту указанных веществ. Так, для нитритов коэффициент корреляции равен 0,88. Сток железа с сельскохозяйственных полей увеличивается в результате постоянной вспашки полей. Этот процесс приводит к поднятию грунта, который содержит большое количество железа. Во время снеготаяния или выпадения жидких осадков это железо смывается в речную сеть.

Содержание масс ХПК, БПКполн., взвешенных веществ в реках тесно коррелирует со среднегодовым расходом воды. Так, например, БПК полн. имеет коэффициент корреляции, равный 0,93.

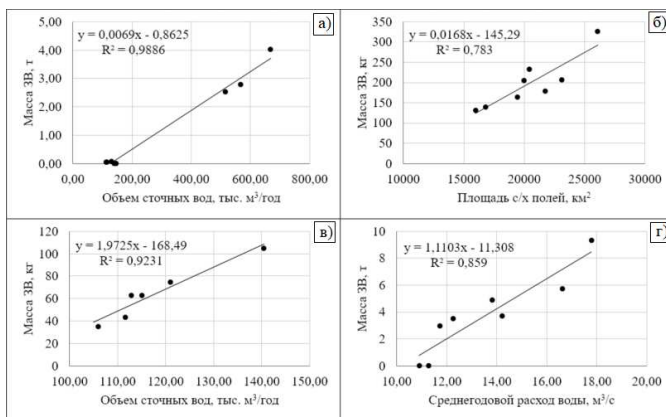


Рис. 4. Зависимость массы ЗВ от формирующих ее факторов
а) азот общий; б) нитриты; в) СПАВ; г) БПК полн.

Таким образом, масса загрязняющих веществ (ЗВ) в реке может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от факторов, которые теоретически можно учесть разными способами. Установлена закономерность: чем больше по объему и площади влияющий параметр, тем больше масса ЗВ в реке, и наоборот.

Выводы

Установлено, что поверхностный сток за последние 45 лет повторяет динамику роста температуры воздуха и атмосферных осадков. Рост температуры за этот промежуток в среднем составил 1°C. Атмосферные осадки в большей степени стали выпадать в жидком виде, за счет увеличения продолжительности теплого периода года. Благодаря этому сток г/п Тулва-Барда за период 1976–2021 гг. увеличился на 2,3 м³/с (17%) по сравнению с периодом 1937–2021 гг.

Сток загрязняющих веществ связан не только с увеличением поверхностного стока, но и с площадью сельскохозяйственных полей и объемом сточных вод, попадающих в поверхностные и подземные воды. Динамика увеличения этих факторов приводит к росту массы загрязняющих веществ в воде, что в конечном итоге приводит к ухудшению качества воды в водных объектах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-17-00224 «Формирование гидролого-геохимических процессов на водосборах каскадов Верхне-Волжских и Камских водохранилищ при различных сценариях землепользования и изменениях климата на их территориях».

Библиографический список

1. Данилов-Данильян В.И. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения. / Коллективная монография под рук. В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с.
2. Кондратьев С.А. Оценка возможных антропогенных изменений стока и выноса биогенных элементов с малых водосборов лесной зоны на основе математической модели. // Водные ресурсы. М.: 1990. № 3. С. 24–32.
3. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: Аналитический обзор / СО РАН ГПНТБ. Ин-т водных и экол. проблем. Барнаул. 2000. 130 с.
4. Слабунова, А.В. Суровикина А.П. О проблеме диффузного загрязнения водных объектов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. Ростов-на-Дону. 2020. № 2(38). С. 124–139.
5. Соболев С.В. Водохранилища в окружающей среде. В двух книгах Н. Новгород: ННГАСУ, 2022. Книга 2. 406 с.
6. Ясинский, С.В. Гуров Ф.Н. Метод оценки характеристик диффузного загрязнения малых рек на основе ландшафтно-гидрологического подхода (на примере р. Истры) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. М.: 2006. № 2. С. 41–72.
7. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М: 2023. 104 с.
8. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс] URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=1145>(дата обращения: 01.03.2024).
9. Архив погоды [Электронный ресурс] URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 27.02.2024).
10. Водный режим рек ЕТР [Электронный ресурс] URL: <https://autolab.geogr.msu.ru/hydrograph/>(дата обращения: 31.03.2024).
11. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/munst.htm>(дата обращения: 25.03.2024).
12. Цифровая модель рельефа SRTM [Электронный ресурс] URL: <https://www.dwtkns.com/srtm30m/> (дата обращения: 01.04.2024).

А.С. Фотина, О.В. Ларченко, larhchenko@yandex.ru

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

МОРФОДИНАМИЧЕСКИЕ ТИПЫ РУСЕЛ ПРИТОКОВ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Не вызывает сомнений актуальность изучения русловых процессов на реках, впадающих в водохранилища, поскольку твердый сток является одним из основных факторов их заиления. Бассейн Камского водохранилища отличается особенностями геоморфологии, климата и формированием стока рек. Наличие равнинной, предгорной и горной частей, расположенных в пределах почти всех природных зон (от тайги до степей), создает разнообразие форм проявления русловых процессов. В работе на примере двух притоков Камского водохранилища дана характеристика их морфодинамических типов. В качестве объектов выбраны лево- и правобережный притоки, характеризующихся разными физико-географическими условиями.

Ключевые слова: русловые процессы, устойчивость русла, русловой рельеф, физико-географических факторов.

A. Fotina, O. Larchenko, larhchenko@yandex.ru

Perm State University, Perm, Russia

MORPHODYNAMIC TYPES OF TRIBUTARY CHANNELS OF THE KAMA RESERVOIR

There is no doubt about the relevance of studying channel processes on rivers flowing into reservoirs, since solid runoff is one of the main factors of their siltation. The basin of the Kama reservoir is distinguished by the peculiarities of geomorphology, climate and the formation of river flow. The presence of plain, foothill and mountain parts located within almost all natural zones (from taiga to steppes) creates a variety of forms of manifestation of channel processes. In the paper, on the example of two tributaries of the Kama reservoir, the characteristics of their morphodynamic types are given. Left- and right-bank tributaries, characterized by different physical and geographical conditions, were chosen as objects.

Keywords: channel processes, channel stability, channel relief, physical and geographical factors

Для научного обоснования строительства различных гидротехнических сооружений (например, гидроэнергетических узлов, речных портов, водозаборов, переходов ЛЭП, мостовых переходов и т.д.), при реализации крупномасштабных проектов преобразования водных ресурсов необходим расчет и прогноз русловых процессов в естественных условиях и с учетом антропогенного воздействия. Каждое из сооружений оказывает то или иное влияние на динамику потоков или русловой процесс, или само находится под их влиянием.

Исследования русловых процессов на реках, впадающих в водохранилища, не менее актуальны. Твердый сток является одним из основных факторов заиления водохранилищ речными наносами. Неучет количества поступающего твердого материала может привести к негативным последствиям. Процесс заиления

больших водохранилищ равнинных рек длителен и обычно измеряется сотнями лет. На горных реках процесс заполнения водохранилищ наносами происходит значительно быстрее. Это обусловлено большими уклонами горных рек, более высокими расходами наносов (особенно при образовании селей) и меньшими объемами водохранилищ. Примером быстрого заиления водохранилищ на больших реках может служить Фархадское водохранилище на р. Сырдарья, которое было полностью заилено в течение 15 лет.

Все это требует знания русловых процессов и учета закономерностей их развития.

Среди крупных речных бассейнов ЕТР бассейн р. Камы отличается своеобразными особенностями геоморфологии, климата и формированием стока рек. Наличие равнинной, предгорной и горной частей, расположенных в пределах почти всех природных зон (от тайги до степей), создает разнообразие форм проявления русловых процессов даже в их естественном виде [1]. Здесь есть горные русла – порожиисто-водопадные, с неразвитыми и развитыми аллювиальными формами (верховья рр. Вишеры с притоками Ниолсом, Мойвой, Велвой, Язвой, Улсом, Акчимой, Яйвой, правобережные притоки Чусовой). В предгорной части на севере бассейна имеются реки полугорного типа (верхнее течение реки Косьвы и ее притоков). На востоке Русской платформы большинство рек имеют равнинный характер (рр. Иньва, Уролка, Кондас, Весляна, Вишерка). На юге – преимущество за реками полугорного типа, доля равнинных рек – меньше. На западе территории – левобережные притоки Камы – это равнинные реки.

В исследованиях влияния физико-географических факторов и гидрологического режима рек на особенности их русловых процессов приоритет принадлежит московской школе гидрологов. Наиболее полно результаты этих исследований приводятся в работах Р.С. Чалова и его соавторов. Ими выявлено, что в бассейне Камы достаточно четко выделяются районы: а) ограниченных условий развития русловых деформаций, б) свободных, а также в) с их чередованием. В каждом из них соответственно преобладают временные, широко пойменные или адаптированные русла рек [4].

К первому относится Южно-Уральский район, охватывающий западную часть Южного Урала и Уфимское плато, чему здесь способствует горный рельеф и широкое распространение трудноразмываемых осадочных и кристаллических пород, слагающих Южный Урал. Речные русла устойчивы, горизонтальные деформации почти не происходят. Поймы развиты очень слабо, непосредственно к руслам, как правило, подходят крутые борта долин (уступы террас), на которых интенсивно развиваются обвально-осыпные процессы. В руслах преобладают галечно-валунные наносы.

Севернее р. Чусовой, на склоне Уральского хребта располагается район, характеризующийся чередованием рек с врезанным и широкопойменным рус-

лом. Здесь 52% рек имеют врезанные русла, 48% – широкопойменные. Это связано с рельефом района, для которого типично чередование горных хребтов и депрессий; при пересечении первых реки образуют ущелья с врезанными излучинами, в депрессиях формируются широкопойменные русла чаще всего с синусоидальными излучинами в глинистых породах или разветвленные – в галечниках. В узких беспойменных ущельях обвальное-осыпные процессы являются важным источником поступления в русло крупнообломочного материала. В бассейне Вишеры развит карст. Уклоны рек колеблются от 0,7-1,0‰ в ущельях, до 0,3-0,5‰ – в депрессиях. Наносы на всех реках в основном галечные и галечно-валунные. Поймы в ущельях практически отсутствуют.

Невысокий Центральный Урал (верховья р. Чусовой) и его предгорье вплоть до меридионального отрезка Камы на западе и р. Косьвы на севере характеризуется меньшими уклонами рек (0,3-0,5‰) и, соответственно, большей долей песчано-галечных и песчаных наносов. Здесь явно преобладают широкопойменные русла, хотя доля врезанных русел достаточно заметна (25%); горные реки отсутствуют. Высокие в сравнении с другими равнинными районами уклоны рек обуславливают среди широкопойменных значительную долю прямолинейных русел, однако наиболее распространены на реках сегментные излучины. Все широкопойменные реки имеют в основном сегментно-гривистые поймы, сложенные рыхлыми супесями и песками; пойменные берега размываются со скоростью 2-3 м/год [3].

Целью настоящего исследования является характеристика морфодинамических типов некоторых лево- и правобережных притоков Камского водохранилища, характеризующихся разными физико-географическими условиями. Информационной базой исследования послужили картографические данные «Морфология и динамика русел рек европейской части России и сопредельных государств» (М 1:2000000), полученные географическим факультетом МГУ [3]. Легенда карты довольно обширна и, помимо схемы размещения условных обозначений на изображениях речных русел и крупных водохранилищ, включает следующие пояснения к используемым условным обозначениям: общие характеристики рек (ширина русла в метрах; речной сток в замыкающем створе; морфологические характеристики извилистых русел; условия формирования русел, которые включают в себя такие разделы, как районирование по уклонам и районирование по геолого-геоморфологическим условиям развития русловых деформаций; руслообразующие наносы и неречные факторы формирования русла, к которым относятся состав русловых наносов и склоновые процессы, влияющие на развитие рек; хозяйственное освоение и изменение рек; информация о морфогенетических и геоморфологических типах рек. Карта также имеет большой раздел, содержащий информацию о русловых процессах, который включает в себя: особенности морфологии днищ речных долин; морфологические типы русел (по классификации МГУ); преобладающие формы руслового рельефа (для рек

шириной более 50 м); комплексы форм и формы руслового рельефа; информацию об узлах слияния, взаимодействии потоков сливающихся рек и о соотношении среднегодовых расходов воды главной реки и притока; интенсивность смещения берегов различных типов и различного геологического строения; данные о морфологии и динамике руслового рельефа, а именно амплитуда форм руслового рельефа (м) и средняя скорость смещения гряд (м/год); показатель устойчивости русла и его значение. Устойчивость русла в интегральном виде характеризует интенсивность русловых переформирований и выражается в виде *числа Лохтина* $L = \frac{d_{cp}}{H}$, которое широко используется для сравнительной оценки устойчивости русел рек или отдельных их участков [5].

В качестве примера *левобережного притока* рассмотрим р. Вишеру. Особенностью морфологии днища ее речной долины являются прямолинейные очертания дна долины или пояса меандрирования (разветвления). Число Лохтина (показатель устойчивости русла) в районе протекания реки принимает значение 4,0, это говорит о том, что русло слабоустойчивое. Для большей точности описания остальных русловых характеристик р. Вишера, ее течение целесообразно разделить на три части: верхнее (до впадения р. Велс), среднее (после впадения р. Велс и до впадения р. Язьва) и нижнее (после впадения р. Язьва и до устья).

Ширина русла в районе истока реки небольшая (менее 50 м). Далее, верхнее течение имеет ширину русла, не превышающую 100 м. В среднем и нижнем течениях река становится шире, ее размеры варьируются от 100 м до 300 м. В нижнем течении река довольно извилиста. Радиус кривизны излучин в среднем составляет 800 м, а степень их развитости – 1,59 км. Излучины здесь принимают петлеобразный, сегментный вид.

Районирование по уклонам показало, что в верхнем течении Вишера принимает вид горной реки с уклонами, местами более 2-3 или 5-6 ‰. Левый берег в среднем течении реки на небольшом протяжении относится к горному району, далее становясь полугорным (как и правый берег), с уклонами 0,5-6 ‰. Приближаясь к концу среднего течения, река становится равнинной, с уклонами более 0,30 ‰. В районе впадения р. Язьвы уклоны водной поверхности уменьшаются, и на оставшейся части среднего течения, а также на всем протяжении нижнего течения составляют 0,15-0,30 ‰.

Районирование по геолого-геоморфологическим условиям русловых деформаций показало, что верхнее и среднее течения р. Вишера относятся к району с ограниченными условиями развития русловых деформаций в горах, на возвышенностях и денудационных равнинах, сложенных с поверхности скальными породами. Недалеко от впадения р. Язьвы и далее в нижнем течении Вишеры наблюдается чередование свободных и ограниченных условий развития русло-

вых деформаций на возвышенностях, кряжах, денудационных и пластовых равнинах, сложенных скальными породами, перекрытыми маломощными толщами рыхлых отложений, то есть долина реки выработана в скальных породах.

На реке представлены различные морфологические типы русел. На некотором протяжении от истока русло принадлежит горному типу с развитыми аллювиальными формами. Далее идет участок, характеризующийся полугорным широкопойменным типом русла с вынужденными и адаптированными излучинами, одиночными разветвлениями и прямолинейными участками (в том числе, с односторонними разветвлениями). Местами этот участок имеет вид врезанного прямолинейного русла. Ближе к концу верхнего течения русло имеет полугорный врезанный тип с излучинами и разветвлениями.

На протяжении примерно половины среднего течения, после впадения р. Улс, Вишера имеет полугорный врезанный тип русла, на котором прямолинейные участки чередуются с излучинами и разветвлениями. Далее русло на небольшом протяжении имеет равнинный характер и является широкопойменным, с вынужденными и адаптированными излучинами. После, снова приобретает врезанный вид с наличием излучин и прямолинейных участков. Ближе к месту впадения р. Язвы пойма становится широкой, с прямолинейными (в том числе односторонние разветвления) участками петлеобразными, сегментными излучинами.

В нижнем течении Вишера полностью принимает вид равнинной широкопойменной реки. В месте впадения р. Язвы русло имеет петлеобразные, сегментные излучины. Наблюдается продольно-поперечное смещение, чередующееся на оставшемся протяжении реки с прямолинейными участками, в числе которых присутствуют односторонние разветвления. Близ впадения в Каму отмечаются пологие и прорванные излучины, а русло становится разветвленно-извилистым, с явным продольным смещением.

Преобладающие формы руслового рельефа в районе истока реки определить невозможно, так как его ширина менее 50 м. Далее, преобладающей формой руслового рельефа верхнего течения является безгрядовое русло с периодическим развитием грядовых форм и дефицитных гряд. В среднем течении наблюдается некое чередование ленточных гряд и безгрядового русла. Преобладающей формой руслового рельефа нижнего течения считаются побочни.

К комплексам форм и крупным формам руслового рельефа также относятся перекатные участки, которые отмечаются в более широкой части верхнего течения. Большое количество перекатных участков наблюдается между впадениями рек Велс и Улс, а также чуть ниже впадения р. Улс.

В узлах слияния с р. Колвой и р. Камой (нижнее течение) отмечается внутренняя дельта. В месте впадения р. Колвы наблюдается переменный подпор, а в месте впадения в р. Каму на Вишере отмечается постоянный подпор главной рекой.

Процентное соотношение среднегодовых расходов воды главной реки и притока определяется только в нижнем течении, в месте впадения Колвы в Вишеру и в месте впадения Вишеры в Каму, и варьируется от 30 до 60%.

Интенсивность смещения берегов различных типов и различного геологического строения на Вишере не высокая. Ниже истока берега имеют террасовый тип и сложены песчаными породами. Далее, в верхнем течении идет периодическая смена берегов русла, сложенных горными породами с различной противозэрозийной устойчивостью. В основном это супесчаные и песчаные породы, реже – галечные. Берега стабильны, либо имеют средние скорости смещения менее 2 м/год.

Левый берег почти на всем протяжении среднего течения характеризуется частой и периодической сменой пойменных и террасовых типов берегов, сложенных горными породами с различной противозэрозийной устойчивостью (в основном это супесчаные, песчаные и галечные породы). Правый берег среднего течения по геоморфологическому типу и литологии можно поделить на три равных, сменяющих друг друга части. Сначала идет берег террасового типа, сложенный супесчаными и песчаными породами. Далее, начинается чередование этого типа с пойменным, литология которого представлена глинами и суглинками. После, тип берега снова становится полностью террасовым, представленный супесчаными и песчаными породами. В районе впадения р. Язьвы оба берега приобретают пойменный тип со слагающими суглинистыми и глинистыми породами. Правый берег среднего течения стабилен, а скорости смещения левого – менее 2 м/год.

Берега нижнего течения Вишеры относятся к пойменному типу. Слагают их супесчаные, песчаные и галечные породы. Средние по участку скорости смещения берегов здесь варьируются от 2 до 5 м/год.

Состав русловых наносов на большом протяжении верхнего течения представлен выходами глинистых коренных пород на дне. Для конца верхнего течения и начала среднего характерны скальные выходы коренных пород на дне. Далее, среднее течение состоит из сменяющих друг друга по длине галечных, песчано-галечных, а к концу – песчаных русловых наносов. В составе нижнего течения наблюдаются песчаные наносы.

Склоновые процессы, влияющие на развитие реки, на Вишере представлены двумя типами – это обвальное-осыпные процессы и наличие карста в русле. В верхнем течении у истока отмечаются обвальное-осыпные процессы, а когда ширина реки становится более 50 м, на левом берегу имеется карст в русле. В среднем течении Вишеры на обоих берегах периодически встречаются обвальное-осыпные процессы, а недалеко от впадения р. Улс, на правом берегу – карст в русле.

В качестве примера *правобережного притока* рассмотрим р. Обву. Число Лохтина (показатель устойчивости русла) в районе протекания реки принимает

значение 70,0, это говорит о том, что русло явно устойчивое. Для большей точности описания остальных русловых характеристик р. Обва, ее течение целесообразно разделить на три части: верхнее (до впадения р. Сива), среднее (после впадения р. Сива до впадения р. Нердва) и нижнее (после впадения р. Нердва до устья).

Особенностью морфологии днища речной долины реки в верхнем течении являются прямолинейные очертания дна долины или пояса меандрирования (разветвления), которые периодически на небольшом протяжении сменяются макроизлучинами или изгибами пояса меандрирования (разветвления). Среднее же течение, наоборот, в морфологическом аспекте днища речной долины состоит в основном из макроизлучин или изгибов пояса меандрирования, которые к концу среднего течения начинают чередоваться с прямолинейными участками. Нижнее течение в основном состоит из прямолинейных участков и одиночных разветвлений. Ширина русла реки на всем протяжении небольшая (менее 50 м). В верхнем течении радиус кривизны излучин в среднем составляет 55 м, а степень их развитости – 1,88 км. Излучины здесь принимают петлеобразный, сегментный вид.

Районирование по уклонам показало, что в верхнем течении Обва принимает вид полугорной реки с уклонами 0,5-6 ‰. К концу верхнего течения она переходит в категорию равнинных рек с уклонами более 0,30 ‰. В среднем и нижнем течениях уклоны уменьшаются до 0,15-0,30 ‰. Районирование по геолого-геоморфологическим условиям русловых деформаций показало, что верхнее и среднее течения р. Обва относятся к району со свободными условиями развития русловых деформаций на равнинах и низменностях, сложенных мощными толщами рыхлых отложений. Лишь со второй половины среднего течения на правом берегу и на всем протяжении нижнего течения отмечаются свободные условия развития русловых деформаций на цокольных и моноклиальных равнинах и возвышенностях, сложенных скальными и глинистыми породами, перекрытыми соизмеримой с глубиной вреза долин толщей рыхлых пород (долины достигают кровли коренных пород).

На реке представлены различные морфологические типы русел. На некотором протяжении от истока русло принадлежит к полугорному типу, прямолинейное, с односторонними разветвлениями. Далее идет участок, характеризующийся широкопойменным типом русла с петлеобразными, сегментными излучинами (продольно-поперечное смещение). В среднем течении равнинное русло реки вновь становится прямолинейным, с наличием односторонних разветвлений, чередуясь с участками петлеобразных, сегментных излучин, наблюдается продольно-поперечное смещение. Чуть дальше по течению от с. Карагай наблюдаются пологие и прорванные излучины, в том числе разветвлено-извилистое русло (продольное смещение). Нижнее течение является равнинным и широко-

пойменным, на нем присутствует небольшой участок с петлеобразными, сегментными излучинами, который сменяется прямолинейным участком до места впадения в Камское водохранилище.

Преобладающие формы руслового рельефа реки определить невозможно, так как ее ширина менее 50 м. Слияние с основными крупными притоками является простым (бездельтовым).

Интенсивность смещения берегов различных типов и различного геологического строения на Обве средняя. Верхнее течение имеет пойменный тип и сложено суглинками и глиной, со скоростями смещения берегов 2-5 м/год. В начале среднего течения идет чередование террасовых коренных берегов суглинистой, глинистой и галечной литологии с пойменными берегами суглинистой и глинистой литологии. Скорости смещения берегов здесь уменьшаются, становясь менее 2 м/год. Оставшаяся половина среднего течения имеет более высокие скорости смещения берегов (2-5 м/год). Справа идет частая и периодическая смена берегов русла, сложенных горными породами с различной противоэрозионной устойчивостью, а левый берег относится к пойменному типу, сложен супесчаными, песчаными и галечными породами. Аналогичная ситуация и величина скоростей смещения берегов прослеживается и в нижнем течении реки. Состав русловых наносов в верхнем течении и части среднего течения представлен песчано-илистыми породами. С середины среднего течения и всем нижнем течении наносы песчано-галечные.

Таким образом, анализируя морфодинамические типы лево- и правобережных притоков Камского водохранилища, можно сделать предварительные выводы:

На левобережных притоках большую часть русла занимают прямолинейные участки, извилистость появляется в основном в нижнем течении реки. Большие площади занимают ограниченные условия развития русловых деформаций в горах, на возвышенностях и денудационных равнинах, сложенных с поверхности скальными породами. Интенсивность смещения берегов небольшая: она нарастает от стабильных берегов в верхнем течении до 2-5 м/год в нижнем течении. Правобережные притоки начинают меандрировать уже в верхнем течении. На них встречается большое количество стариц. На реках отмечаются свободные условия развития русловых деформаций на равнинах и низменностях, сложенных мощными толщами рыхлых отложений. Скорости смещения берегов уже в верхнем течении достигают 2-5 м/год.

Представленная выше характеристика морфодинамических типов притоков Камского водохранилища (на примере рр. Вишеры и Обвы) является лишь началом исследования русловых процессов бассейна Камы. Стоит отметить, что основой для характеристики морфодинамических типов русел послужили дан-

ные, полученные географическим факультетом МГУ по результатам исследований 60-70-х годов. Современные космоснимки и данные дистанционного зондирования позволят актуализировать и уточнить полученные ранее выводы.

Библиографический список

1. Бутаков Г.П., Назаров Н.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Условия формирования русел и русловые деформации на реках бассейна р. Камы // Эрозионные и русловые процессы. М.: МГУ, 2000. Вып. 3. С.138-148.

2. Двинских С.А., Девятков А.В., Девяткова Т.П., Китаев А.Б., Ларченко О.В., Морозова Г.В. Русловые процессы в условиях техногенной нагрузки (на примере рек Пермского края): монография. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2012. 148 с.

3. Морфология и динамика русел рек Европейской части России и сопредельных государств: Для высш. учеб. заведений / Сост. и подгот. к изд. Новосиб. картогр. ф-кой Роскартографии в 1998 г.; Геогр. ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова и др.; Спец. содерж. разработ. канд. геогр. наук Н.Н. Виноградова и др.; Сост. докт. геогр. наук Н.И. Алексеевский и др.; Отв. ред. Т.Г. Сваткова; Ред. Л.Г. Уйманова. - 1:2000.

4. Чалов Р.С., Чернов А.В. Районирование Камского бассейна по факторам и формам проявления русловых процессов на средних и крупных реках // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 1996. С.10-20.

5. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 608 с.

Н.Л. Фролова^{1,2}, А.А. Сазонов^{1,2}, frolova_nl@mail.ru

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

²Институт Физики Атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

СОДЕРЖАНИЕ И ПОТОКИ МЕТАНА В КОЛЫМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Приведены данные результатов измерений удельного потока метана и его содержания в Колымском водохранилище. Измерения удельного потока проводились методом плавучих камер, определение содержания метана в пробах – методом headspace. Обобщены материалы сезонных наблюдений 2021–2023 гг. Выявлена пространственная и сезонная изменчивость как содержания метана, так и его эмиссии.

Ключевые слова: водохранилище, гидрология, эмиссия метана.

N. Frolova^{1,2}, A. Sazonov^{1,2}, frolova_nl@mail.ru

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

²A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Science,
Moscow, Russia

METHANE CONCENTRATION AND FLUXES IN KOLYMA RESERVOIR

The article presents data on the results of measurements of specific methane flux and methane content in the Kolyma reservoir. Specific flux measurements were carried out by the floating chamber method, methane content in samples was determined by the headspace method. The article summarizes the materials of the archive of seasonal observations for 2021-2023. Spatial and seasonal variability of both methane content and methane emission is revealed.

Keywords: reservoir, hydrology, methane fluxes.

Введение

Проведенное исследование является частью общей работы, направленной на определение баланса парниковых газов для ряда водохранилищ России энергетического назначения, разработку и обоснование национальной методики по определению баланса парниковых газов водохранилищ. Такое исследование проводилось в течение трех лет по заказу Русгидро. В качестве одного из водохранилищ рассматривалось Колымское.

Колымское водохранилище располагается в Магаданской области на р. Колыма у пос. Синегорье. Водохранилище было образовано путем создания Колымской гидроэлектростанции им. Ю. И. Фриштера в 7 км выше по течению пос. Синегорье Ягоднинского района. Данная гидроэлектростанция является основой энергетики Магаданской области, так как ее доля составляет более 95%. Водосбор водохранилища полностью расположен в области сплошного распространения многолетней мерзлоты. Водоем является глубоким в силу орографии окружающей местности.

Среди проблем, связанных с созданием и функционированием водохранилищ, в настоящее время особое место отводится оценке возможной эмиссии парниковых газов, в особенности метана и углекислого газа, что может вносить вклад в глобальные климатические изменения. Но, несмотря на наличие многих работ по оценкам эмиссии метана с поверхности водохранилищ, данный вопрос остается открытым. При этом многочисленные исследования в различных регионах мира (преимущественно в Канаде, США, Китае и Бразилии), показали, что интенсивность этой эмиссии может существенно различаться в зависимости от возраста водохранилищ, проточности, характерной глубины, сезона наблюдений и многих других факторов. На содержание растворенных газов в воде влияют как естественные факторы и, в первую очередь, климатические и гидрологические условия, контролирующие сезонную и суточную динамику физико-химических и биохимических процессов, так и антропогенное воздействие, накладывающееся на природные факторы и процессы. Из нескольких тысяч созданных водохранилищ данные фактических натуральных наблюдений имеются только по нескольким сотням.

По разным региональным оценкам общий вклад водохранилищ в эмиссию метана значительно различается в разных источниках [1-2]. Как правило, в таких оценках используется экстраполяция значений эмиссии метана, полученных на одном или нескольких водных объектах на определенную территорию (например, климатическую зону). Но, если для водохранилищ других стран подобные оценки существуют, то для России их пока мало, а те, что есть, практически отсутствуют в глобальных базах данных. Помимо своего фундаментального значения, данная проблема имеет и практический аспект, особенно важный для России: в настоящее время отсутствует определенность в отношении углеродной нейтральности отечественных ГЭС, использующих водные ресурсы водохранилищ для выработки электроэнергии.

В 2021 г. ИФА им. А.М. Обухова РАН по заказу ПАО «РусГидро» начал трехлетний цикл исследований по теме «Измерение выбросов парниковых газов и оценка поглощающей способности гидроэнергетических объектов». Основу проекта составляют полевые измерения баланса парниковых газов, прежде всего метана, на крупных водохранилищах России с целью оценки вклада гидроэнергетических объектов страны в общую эмиссию углерода.

Проведение такого рода исследований в разные сезоны года на различных водохранилищах на единой методической основе – важнейшая научная задача, имеющая новизну и практическую значимость. Несмотря на значительное количество гидротехнических сооружений, подобные исследования в нашей стране практически отсутствуют. Среди исследуемых объектов было и Колымское водохранилище, такого рода исследования были проведены впервые.

Материалы и методы исследования

Для определения пространственно-временной изменчивости содержания и удельных потоков метана на водоемах в различные сезоны (в том числе во время ледостава) выполнялись съемки на опорных станциях. Выбор мест для отбора

проб и измерений эмиссии метана был осуществлен с учетом ряда требований: по возможности измерения проводились на фарватере, над первоначальным руслом р. Колымы и над территорией затопленной поймы. Производились измерения вертикального распределения температуры воды, растворенного кислорода, электропроводности (зонды YSI ProOdo и Pro30 с точностью 0.2°C, 0.1 мг/л, 1 мкСм/см соответственно). Отбирались также пробы воды на содержание общего органического углерода.

Удельный поток метана в атмосферу определялся с катера типа «Ярославец» методом плавучих камер [3]. Суть метода заключается в постановке на поверхность воды герметичных пластиковых камер с поплавками (время экспозиции, как правило не более 1 часа, площадь основания камер 0.065-0.083 м², объем – 0.006-0.009 м³). В склянки, заполненные насыщенным раствором NaCl, шприцом отбирается воздух из камеры в начале и в конце времени экспозиции. Раствор поваренной соли необходим, чтобы исключить возможность растворения метана в воде, а также для ингибирования микробиологической деятельности. Значения удельного потока метана определялось по разности концентрации метана в камере в начале и в конце эксперимента. Определение концентрации метана в пробах воды производился методом headspace [3]. Пробы воды отбирались с поверхности, у дна, выше и ниже слоя температурного скачка при его наличии. Содержание метана в отобранных пробах определялось в Институте физики атмосферы РАН на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором Хроматэк-Кристалл 5000.2.

Отбор проб донных отложений производили дночерпателем Экмана-Бэрджа, анализ производился для верхнего слоя грунта толщиной не более 10 см. Определения содержания органического вещества в донных отложениях водохранилищ производили методом потерь веса при прокаливании (ГОСТ 23740-2016).

На каждой станции производились измерения метеопараметров (скорости ветра, температуры воздуха, атмосферного давления) с использованием портативной метеостанции Kestrel.

На Колымском водохранилище проведены 4 экспедиции в разные сезоны года – 1-19 сентября 2021 г., 1-15 апреля 2022 г., 4-22 августа 2022 г., 7-25 августа 2023 г. Выбор мест для отбора проб и измерений эмиссии метана был осуществлен с учетом ряда требований: по возможности измерения проводились на фарватере, над первоначальным руслом р. Колымы и над территорией затопленной поймы. Кроме того, отбирались пробы в устьях основных притоков, впадающих в водохранилище. Число станций изменялось от 7 в зимний период, когда толщина льда достигала 2 м и более, до 21 в летний период.

Анализ результатов

Во время *летних* экспедиционных работ уровень воды был относительно высокий, близкий к НПУ. Распределение температуры соответствует периоду прямой температурной стратификации. На большей части акватории Колымского водохранилища в поверхностном слое содержание кислорода составляло

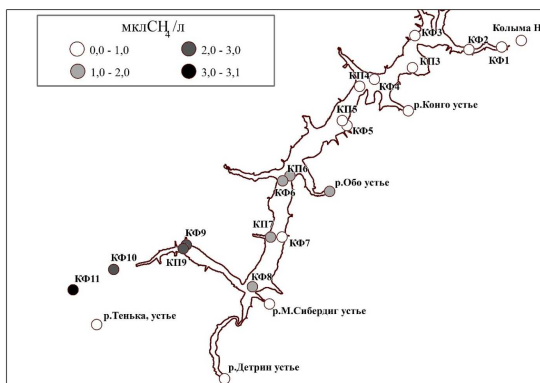
7-10 мг/л. В придонных слоях дефицита кислорода не наблюдается, однако, в наиболее глубоких местах он составляет 30-40% насыщения. Электропроводность воды составляет 80-90 мкСм/см и закономерно увеличивается ко дну до 150 мкСм/см в пределах глубоких участков и до 110 мкСм/см – более мелких. Полученные данные подтверждают особенности его гидроэкологического режима: олиготрофный статус, относительно низкую температуру воды в придонных слоях в течение всего года, относительно благоприятный кислородный режим.

В среднем за три летних сезона концентрации растворенного метана оказались невелики (таблица) (по сравнению с другими исследуемыми водными объектами [4]), при этом выявлены пространственные закономерности его изменения (рисунок). От плотины к верховьям водохранилища концентрация увеличивается от 0,5-1,0 до 2-5 мклСН₄/л. У дна концентрация также возрастает. Концентрация метана в поверхностном слое в устьях рек, впадающих в водохранилище, крайне мала.

Поток метана в целом невелик, средний (удельный) поток составляет 1-3 мгСН₄/м²/сут. Одна из съемок была проведена в период ледостава. Толщина льда в районе нижней и средней части водохранилища была более 2 м. Уровень воды был низким, соответствовал периоду зимне-весенней сработки водохранилища. Концентрация метана в воде значительно больше летних показателей и в среднем составила 12,07 мклСН₄/л.

Сводная таблица полученных результатов наблюдений на Колымском водохранилище (все данные относятся к периоду экспедиции)

Даты (период экспедиции)	1-19.09. 2021 г.	1-16.04. 2022 г.	4-22.08. 2022 г.	7-25.08. 2023 г.
Уровень воды, м	448,44	436,4	448,64	449,23
Площадь водохранилища при текущем уровне, км ²	421	304	423	427
Средний (удельный) поток мгСН ₄ /м ² /сут.	3,67	-	0,92	1,27
Валовый (суммарный со всего водохранилища) поток, т СН ₄ /сут	1,56	-	0,4	0,5
Средняя концентрация метана в воде, мклСН ₄ /л	4,42	12,07	1,01	1,55



Распределение концентрации метана в поверхностном слое Колымского водохранилища в августе 2023 г.

Выводы

Анализ результатов полевых исследований показывает, что донные отложения, являющиеся основным источником метана, содержат мало органического вещества (для преобладающей части водохранилища не более 10%), поэтому его содержание в толще воды невелико (в среднем не более 4 мклСН₄/л летом и 12 мклСН₄/л зимой). Содержание органического углерода в воде достаточно небольшое – 4-5 мгС/л и мало меняется от года к году. Почти все приходится на растворённую форму. Это способствует формированию низкого удельного потока метана с поверхности (1-3 мгСН₄/м²сут). Эмиссия метана со всей поверхности водохранилища составила 0,4-0,5 т СН₄/сут в летний период 2022-2023 гг. т 1,56 т СН₄/сут в 2021 г.

Полевые исследования на водохранилище выполнены при поддержке ПАО РусГидро (договор 1010-416-2021 от 26.04.2021), анализ результатов - при поддержке гранта РФФ № 24-17-00084.

Библиографический список

1. *Bastviken D., Tranvik L., Downing J., Crill P., Enrich-Prast A.* Freshwater Methane Emissions Offset the Continental Carbon Sink // *Science*. 2011. Vol. 331. Pp. 6013–6063.
2. *Li S., Zhang Q.* Carbon emission from global hydroelectric reservoirs revisited // *Environmental science and pollution research international*. 2014. Vol. 21. Pp. 131–137.
3. *Deemer B., Harrison A., Li S., Beaulieu J., Delsonro T.* Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis // *BioScience*. 2016. Vol. 66. № 11. Pp. 949–964.
4. *Ретина И.А., Терский П.Н., Горин С.Л., Агафонова С.А., Ахмерова Н.Д., Василенко А.Н., Гречушников М.Г., Григорьев В.Ю., Казанцев В.С., Лусина А.А., Ломов В.А., Мишин Д.В., Сазонов А.А., Степаненко В.М., Соколов Д.И., Тимошенко А.А., Фролова Н.Л., Шестеркин В.П.* Натурные измерения эмиссии метана на крупнейших водохранилищах России в 2021 г. начало масштабных исследований 2021 г. // *Водные ресурсы*. 2022. Т. 49. № 6. С. 713–718. Doi: 10.31857/S0321059622060141.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СНЕГОТАЯНИЯ НА ВОДОСБОРЕ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В АНОМАЛЬНЫЙ 2020 Г.

Выполнены расчеты процесса снеготаяния на водосборе Камского водохранилища с использованием разработанной геоинформационной модели на примере аномального 2020 г. Неустойчивый характер погоды, возвраты холодов и влияние высотной поясности способствовали тому, что большие запасы снега на севере и в горной части водосбора Камского водохранилища сохранились до середины мая. Интенсивное потепление в конце первой декады мая до +20°C привело к быстрому стаиванию оставшегося снежного покрова и формированию исторических максимумов весеннего половодья на реках. Получено высокое совпадение расчетных величин снегозапаса по модели с данными снегомерных съемок в период таяния снежного покрова. Верификация результатов моделирования снегозапаса выполнена по рассчитанным значениям относительной погрешности моделирования δ , средняя величина которой составила 16,8%.

Ключевые слова: снеготаяние, ГИС-технологии, моделирование снегозапаса.

A. Shaydulina, V. Kalinin
adelinash89@mail.ru, vgkalinin@gmail.com
Perm State University, Perm, Russia

SNOWMELT MODELING IN THE CATCHMENT AREA OF THE KAMA RESERVOIR IN ANOMAL YEAR 2020

Calculations of the snow melting process in the catchment area of the Kama Reservoir were carried out using the developed geoinformation model on example of the anomalous year 2020. The unstable weather, the return of cold air temperatures and the influence of altitudinal zones contributed to the fact that large reserves of snow in the north and in the mountainous part of the catchment area of the Kama Reservoir remained until mid-May. Intense warming at the end of the first ten days of May to +20°C became the reason to the rapid melting of the remaining snow cover and the formation of historical maximums of spring floods on the rivers. A high agreement between the calculated snow reserve values according to the model and the data from snow surveys during the period of snow melting was obtained. Verification of the results of snow cover modeling to the data of meteorological stations has been calculated using the calculated values of the relative modelling error δ , the average value of which was 16.8%.

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

Введение

Изучение закономерностей снеготаяния является важным этапом для комплексной оценки объема и продолжительности весеннего половодья. Процесс снеготаяния определяется группой факторов, к важнейшим из которых относятся метеорологические условия и физико-географические особенности водосбора

(залесенность, высотное положение, экспозиция склонов, почвенно-растительный покров и др.), детальный учет которых дает возможность существенно увеличить точность оценки таяния снежного покрова в конкретном году в пределах любого речного бассейна.

Актуальность

В Пермском крае насчитывается более 29000 рек, на берегах которых расположено большинство населенных пунктов региона. Реки Пермского края имеют преимущественно снеговое питание, на долю талого стока приходится от 55 до 70%. Ежегодно ряд территорий в Пермском крае испытывает негативные последствия, связанные с прохождением весеннего половодья. Выявление особенностей процесса снеготаяния в аномальные годы является важным, поскольку интенсивное таяние снега может приводить к формированию катастрофических половодий. Одним из таких выдающихся аномальных лет в последние десятилетия явился 2020 г., когда на севере и в горной части региона половодье оказалось самым высоким за всю историю наблюдений. Наиболее масштабные затопления наблюдались в поселках Гайнского района. На рр. Кама, Весляна, Колва и Вишера уровень воды достиг абсолютного максимума за всю историю наблюдений. Оказались затоплены почти 20 населенных пунктов.

Материалы и методы исследования

Подходы к расчетам снеготаяния известны с середины прошлого века [1-2; 5-8; 11] и основаны на методах водного и теплового баланса в период снеготаяния. Расчеты снеготаяния являются частью моделей формирования речного стока [9], в которых широко применяются ГИС-технологии [9-10]. В работе при моделировании снеготаяния за основу принят метод температурных коэффициентов В.Д. Комарова [6], адаптированный Н.Д. Лебедевой для бассейна Камского водохранилища [8] и усовершенствованный с применением ГИС-технологий. Для этого разработана геоинформационная модель снеготаяния [12-13], принцип работы которой подробно рассмотрен в [3-4].

Исходными метеорологическими данными являются максимальный снегозапас и дата его наступления для поля и леса, среднесуточные температура воздуха и осадки в период таяния снежного покрова. Картографические данные о рельефе и сведения о залесенности территории приняты по глобальной модели GEBCO_2022 Grid [14] и карте основных типов ландшафтов Global Land Cover [14].

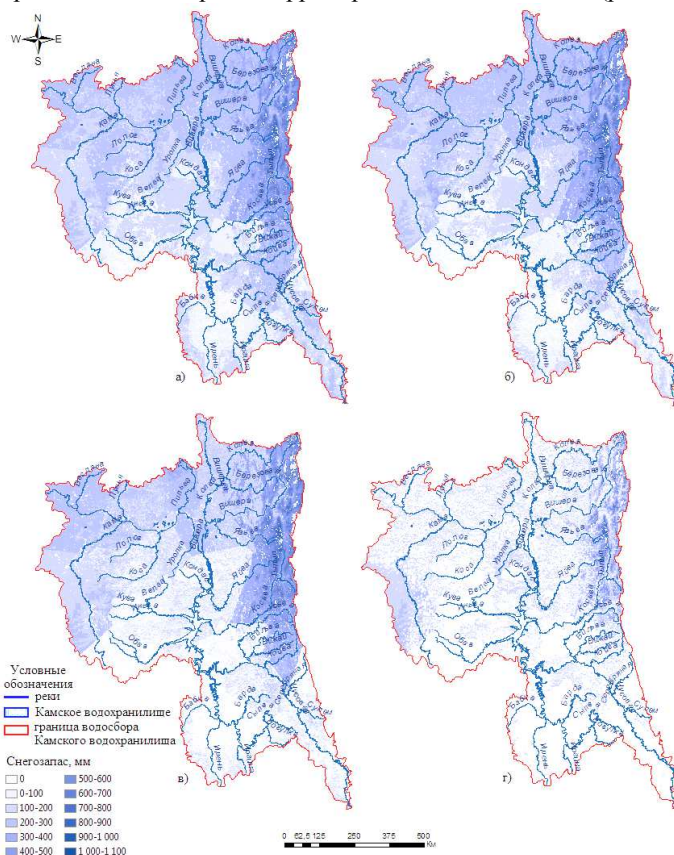
Обработка полученных результатов с применением ГИС-технологий дает возможность посуточно оценить пространственно-временную динамику снежного покрова и запаса воды в нем в годы с разными погодными условиями весеннего периода. Расчёты выполнены на примере 2020 г., отличающегося аномальными метеорологическими условиями периода снеготаяния.

Результаты и их обсуждение

Март 2020 г. впервые за всю историю наблюдений отличался положительной среднемесячной температурой воздуха. Аномально теплая погода отмеча-

лась на протяжении всего месяца, за исключением начала третьей декады. В южных частях водосбора Камского водохранилища устойчивый переход температуры воздуха через 0°C к положительным значениям произошел на три недели (10 марта) раньше нормы. В этот же период на всей территории водосбора выпали обильные осадки в виде снега, особенно в восточной (горной) части. В конце марта снегопады наблюдались также и на северо-западе территории: на МС Гайны выпало 20 мм осадков. Средняя температура воздуха в апреле была около климатической нормы ($+4^{\circ}\text{C}$). Однако месяц отличался неустойчивой погодой с потеплением до $+10^{\circ}\text{C}$ и возвратами холодов до -6°C , что повлияло на интенсивность процесса снеготаяния.

Моделирование изменения снегозапаса на водосборе Камского водохранилища весной 2020 г. показало, что в начале периода снеготаяния снег покрывал всю территорию водосбора, а наиболее высокие значения снегозапаса наблюдались в северо-восточных горных территориях – более 1000 мм (рис. 1а).



Пространственное распределение снегозапаса на водосборе Камского водохранилища в весенний период 2020 г. (а – 05.04; б – 15.04; в – 25.04; г – 10.05)

В период 10-13 апреля резкое повышение температуры воздуха привело к ускорению процесса снеготаяния и частичному сходу снежного покрова в южных и центральных частях водосбора Камского водохранилища (рис. 1б). К концу апреля эти территории полностью освободились от снега (рис. 1в). Неустойчивый характер погоды, возвраты холодов и влияние высотной поясности способствовали тому, что большие запасы снега в северной и восточной (горной) частях водосбора Камского водохранилища сохранились до середины мая. Интенсивное потепление в конце первой декады мая до +20°C привело к быстрому стаиванию оставшегося здесь снежного покрова (рис. 1г) и формированию исторических максимумов весеннего половодья на реках.

Для верификации полученных результатов расчетов использованы материалы маршрутных снегомерных съёмок, предоставленные Пермским ЦГМС. Вычислена относительная погрешность моделирования снегозапаса δ :

$$\delta = \frac{|\overline{S_m} - S_f|}{\overline{S_m}} 100\%,$$

где $\overline{S_m}$ – среднее модельное значение снегозапаса, S_f – среднее фактическое значение снегозапаса.

Получено высокое совпадение расчетных величин снегозапаса по модели с данными снегомерных съёмок в период таяния снежного покрова. Средняя величина относительной погрешности моделирования δ в 2020 г. составила 16,8%. Наибольшее расхождение наблюдалось в конце периода снеготаяния. Согласно данным Пермского ЦГМС, интенсивное потепление в 2020 г. началось 4 мая. К 10 мая снег стаял на всех МС и г/п за исключением МС Вая (29 мм), Нововильвенский (59 мм) и Рябинино (5 мм). Результаты расчетов по геоинформационной модели показали наличие снежного покрова на 10 мая на всем северо-востоке водосбора Камского водохранилища (рисунок), что подтверждается по спутниковым снимкам территории.

Таким образом, расчеты снеготаяния для аномального 2020 г. показали, что его формирование обусловлено значительным максимальным снегозапасом, затяжным периодом весны с возвратами холодов и резким интенсивным потеплением в конце первой декады мая до +20°C, что привело к формированию высокого весеннего половодья на севере и в горной части Пермского края.

Библиографический список

1. *Галахов В.П.* Условия формирования и расчет максимальных снегозапасов в горах: (По результатам исслед. на Алтае). Новосибирск: Наука, 2003. 104 с.

2. Делеур М.С., Румянцев В.А. Опыт применения корреляционного анализа для описания временной изменчивости снеготаяния в бассейне р.Дона // Труды ГШ, 1974. Вып.214. С.54–60.
3. Калинин В.Г., Суманеева К.И., Русаков В.С. Моделирование пространственного распределения снежного покрова в период весеннего снеготаяния // Метеорология и гидрология, 2019. №2. С. 74–85.
4. Калинин В.Г., Шайдулина А.А., Русаков В.С., Фасахов М.А. Математико-геоинформационное моделирование процесса снеготаяния на речных водосборах Прикамья // Лед и снег. 2022. 62 (1): С. 63–74. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2076673422010116>.
5. Капшутина Е.А., Ясинский С.В., Коронкевич Н.И. Весенний поверхностный склоновый сток на Русской равнине в годы различной водности // Известия РАН. Серия географическая. 2020. № 1. С. 37-46.
6. Комаров В.Д. О процессах формирования половодья на малой реке и предвычисления его гидрографа // Тр. ЦИП. 1947. Вып. 6 (33). С. 3–41.
7. Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 348 с.
8. Лебедева Н.Д. Расчет снеготаяния и метод краткосрочного прогноза даты наступления максимального уровня половодья на р. Каме // Тр. ЦИП, М.: Гидрометеиздат, 1959. Вып. 94. С. 15-33.
9. Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: изд. РАН, 2018. 300 с.
10. Пьянков С.В., Шихов А.Н., Михайлюкова П.Г. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды. Лёд и Снег. 2019. 59(4). С. 494–508.
11. Шутлов В.А. Расчет таяния снежного покрова // Метеорология и гидрология. 1993. № 4. С. 20-28.
12. Шайдулина А.А., Калинин В.Г., Зырянова А.Р., Русаков С.В. Геоинформационная модель снеготаяния «SnowMelt» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668602 Российская Федерация. Геоинформационная модель снеготаяния "SnowMelt" : № 2023667892 : заявл. 30.08.2023 : опубли. 30.08.2023
13. Шайдулина А.А., Калинин В.Г., Фасахов М.А., Русаков В.С. База данных для работы геоинформационной модели снеготаяния «SnowMelt» // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623110 Российская Федерация. База данных для работы геоинформационной модели снеготаяния "SnowMelt" : № 2023622806 : заявл. 30.08.2023 : опубли. 13.09.2023
14. [Электронный ресурс] URL:https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/ Дата обращения 06.07.2022.
15. [Электронный ресурс] URL: <http://www.iki.rssi.ru/books/2016bartalev.pdf> Дата обращения 06.07.2022.

Н.Г. Шерышева^{1,2}, sapfir-sherry@yandex.ru

¹ Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия
² Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И БАКТЕРИОБЕНТОС В САРАТОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В 2011, 2014, 2016 ГГ.

Определены общая численность и биомасса бактерий в донных отложениях Саратовского водохранилища в 2011, 2014 и 2016 гг. Исследованы особенности размерно-морфологической структуры бактериобентоса в летне-осенний период. Выявлена тенденция увеличения численности бактерий в период с 1997 по 2016 г. Определены содержание органического и гумусового вещества, гранулометрический состав в грунтах.

Ключевые слова: Саратовское водохранилище, донные отложения, бактериобентос, численность, биомасса, структура.

N. Sherysheva ^{1,2}

¹ Samara Federal Research Center of the RAS,
Institute of Ecology of the Volga Basin of the RAS, Togliatti, Russia
² Togliatti State University, Tolyatti, Russia

BOTTOM SEDIMENTS AND BACTERIOBENTHOS IN THE SARATOV RESERVOIR IN 2011, 2014, 2016

The total abundance and biomass of bacteria in the bottom sediments of the Saratov reservoir in 2011, 2014 and 2016 were determined. The features of the size-morphological structure of bacteriobenthos in the summer-autumn period were studied. A trend towards an increase in the abundance of bacteria in the period from 1997 to 2016 was revealed. The content of organic and humic matter and the granulometric composition in bottom sediments were determined.

Keywords: Saratov reservoir, bottom sediments, bacteriobenthos, abundance, biomass, structure

Введение

Саратовское водохранилище относится к разряду крупных водохранилищ Волжско-Камском каскада. Водоем расположен в Нижней Волге вдоль границы лесостепной и степной зон. Саратовское водохранилище отличается от водохранилищ Волжского каскада тем, что не накапливает запасы воды и представляет собой медленно текущую реку, конфигурация зеркала сохраняет изгибы реки, длина водоема составляет 348 км, наибольшая ширина – 20 км, средняя глубина – 7,3 м [1].

В функционировании водных экосистем бактериальное население донных отложений (бактериобентос) выполняет важнейшую деструкционную функцию в трансформации и круговороте вещества. В Саратовском водохранилище бактериобентос остается малоизученным биотическим компонентом в составе донного биоценоза. В соответствии с последними данными, в 1997 г. отмечался пят-

нистый характер распределения численности бактерий на разных морфометрических участках Саратовского водохранилища: общее количество бактерий в поверхностных слоях грунтов на речном участке составляло $0,3-2,7 \times 10^9$ кл/мл, на озеровидных – $1,4-2,9 \times 10^9$ кл/мл [2].

Цель настоящей работы – дать оценку количественных показателей бактерий, исследовать размерно-морфологическую структуру бактериобентосного сообщества, выявить влияние донных отложений на развитие бактериобентоса, оценить многолетнюю динамику численности бактерий.

Материалы и методы исследования

Материал для исследований собран в комплексных экспедициях Института экологии Волжского бассейна РАН в летне-осенние сезоны разных лет: в июне 2011, августе 2014 и сентябре 2016 гг. (рис. 1).

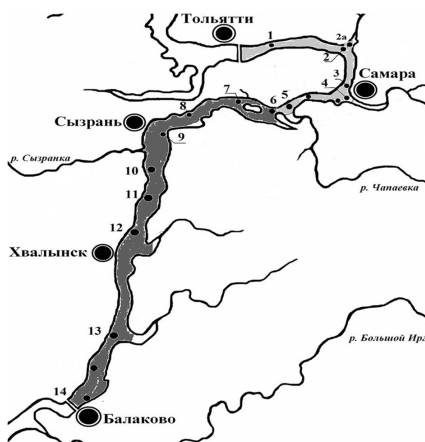


Рис. 1. Схема станций отбора проб донных отложений в Саратовском водохранилище

2011 г.: 1 – п. Ширяево, 2 – устье р. Сок, 6 – устье р. Безенчук, 8 – г. Октябрьск, 9 – г. Сызрань, 10 – п. Кашпир, 11 – п. Федоровка, 12 – р. Чагра затон.

2014 г.: 2а – перед р. Сок, 2 – устье р. Сок, 4 – устье р. Самарка, 5 – устье р. Чапаевка.

2016 г.: 1 – п. Ширяево, 3 – г. Самара, 7 – п. Печерское, 8 – устье р. Безенчук, 13 – п. Ивановка, 14 – п. Меровка.

Светло-серым цветом обозначен верхний участок водохранилища, исследованный в 2011 и 2014 гг. Темно-серым цветом обозначен район исследования в 2016 г.

Пробы бактериобентоса отбирали в поверхностных слоях донных отложений (1-5 см) дночерпателем Экмана-Берджи и микробентометром С1. Глубина отбора проб на разных станциях составляла 8-15 м. В грунтах определяли содержание органического вещества (ОВ) по потерям при прокаливании [3], содержание гуминового вещества [4], гранулометрический состав [5; 6]. В механическом составе грунтов выделяли фракции крупного песка >1 мм, среднего и мелкого песка 1,0-0,1 мм, алеврита 0,1-0,01 мм, пелита <0,01 мм [5]. Тип донных отложений определяли на основе результатов гранулометрического анализа по [5].

Определение общей численности и биомассы бактерий проводили методом флуоресцентной микроскопии с использованием красителя FITC [7]. Подсчет и измерение размеров бактериальных клеток проводили на микроскопе Leica DM5500B при увеличении $\times 1000$ в 20-ти полях зрения. Морфологию бактерий учитывали по соотношению длины и ширины клеток: кокки ($<1,2$), коккобациллы (1,2-1,8), палочки (1,8-10), нити (>10) [8]. Было промерено более 500 клеток.

Анализ результатов

Общая характеристика донных отложений. Преобладающими типами донных отложений в Саратовском водохранилище в 2011-2016 гг. являлись пески, локально включающие ракушу, черные минеральные вкрапления, наилот коричневого цвета, мелкую и среднюю гальку. В устье р. Сок и на ст. Меровка залегали тонкодисперсные илы (таблица).

Общая характеристика донных отложений Саратовского водохранилища в летне-осенний период 2011, 2014 и 2016 гг.

Станция	№	Тип донных отложений	Содержание частиц (% по массе) с размером, мм				ОВ, %	ГВ, %
			>1	1-0,1	0,1-0,01	$<0,01$		
<i>18-31 июля 2011 г</i>								
Ширяево	1	Средний песок	2,64	96,35	0,53	0,48	3,3	1,4
Устье р. Сок	2	Черный алевритовый ил	2,93	30,18	33,93	32,96	3,0	2,3
Устье р. Безенчук	6	Мелкий песок	0,84	82,07	11,13	5,96	3,1	2,0
г. Октябрьск	8	Песок	0,25	97,42	2,01	0,32	3,4	2,7
г. Сызрань	9	Песок	0,40	97,8	1,47	0,33	3,4	1,7
г. Кашир	10	средний песок	4,57	89,88	3,46	2,09	3,4	1,6
п. Федоровка	11	Крупный и средний песок	18,16	78,13	2,55	1,16	3,2	1,8
р. Чагра затон	12	Песок	2,64	96,35	0,53	0,48	3,3	1,4
<i>22-27 августа 2014 г</i>								
Перед р. Сок	2а	Средний песок	8,02	91,34	0,38	0,26	0,2	2,2
Устье р. Сок	2	Черный алевритовый ил	2,75	78,33	15,51	3,4	9,2	2,9
Устье р. Самарка	4	Средний песок	1,52	97,74	0,48	0,26	0,1	2,2
Устье р. Чапаевка	5	Средний песок	0,21	99,13	0,44	0,23	0,2	1,9
<i>9-23 сентября 2016 г</i>								
п. Ширяево	1	Песок с галькой	31,06	68,76	0,15	0,03	0,3	1,5
г. Самара	3	Мелкий песок	28,6	71,02	0,3	0,08	0,2	1,4
п. Печерское	7	Песок с коричневым налетом	2,75	97,03	0,15	0,07	0,3	1,3
Устье р. Безенчук	8	Мелкий песок	0,00	99,44	0,38	0,18	0,3	1,5
п. Ивановка	13	Песок с ракушей	2,62	92,23	2,82	2,33	0,2	1,5
п. Меровка	14	Серый ил	0,00	14,52	61,23	24,25	9,3	2,2

При микроскопическом анализе илов регистрировались тонкий детрит, мелкие алевритовые частицы, нитевидные и мелкие фрагменты разложившейся растительности.

В гранулометрическом составе грунтов преобладала фракция среднего и мелкого песка (1-0,1 мм), которая составляла 30-99% в механическом составе грунтового комплекса. Доля крупного песка с размерами частиц >1 мм изменялась от 0% до 3%, увеличиваясь на отдельных станциях до 5-31%. Тонкодисперсные алевритовые (0,1-0,01 мм) и пелитовые (<0,01 мм) частицы в песчанистых отложениях достигали 11%. В илистых отложениях устья р. Сок и на ст. Меровка в результате накопления тонкодисперсных частиц доля алевритовой фракции увеличилась до 16-62%, пелитовой – до 24-33%.

Илы наиболее обогащены органическим (9%) и гуминовым веществом (3%) по сравнению с песками (3%) благодаря способности тонкодетритных частиц сорбировать на своей поверхности органическое вещество и другие питательные элементы, необходимые для жизнедеятельности микроорганизмов.

Бактериобентос. В июле 2011 г. общая численность донных бактерий на исследованных участках составляла $2,84-3,76 \times 10^9$ кл/мл, биомасса – 122-319 мг/л сырого грунта (рис. 2). В августе 2014 г. численность бактерий в песках изменялась от $1,78 \times 10^9$ кл/мл до $2,25 \times 10^9$ кл/мл, биомасса – от 160 мг/л до 202 мг/л. Наибольшие значения численности ($N=6,78 \times 10^9$ кл/мл) и биомассы ($B=663$ мг/л) бактерий отмечены в илах в устье р. Сок. С речным стоком приносятся органическое вещество, детрит, масса питательных веществ и в местах слияния речных и водохранилищных вод создаются благоприятные условия для развития донной микрофлоры. В сентябре 2016 г. популяция донных бактерий на песчанистых биотопах не получила большого развития, возможно, в результате осеннего понижения температуры в водоеме и изменения гидрологического режима. Так, численность бактерий не превышала $0,94-3,16 \times 10^9$ кл/мл, биомасса – 49-109 мг/мл. Однако в илах п. Меровка регистрировались максимальная их численность – $N=7,6 \times 10^9$ кл/мл (рис. 2).

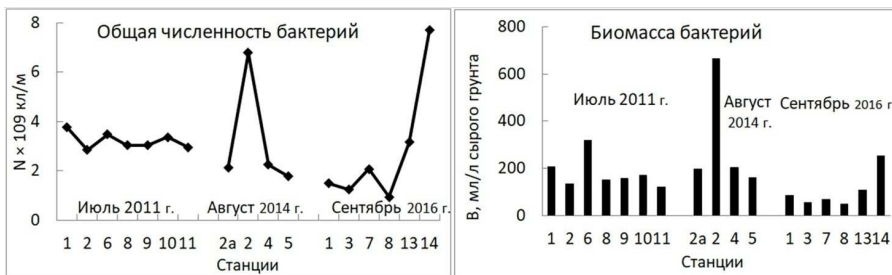


Рис. 2. Общая численность и биомасса бактерий в донных отложениях Саратовского водохранилища в 2011, 2014, 2016 гг.

Корреляционный анализ массива данных выявил достоверные связи количества бактерий с содержанием органического вещества ($r=0,95$ при $p<0, 0,05$) и алевритовыми частицами в грунтах ($r=0,73$ при $p<0, 0,05$).

Анализ развития бактериобентоса за 19-летний период показал динамику роста бактериальной популяции, что очевидно обусловлено увеличением антропогенной нагрузки на экосистему водоема. Так, диапазон численности бактерий на разных участках водоема в 1997 г. изменялся от 0,3 до $2,9 \times 10^9$ кл/мл [2], а в 2011-2016 гг. – от 0,94 до $7,68 \times 10^9$ кл/мл.

В морфологической структуре бактериобентоса в исследованные годы доминировали палочковые формы, их доля в общей численности бактерий изменялась от 64% до 91% с максимальным значением в 2014 г. Кокковые клетки и коккобациллы составляли 1-26%, наибольшего развития они достигали в песках в 2011 г. Нитевидные формы встречались в единичных количествах. Размерная структура бактериобентоса в летние месяцы в 2011 г и 2014 г. характеризовалась преобладанием клеток двух размерных классов 0,2-0,5 $\mu\text{м}$ и 0,5-1 $\mu\text{м}$ (доля в общей численности 47-63%) и увеличением в сентябре 2016 г. доли мелких клеток с линейными размерами 0,1-0,2 $\mu\text{м}$ (от 0,04% до 36%). В летне-осеннем периоде регистрировалось уменьшение объемов бактериальных клеток. Так, в июле преобладали бактериальные клетки с объемами 0,05 -0,4 $\mu\text{м}^3$ (17-28% в общей численности), в августе – с объемами 0,025-0,2 $\mu\text{м}^3$ (11-49%), в сентябре объемы бактериальных клеток уменьшились до 0,006-0,05 $\mu\text{м}^3$ (17-29%).

Выводы

Несмотря на то, что материал для исследований собран в разные сезоны и годы, прослеживаются некоторые особенности в структурной организации бактериобентоса в Саратовском водохранилище в 2011-2016 гг. Так, сохраняется известная закономерность увеличения количества бактерий от песков к тонкодисперсным илам. Выявлена тенденция увеличения численности бактериобентоса за многолетний период с 1997 по 2016 г. Показано достоверное влияние на развитие бактерий содержания ОВ и тонкодисперсных фракций в грунтах. Преобладающими формами в донном бактериальном сообществе являются палочки. Доля кокков и коккобацилл увеличивается в песчанистых отложениях. В размерной структуре бактериобентоса происходит сезонная перестройка, проявляющаяся в увеличении численности мелких клеток и уменьшении их объемов.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований по теме «Изменение, устойчивость и сохранение биологического разнообразия под воздействием глобальных изменений климата и интенсивной антропогенной нагрузки на экосистемы Волжского бассейна», № 122032500063-0.

Библиографический список

1. *Минеева Н.М.* Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус, 2009. 279 с.
2. *Дзюбан А.Н.* Деструкция органического вещества и цикла метана в донных отложениях внутренних водоемов. Ярославль: Принтхаус, 2010. 192.
3. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. Москва: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
4. *Колешко О.И.* Экология микроорганизмов почвы: Лаб. практикум. Минск: Вышш. школа, 1981. 176 с.
5. *Законнов В.В., Законнова А.В., Цветков А.И., Шерышева Н.Г.* Гидродинамические процессы и их роль в формировании донных осадков водохранилищ Волжско-Камского каскада // Труды ИБВВ РАН. 2018. Вып. 81(84). С. 35-46.
6. *Кузяхметов Г.Г., Мифтахова А.М., Киреева Н.А., Новоселова Е.И.* Практикум по почвоведению: учебное пособие. Уфа: РИО БашГУ, 2004. 120 с.
7. *Гальченко В.Ф.* Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. 500 с.
8. *Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М.* Практикум по микробиологии. М.: Издательство Академия, 2005. 608 с.

В.П. Шестеркин, shesterkin@ivep.as.khb.ru
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
г. Хабаровск, Россия

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОЛЕВОГО СОСТАВА ВОД БУРЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Представлены результаты исследований многолетней динамики (2003-2022 гг.) солевого состава вод Бурейского водохранилища. Выявлены причины, обуславливающие пространственную неоднородность содержания солей в водоеме. Отмечено равномерное содержание Na^+ и K^+ , Cl^- по акватории водохранилища, максимальная концентрация HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} ниже устья р. Тымра.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, многоводные годы, солевой состав, главные ионы.

V. Shesterkin, shesterkin@ivep.as.khb.ru
Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch of RAS,
Khabarovsk, Russia

MULTIYEAR DYNAMICS OF THE SALT COMPOSITION OF THE BUREYSK RESERVOIR WATERS

The results of studies of multi-year dynamics (2003-2022) of the salt composition of the Bureyskoye reservoir waters are presented. The reasons causing spatial heterogeneity of salt content in the reservoir are revealed. Uniform content of Na^+ and K^+ , Cl^- in the reservoir water area, maximum concentration of HCO_3^- , Ca^{2+} and Mg^{2+} below the mouth of the Tymra River is noted.

Keywords: Bureya Reservoir, high-water years, salt composition, main ions.

Введение

В последние 50 лет в бассейне Амура активно развивается гидроэнергетика. Наибольшее количество водохранилищ создано в китайской его части (Сунхуаху, Байшань и др.). В российской части бассейна общий объем воды в Зейском, Бурейском и Нижнебурейском водохранилищах достиг 91 км³.

Бурейское водохранилище – второй, после Зейского, крупный искусственный водоем в Приамурье. Площадь водосбора составляет 64 800 км², зеркала – 750 км², полный объем водохранилища при НПУ 256 м – 20,9 км³. Помимо использования энергетического потенциала реки его сооружение снизило риск возникновения наводнений, способствовало сохранению судоходства и улучшению качества воды в нижнем течении Буреи.

Наполнение Бурейского водохранилища началось в 2003 г. Солевой состав его вод в этот период формировался в условиях высокого водообмена. В 2004, 2009, 2010, 2012, 2013, 2016, 2019 и 2021-2022 гг. приток воды превышал среднемноголетнее значение (27,3 км³), максимальным был в 2019 и 2021-2022 гг.

В период заполнения водохранилища основное влияние на формирование солевого состава воды оказали сток питающих рек, затопленные леса и болота. Особенности, связанные с выработкой электроэнергии во время строительства, снизили влияние затопленных почв и растительности на качество воды. В многоводные 2021-2022 гг. появились новые данные о солевом составе вод Бурейского водохранилища. Поэтому мониторинг на этом водохранилище с первых дней появления дал возможность рассмотреть многолетнюю динамику химического состава его вод для прогнозирования солевого состава воды проектируемых Ниманского, Гилюйского, Нижне-Зейского и др. водохранилищ.

Материалы и методы исследований

Исследования осуществляли в период наполнения в 2003-2008 гг. зимой, летом и осенью – на станциях 1-5, в 2019 г. зимой и летом, 2020 г. летом – на станции 8, в 2021 г. – осенью и в 2022 г. – зимой и летом на 12 станциях (рис. 1). Пробы воды брали с поверхности, среднего и нижнего горизонтов. Аналитические работы осуществляли в ЦКП при ИВЭП ДВО РАН по принятым при гидрохимических исследованиях методам [3]. В работе использовали материалы АБВУ Агентства водных ресурсов за 2005-2022 гг.



Схема Бурейского водохранилища: 1 – Приплотинный; 2 – Чеугдинский; 3 – Мальмальтинский; 4 – Сектаглинский; 5 – Нижнетырминский; 6 – Тырминский; 7 – Нижнемельгинский; 8 – Сандарский; 9 – Солдатов; 10 – Ольский; 11 – Чекундинский; 12 – Бурейский участки.

Анализ результатов

Речные воды бассейна р. Бурья по классификации О.А. Алекина [1] относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу. До зарегулирования в 1949-1988 гг. минерализация изменялась от 15,4 до 112,2 мг/л. Наименьшие значения отмечались в 1960, 1961 и 1972 гг. в период крупных па-

водков. В летнюю межень минерализация возрастала на 10-15 мг/л, зимой в среднем составляла 61,9 мг/л. Концентрация K^+ была ниже 0,9 мг/л, Cl^- – 1,4 мг/л, незначительно отличалась от содержания в воде ледниковых озер Приамурья [2]. Содержание остальных главных ионов изменяется в широких пределах и зависит от состава подстилающих пород.

Наименьшее содержание основных ионов характерно для правых притоков Буреи (Ниман, Туюн и др.), дренирующих интрузивные и метаморфические породы хр. Турана, Дуссе-Алиня и Эзоп [7]. Содержание SO_4^{2-} находится ниже предела обнаружения, минерализация воды ниже 16,7 мг/л, что свидетельствует о преобладании в питании рек дождевых и талых снеговых вод.

Левые притоки р. Бурей (Ургал, Дубликан и др.), солевой состав вод которых формируется на западных склонах Буреинского хребта, сложенных терригенными юрскими и меловыми отложениями, отличаются более высоким содержанием главных ионов. Наибольшее содержание Ca^{2+} и Na^+ достигает 7,0 и 2,6 мг/л соответственно, HCO_3^- и SO_4^{2-} – 34 и 9,6 мг/л также соответственно [7]. Максимальные концентрации большинства главных ионов наблюдаются в реках бассейна р. Тырма в районах распространения карста. Содержание Ca^{2+} и Mg^{2+} здесь достигает 19,1 и 4,6 мг/л соответственно [4].

В начале заполнения (2003-2004 гг.) высокий водный обмен и различия солевого состава вод рр. Бурей и Тырма обусловили значительную пространственную неоднородность солевого состава воды. Минерализация воды изменялась в пределах 18,4-49,6 мг/л. Наименьшее содержание солей отмечалось на Приплотинном участке, наибольшее –Тырминском[6].

На всех участках водоема, кроме Тырминского, высокий водообмен и попуски воды через нижние затворы обусловили равномерное распределение солей по глубине. На Тырминском участке в октябре 2004 г. из-за плотностных течений более высокие концентрации HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ отмечались в придонных слоях, по сравнению с поверхностными. Поэтому минерализация воды на глубине 54 м была на 14,7 мг/л, выше, чем на поверхности.

Среди анионов в составе воды преобладали концентрации HCO_3^- (34-42 %-экв), меньше содержалось SO_4^{2-} (<14 %- экв) и Cl^- (<2 %-экв) ионов. В катионном составе доминировал Ca^{2+} (24-29 %-экв). Содержание Mg^{2+} было в пределах 11-18 %-экв, Na^+ –ниже 10 %-экв.

В 2005 г. увеличение площади затопляемых лесов наряду со снижением притока существенно повлияло на содержание основных ионов. Минерализация воды на всех участках, за исключением Тырминского, летом варьировала в пределах 22,8-25,5 мг/л, осенью –22,4-30,5 мг/л [6]. Различия в содержании Ca^{2+} между поверхностными и придонными слоями на Чеугдинском, Сектаглинском и Нижнемельгинском участках летом были ниже 0,4 мг/л, осенью – 0,8 мг/л, т.е. являлись незначительными.

Более существенные изменения, вызванные повышением температуры воды, отмечались осенью в содержании SO_4^{2-} . В сентябре на глубине 80 м на Чеугдинском участке она достигала 16,4 °С, в октябре – 13,2 °С, в то время как на поверхности – 19,4 и 16,8 °С соответственно. Увеличение температуры способствовало активизации процессов деструкции, поэтому по всей толще этого участка наблюдался дефицит растворенного кислорода [5], в результате чего содержание SO_4^{2-} в сентябре достигало 1,8-2,2 мг/л, а в октябре на всех участках водоема было ниже предела обнаружения. Поэтому в октябре 2005 г. на Чеугдинском участке в анионном составе воды значительно доминировал HCO_3^- (44,8%-экв), содержание Cl^- , а тем более SO_4^{2-} , не превышало (4,8 и 0,4%-экв соответственно). В катионном составе преобладал Ca^{2+} (26 %-экв). Содержание Mg^{2+} достигало 14,9 %-экв, Na^+ – 7,4 %-экв. Подобный солевой состав воды сохранялся по всей глубине этого участка, а также в нижних слоях воды Сектаглинского и Нижнемельгинского участков в марте 2006 г.

В летне-осенний период 2006-2008 гг. постепенное снижение водного обмена привело к сглаживанию различий в содержании основных ионов в воде всех участков водоема, кроме Тырминского. Минерализация воды в основном была ниже 37 мг/дм³, среднегодовые значения в 2007 и 2008 гг. составили соответственно 30,4 и 32,4 мг/дм³[5]. Среднее содержание Ca^{2+} в это время было на уровне 4,1 мг/дм³, при снижении водного обмена значения постепенно возрастали. Если на Нижнемельгинском и Чеугдинском участках среднегодовые концентрации Ca^{2+} в 2006 г. составляли 3,1 и 3,5 мг/л соответственно, то в маловодном 2008 г. – 4,0 и 4,5 мг/дм³ так же соответственно. Различия между поверхностными и придонными слоями не превышали 0,8 мг/л.

На Тырминском участке, как и ранее, минерализация воды была выше. В 2006-2008 гг. ее среднее значение достигало 39 мг/л. Концентрация Ca^{2+} в среднем составляла 5,7 мг/л. Сохранялись и различия в содержании основных ионов по глубине. В августе маловодного 2008 г. содержание Ca^{2+} в верхних слоях воды, по сравнению с придонными, было выше на 1,9 мг/л, а в октябре – ниже на 2,8 мг/л, т.е. различия стали более резкими, чем в предыдущие годы.

Улучшение кислородного режима в водохранилище способствовало в 2006 г. появлению SO_4^{2-} , максимальное содержание которого в нижних слоях воды Приплотинного участка достигало 9,5 мг/л, Чеугдинского и Сектаглинского – 7,2 мг/л, Тырминского и Нижнемельгинского участков – 7,6 мг/л. Поэтому 2006-2008 гг., по сравнению с 2005 г., в солевом составе воды не наблюдалось больших изменений в содержании, тогда как, среди анионов содержание HCO_3^- снизилось до 35%-экв, а SO_4^{2-} возросло до 12,5%-экв.

Наблюдения в январе 2019 г. в районе оползня, разделившего водоем на две части, свидетельствовали об отсутствии различий в содержании основных ионов. Лишь у правого берега ниже оползня отмечалось незначительное повышение содержания HCO_3^- и Mg^{2+} , вероятно, из-за растворения части обломочного

материала фильтрующимися через оползень водами. Отсутствовали большие различия в содержании главных ионов в воде водоема в районе оползня и в июле 2019 г. после появления прорана. Максимальный за все годы мониторинга приток воды в водоем обусловил в это время более низкое, чем в 2007-2008 гг. [6], содержание солей. Минерализация воды изменялась от 19 до 26 мг/л, содержание основных ионов распределялось относительно равномерно.

Наблюдения в многоводные 2021-2022 гг. также свидетельствовали об отсутствии в воде больших отличий в концентрациях Na^+ , K^+ и Cl^- . Максимальное содержание Ca^{2+} и Mg^{2+} , HCO_3^- отмечалось на Тырминском и Сектаглинском участках, также, как и в 2003-2008 гг., за счет влияния более минерализованных вод р. Тырма. Наименьшие концентрации HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} (до 12, 3,3 и 0,6 мг/л соответственно) наблюдались в сентябре и июле 2022 г. в придонных слоях воды Ольского и Чекундинского участков.

Выводы

В первые годы наполнения (2003-2004) высокий водный обмен и большие различия в химическом составе воды рр. Бурья и Тырма обусловили пространственную неоднородность состава воды в водохранилище. Наименьшее содержание основных ионов отмечалось в июне на Приплотинном участке, когда приток формировался талыми снеговыми водами, наибольшее – зимой на Тырминском участке.

В 2006-2008 гг. снижение водного обмена обусловило сглаживание различий содержания солей в воде по акватории и глубине на всех участках водохранилища, кроме Тырминского. Улучшение кислородного режима привело к повышению содержания SO_4^{2-} до 12,5%-экв.

В многоводные 2021-2022 гг. большие отличия в содержании Na^+ , K^+ и Cl^- отсутствуют. Максимум значений Ca^{2+} и Mg^{2+} , HCO_3^- отмечался на Тырминском участке. Наименьшими концентрациями HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} характеризовались придонные слои Ольского и Чекундинского участков.

Среди катионов преобладает Ca^{2+} (до 29%-экв.), содержание Mg^{2+} ниже 18 %-экв. Среди анионов доминирует HCO_3^- (до 42%-экв.), содержание SO_4^{2-} ниже 14 %-экв, осенью 2005 г. и в марте 2006 г. составляло 0,4 %-экв.

Благодарности. Автор выражает благодарность старшим научным сотрудникам Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН С.Л. Горину и П.Н. Терскому за содействие в отборе проб воды в 2021–2022 гг.

Библиографический список

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат. 1970. 413 с.
2. Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л. Река Бурья: гидрология, гидрохимия и ихтиофауна. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. 2006. 149 с.

3. Руководящий документ. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды РД 52.18.595-96 (в ред. Изменения № 1, утв. Росгидрометом 11.10.2002, Изменения № 2, утв. Росгидрометом 28.10.2009).

4. *Шестеркин В.П.* Особенности химического состава природных вод Приамурья в районах развития карста // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: Дальнаука. 2019. С. 182-189.

5. *Шестеркин В.П.* Солевой состав вод Бурейского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 5. С. 29-42.

6. *Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Таловская В.С.* Минерализация и содержание органического вещества в воде Бурейского водохранилища в первые годы заполнения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 4. С. 33-40.

7. *Шестеркина Н.М., Таловская В.С., Ри Т.Д., Шестеркин В.П.* Гидрохимия притоков Бурейского водохранилища // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука. 2008. С. 18-27.

Н.Ю. Лавренко, О.Л. Романюк, Т.В. Рогозина, natuciy87@gmail.com
Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДЫ БАСЕЙНОВ РЕК ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Анализ многолетней гидрохимической информации, полученной государственной наблюдательной сетью Росгидромета, позволил оценить динамику загрязненности воды в бассейнах рек Надым, Пур, Таз соединениями железа, меди, цинка и марганца за период 2014-2022 гг.

Ключевые слова: бассейны рр. Надым, Пур, Таз, соединения металлов, качество воды, характерные загрязняющие вещества, тенденция.

N. Lavrenko, O. Romanyuk, T. Rogozina, natuciy87@gmail.com
Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia

RESULTS OF WATER QUALITY MONITORING OF RIVER BASINS IN THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS OKRUG

The analysis of long-term hydrochemical information obtained by the state monitoring network of Roshydromet made it possible to assess the dynamics of water pollution in the basins of the Nadym, Pur, Taz rivers by iron, copper, zinc and manganese compounds for the period 2014-2022.

Keywords: Nadym, Pur, Taz river basins, metal compounds, water quality, characteristic pollutants, trend.

Введение

Реки Ямало-Ненецкого автономного округа территориально находятся в северной части Тюменской области и относятся к Нижнеобскому бассейновому округу. Территория округа расположена в пределах тундры, лесотундры и северной тайги. Лишь крайние южные участки Надымского и Пуровского районов и южная половина Красноселькупского района заходят в среднюю тайгу.

Питание рек снеговое, частично дождевое. Продолжительная зимняя межень сменяется высоким половодьем, пик которого приходится на июнь. Ледостав рек длится 7-8 месяцев в году. Вскрытие происходит в первой половине мая на юге, в начале июня – на севере. Все реки имеют широкие поймы, меандрирующие русла, протоки и рукава. Мелкие реки промерзают до дна [4].

подавляющее большинство водоемов бассейнов рр. Надым, Пур, Таз находится на болотах и заболоченных землях (приблизительно 38-65 % территории бассейнов). Вода рек преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого и натриевого классов, маломинерализованная [1].

Материалы и методы исследования

По материалам многолетних данных проведен анализ результатов наблюдений, полученных режимной гидрохимической сетью Росгидромета. Дана комплексная оценка качества воды бассейнов рек Надым, Пур, Таз за период 2014-2022 гг. [3].

Анализ результатов

Работы по мониторингу загрязнения воды бассейнов рр. Надым, Пур, Таз в период 2014-2022 гг. осуществлялись государственной наблюдательной сетью Росгидромета на 7 водных объектах, 9 пунктах наблюдений, 10 створах.

Состав поверхностных вод бассейнов рек Надым, Пур, Таз имеет ряд химических особенностей, отличающих их от поверхностных вод других регионов. Содержания отдельных компонентов (соединения железа, меди, цинка, марганца) в составе природных водотоков заметно превышают принятые в России нормативы качества поверхностных вод суши. Важным фактором формирования химического состава поверхностных вод рассматриваемых бассейнов является наличие на территории болот, что обуславливает специфический состав воды. Железо и марганец являются типоморфными элементами для ландшафтов севера Западной Сибири из-за широкого распространения глеевой восстановительной обстановки и кислых грунтовых вод. Как следствие, соединения марганца и железа попадают в речные воды в результате дренажа почв, болот и озер. Данные металлы устойчиво существуют в растворе, благодаря образованию комплексов с почвенными гуминовыми и фульвокислотами [5].

На протяжении 2014-2022 гг. соединения железа и марганца являлись характерными для бассейнов рр. Надым, Пур, Таз. Повторяемость случаев превышения ПДК колебалась от 71 % до 100 %.

Среднегодовые концентрации соединений железа и марганца в воде бассейна р. Надым находились в диапазоне 8-54 ПДК. Резкий рост среднегодового содержания соединений железа отмечался в 2021-2022 гг. в воде р. Правая Хетта; соединений марганца – во всех створах в 2019 г. (рис. 1). Максимальные концентрации соединений железа достигали 17,5-62 ПДК, в воде р. Правая Хетта в 2021-2022 гг. – 108-146 ПДК; соединений марганца – 16-98 ПДК, в 2018-2019 гг. – 104-180 ПДК.

Для соединений меди и цинка в многолетнем плане в бассейне р. Надым отмечена слабовыраженная тенденция к стабилизации: среднегодовые концентрации варьировали от 1 до 5 ПДК (рис. 1). Наивысшие концентрации достигали: соединений меди – 22 ПДК (2015 г., р. Надым, выше промзоны г. Надым), соединений цинка – 17 ПДК (2014 г., р. Правая Хетта, в черте пгт Пангоды).

Среднегодовое содержание соединений железа и марганца в воде бассейна р. Пур находилось в широком диапазоне: 5,5-31 ПДК и 6-56 ПДК соответственно (рис. 2). Наиболее высокие концентрации соединений марганца, как и в бассейне

р. Надым, отмечались в 2019 г.: среднегодовые 21-56 ПДК, максимальные достигали 83-230 ПДК (230 ПДК – р. Седэ-Яха).

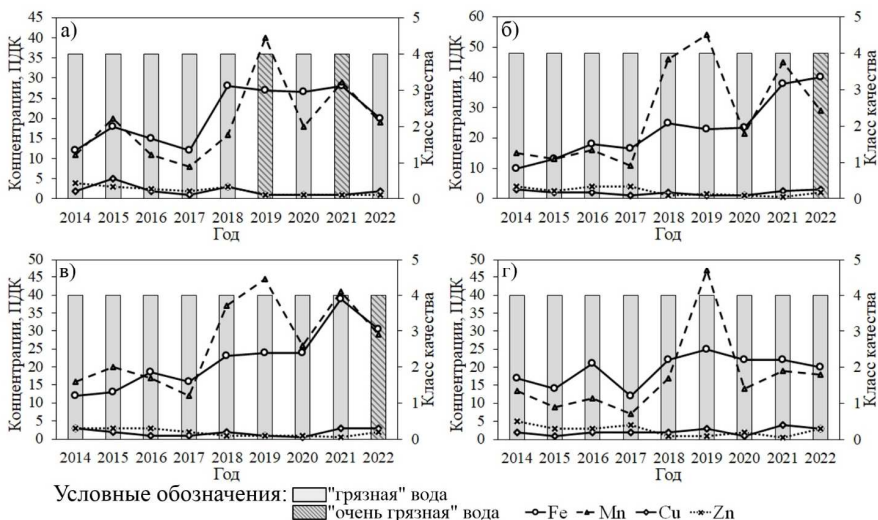


Рис. 1. Изменение среднегодовых концентраций соединений металлов и качества воды бассейна р. Надым за многолетний период в створах: а) р. Надым, выше промзоны г. Надым; б) р. Правая Хетта, в черте пгт Пангоды; в) р. Правая Хетта, 8,4 км ниже пгт Пангоды; г) р. Хейги-Яха, п. Лонг-Юган

Содержание соединений меди и цинка в воде бассейна р. Пур в многолетнем плане составляло 1-10 ПДК, за исключением 2019 г., когда концентрация соединений меди достигла 22 ПДК (р. Яку-Пур) в среднем. Кроме того, в воде р. Пур, в черте п. Самбург наблюдалась тенденция к снижению концентраций соединений меди, среднегодовое содержание которых варьировало от 7-10 ПДК (в 2014-2018 гг.) до 1-4 ПДК (в 2019-2022 гг.) (рис. 2 б).

В воде бассейна р. Таз среднегодовые концентрации соединений железа и марганца в многолетнем плане составляли 3-15 ПДК и 3-35 ПДК соответственно. Максимальные концентрации достигали: соединений железа 5-37 ПДК, соединений марганца 10-128 ПДК (128 ПДК – в 2019 г. в воде р. Таз, ниже пгт Тазовский).

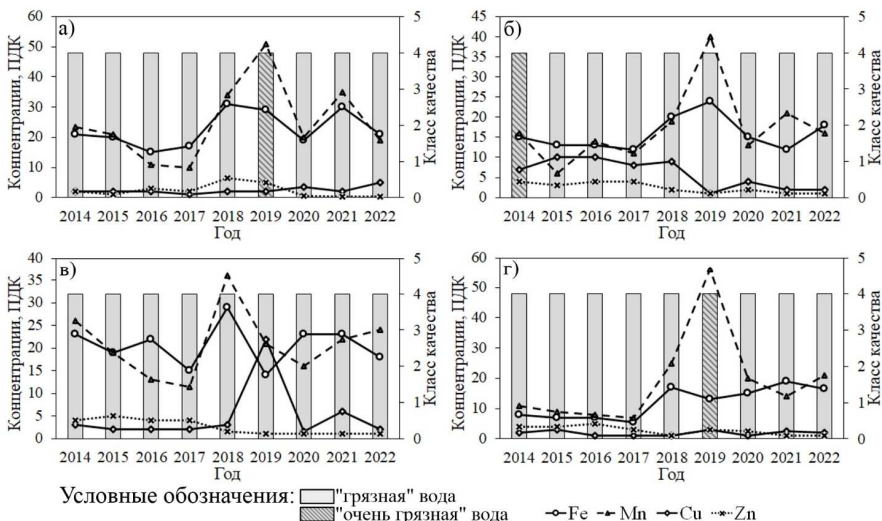


Рис. 2. Изменение среднегодовых концентраций соединений металлов и качества воды бассейна р. Пур за многолетний период в створах: а) р. Пур, в черте пгт Уренгой; б) р. Пур, в черте п. Самбург; в) р. Пяку-Пур, 0,7 км ниже г. Тарко-Сале; г) р. Седэ-Яха, в черте г. Новый Уренгой

Среднегодовое содержание соединений меди в воде бассейна р. Таз варьировало в диапазоне 1-8 ПДК; цинка – в течение 2014-2019 гг. составляло 1-4 ПДК, 2020-2022 гг. стабилизировалось на уровне ниже 1-2 ПДК (рис. 3). Наибольшие концентрации были зафиксированы: соединений меди в 2015 г. – 24 ПДК (р. Таз, с. Красноселькуп), в 2020 г. – 24 ПДК (р. Таз, ниже пгт Тазовский); соединений цинка в 2019 г. – 10 ПДК (р. Таз, ниже пгт Тазовский).

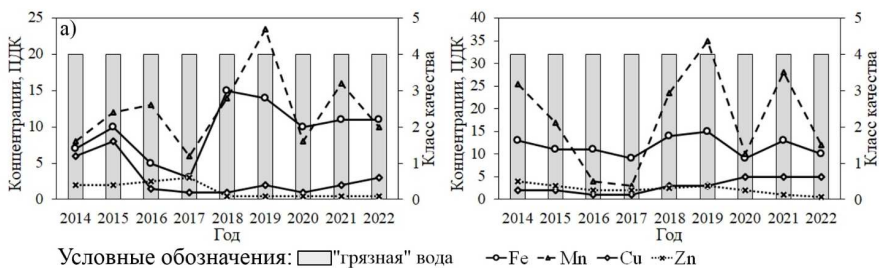


Рис. 3. Изменение среднегодовых концентраций соединений металлов и качества воды бассейна р. Таз за многолетний период в створах: а) р. Таз, в черте с. Красноселькуп; б) р. Таз, ниже пгт Тазовский

В течение 2014-2022 гг. режим растворенного в воде кислорода в бассейнах рр. Надым, Пур, Таз, вследствие высокой заболоченности территорий, зачастую был неудовлетворительным. Содержание растворенного в воде кислорода варьировало в р. Таз (с. Красноселькуп) 3,50-5,80 мг/л, р. Надым 2,60-3,40 мг/л, р. Правая Хетта 3,20-5,60 мг/л, р. Седэ-Яха 3,80-5,20 мг/л, в единичных случаях фиксировался острый дефицит кислорода (1,40-1,60 мг/л) в воде рр. Таз, Надым.

Кислородный режим рр. Пур, Пяку-Пур, Хейги-Яха в период 2017-2022 гг. был удовлетворительным (6,70-10,4 мг/л), снижаясь в отдельные годы более раннего периода до 3,20-4,80 мг/л.

Качество воды в бассейнах рр. Надым, Пур, Таз в течение многолетнего периода (2014-2022 гг.) стабилизировалось на уровне 4-го класса, в большинстве створов разрядов «а» и «б» («грязная» вода); ухудшаясь до разряда «в» («очень грязная» вода) в 2014 г. (р. Пур, в черте п. Самбург), 2019 г. (р. Надым, выше промзоны г. Надым; р. Пур, в черте пгт Уренгой; р. Седэ-Яха), 2021 г. (р. Надым, выше промзоны г. Надым), 2022 г. (р. Правая Хетта, пгт Пангоды) (рис. 1-3).

Вероятнее всего, повышенные концентрации соединений металлов в воде изученных водных объектов обусловлены как антропогенными, так и природными факторами. По мнению ряда исследователей, в большей степени это связано с особенностями гидрологических и климатических условий региона, в том числе повышенным содержанием железа в болотных водах в виде комплексов с солями гуминовых кислот и грунтовых водах; марганца и меди - из-за их высоких концентраций в подземных водах, обеспечивающих сток большую часть года для всех постоянных водотоков [2; 5; 6].

Выводы

Резюмируя вышеизложенное, в течение изученного периода (2014-2022 гг.) характерного уровня загрязненности воды поверхностных вод бассейнов рр. Надым, Пур, Таз достигали соединения железа, марганца, меди и цинка.

Среднегодовые концентрации соединений железа и марганца в воде в десятки раз превышали ПДК, соединений меди и цинка находились в диапазоне 1-10 ПДК.

Анализ динамики содержания в воде бассейнов рр. Надым, Пур, Таз соединений металлов в многолетнем плане выявил разнонаправленный уровень загрязненности воды отдельными веществами: для соединений железа и марганца отмечен стабильно высокий уровень загрязненности во всех створах; для соединений меди и цинка – слабовыраженная стабилизация; в воде р. Пур, в черте п. Самбург наблюдается тенденция к снижению концентраций соединений меди.

Согласно комплексной оценке, вода рек бассейнов по качеству стабильна; в преобладающем большинстве лет рассматриваемого периода оценивалась 4-м классом качества, разрядов «а» и «б» как «грязная».

Выявленные закономерности предположительно являются результатом воздействия комплекса природных и техногенных факторов, с преобладающим

влиянием гидрологических и климатических особенностей исследуемой территории.

Библиографический список

1. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа / под ред. С.И. Ларина. – Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 154 с.
2. *Бешенцев В.А.* Гидрохимия пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа: автореф. дис. канд. г-м. наук. Екатеринбург, 2000. 21 с.
3. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб: Гидрометеиздат, 2003. 49 с.
4. *Самойлова Г.С., Чистякова Н.Ф., Горячко М.Д., Фёдорова Н.В., Прокинова А.Н., Павлинов П.С.* Ямало-Ненецкий автономный округ // Большая российская энциклопедия. Москва, 2017, Том 35. С. 698-701.
5. *Старостин С.А., Юркевич Н.В., Еделев А.В., Колесников Р.А.* Оценка экологического состава поверхностных вод и донных отложений в Ямало-Ненецком автономном округе. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т.2, № 3. С.72-79.
6. *Уварова В.И.* Оценка качества воды р. Пур. // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2012. С. 143-149.

СОДЕРЖАНИЕ

Юрий Михайлович Матарзин – основатель научной школы гидрологии водохранилищ.....	4
<i>Барабанова Е.А., Коронкевич Н.И.</i> Осуществленные и неосуществленные проекты водохранилищ.....	7
<i>Бекуш З.А., Горбачёв Ю.А., Горячев В.С., Шумихин А.Е.</i> Новые методы дистанционного измерения и мониторинга гидрологических показателей рек.....	14
<i>Беркович К.М., Чалов Р.С.</i> Влияние водохранилищ на русловые процессы в реках выше и ниже по течению.....	19
<i>Василенко А.Н., Григорьев В.Ю., Репина И.А.</i> Формирование и эмиссия метана в молодом большом Богучанском водохранилище по данным полевых работ 2021-2023 гг.....	25
<i>Гареев А.М.</i> Экономические и экологические критерии регулирования стока малых рек водохранилищами.....	30
<i>Гречушников М.Г., Щекотихин Ф.</i> Определение скорости заиления и накопления органического вещества в Чиркейском водохранилище.....	37
<i>Григорьева И.Л., Панкова Н.Ю., Хрусталева Л.И.</i> Содержание микроэлементов в воде Иваньковского водохранилища.....	42
<i>Даценко Ю.С.</i> Пространственная неоднородность цветения водохранилища диатомовыми водорослями.....	47
<i>Законнов В.В., Законнова А.В.</i> Изменение природной среды под воздействием водохранилищ.....	52
<i>Захаров С.Г.</i> Рекреационное освоение озер Челябинской области.....	57
<i>Китаев А.Б., Матвеева Е.Э.</i> Загрязнение Воткинского водохранилища нефтепродуктами и фенолами в разные по водности годы.....	62
<i>Кондакова О.В., Зиновьев А.Т.</i> Анализ современного гидрологического режима Новосибирского водохранилища.....	67
<i>Механошина Е.В., Микова К.Д., Калинин В.Г.</i> Прогноз характеристик весеннего половодья для рек водосбора Камского водохранилища.....	73
<i>Рахуба А.В., Шмакова М.В., Турутина Т.В.</i> Распределение донных отложений Куйбышевского водохранилища.....	82
<i>Фасахов М.А.</i> Гидролого-геохимическая оценка стока р. Тулвы.....	87
<i>Фотина А.С., Ларченко О.В.</i> Морфодинамические типы русел притоков Камского водохранилища.....	93
<i>Фролова Н.Л., Сазонов А.А.</i> Содержание и потоки метана в Колымском водохранилище.....	102
<i>Шайдулина А.А., Калинин В.Г.</i> Моделирование снеготаяния на водосборе Камского водохранилища в аномальный 2020 г.....	107
<i>Шершьева Н.Г.</i> Донные отложения и бактериобентос в Саратовском водохранилище в 2011, 2014, 2016 гг.....	112
<i>Шестеркин В.П.</i> Многолетняя динамика солевого состава Бурейского водохранилища.....	118
<i>Лавренко Н.Ю., Романюк О.Л., Rogozina Т.В.</i> Результаты мониторинга качества воды бассейнов рек Ямало-Ненецкого автономного округа.....	124

CONTENT

Yuri Mikhailovich Matarzin is the founder of the scientific school of reservoir hydrology.....	4
<i>Barabanova E., Koronkevich N.</i> Implemented and unrealized projects for the creation of reservoirs.....	7
<i>Bekuh Z., Gorbachev Y., Goryachev V., Shumihin A.</i> New methods of remote measuring and monitoring of hydrological indicators of rivers.....	14
<i>Berkovich K., Chalov R.</i> Upstream and downstream impact of reservoirs on fluvial processes in rivers.....	19
<i>Vasilenko A., Grigorev V., Repina I.</i> Formation and emission of methane in the young big Boguchansk reservoir according to field work data 2021-2023.....	25
<i>Gareev A.</i> Economic and ecological criteria for flow regulation of small rivers by reservoirs.....	30
<i>Grechushnikova M., Schekotihin F.</i> Determination of the rate of sedimentation and accumulation of organic matter in the Chirkey reservoir.....	37
<i>Grigoryeva I., Pankova N., Khrustaleva L.</i> Content of microelements in the water of Ivankovo reservoir.....	42
<i>Datsenko Yu.</i> Spatial heterogeneity of reservoir blooms by diatoms.....	47
<i>Zakonnov V., Zakonnova A.</i> Changes in the natural environment under the effect of reservoirs.....	52
<i>Zakharov S.</i> Recreational development of lakes in the Chelyabinsk region.....	57
<i>Kitaev A., Matveeva E.</i> Pollution of the Votkinsk reservoir with petroleum products and phenols at different times by water results years.....	62
<i>Kondakova O., Zinoviev A.</i> Analysis of current hydrological regime of Novosibirsk reservoir.....	67
<i>Mekhanoshina E., Mikova K., Kalinin V.</i> Forecast of spring flood parameters on some rivers of the Kamsky reservoir basin.....	73
<i>Rakhuba A., Shmakova M., Turutina T.</i> Distribution of bottom sediments Kuibyshev reservoir.....	82
<i>Fasakhov M.</i> Hydrological and geochemical assessment of the Tulva river runoff.....	87
<i>Fotina A., Larchenko O.</i> Morphodynamic types of tributary channels of the Kama reservoir.....	93
<i>Frolova N., Sazonov A.</i> Methane concentration and fluxes in Kolyma reservoir.....	102
<i>Shaydulina A., Kalinin V.</i> Snowmelt modeling in the catchment area of the Kama reservoir in anomalous year 2020.....	107
<i>Sherysheva N.</i> Bottom sediments and bacteriobenthos in the Saratov reservoir in 2011, 2014, 2016.....	112
<i>Shesterkin V.</i> Multiyear dynamics of the salt composition of the Bureysk reservoir waters.....	118
<i>Lavrenko N., Romanyuk O., Rogozina T.</i> Results of water quality monitoring of river basins in the Yamalo-Nenets autonomous okrug.....	124

Научное издание

Комплексные исследования водохранилищ и их водосборов

Сборник научных трудов, посвященный 100-летию
со дня рождения Ю. М. Матарзина

Под редакцией А. Б. Китаева

Издается в авторской редакции
Компьютерная верстка *Е. Г. Бочкаревой, А. Б. Китаева*

Подписано в печать 06.05.2024. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 7,67. Тираж 100 экз. Заказ 80/2024

Управление издательской деятельности
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614068 г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография «Новопринт»
614016, г. Пермь, ул. Седова, 7, оф. 110