

10. Чигурьева А.А., Жидовинов Н.Я., Мичурин В.Г. Изменение растительности и климата на Юго-Востоке Европейской части СССР в четвертичное время // Вопросы ботаники Юго-Востока: межвуз. науч. сб. – Саратов, 1988. – Вып. 6. – С. 53-80.
11. Плейстоцен Предуралья / [Яхимович В.Л. и др.]. – М.: Наука, 1987. – 112 с.: ил.
12. Немкова В.К. История растительности Предуралья за поздне- и послеледниковое время // Актуальные вопросы современной геохронологии: сб. ст. – М., 1976. – С. 259-275.
13. Кадебская О.И., Дублянский Ю.В., Шпётль К. Состояние исследований криогенного пещерного кальцита как палеоклиматического маркера на территории РФ // Изучение и использование естественных и искусственных подземных пространств и закарстованных территорий: материалы Всерос. конф. II Крымские карстологические чтения. – Симферополь, 2018. – С. 3-7.
14. Андрейчук В.Н., Кадебская О.И., Чайковский И.И. Криогенные минеральные образования Кунгурской Ледяной пещеры / Силезский ун-т, ГИ УрО РАН. – Сосновец; Пермь, 2013. – 128 с.
15. Кунгурская ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / ГИ УрО РАН; под ред. В.Н. Дублянского; [отв. ред. А.И. Кудряшов]. – Екатеринбург, 2005. – 376 с.: ил.
16. Лаврова Н.В. О допалеологическом этапе развития карстовой системы Ледяной горы // Горное эхо. – 2019. – № 1 (74). – С. 16-20. – DOI: 10.7242/echo.2019.1.4.

УДК 504.054: 504.064.3

DOI:10.7242/echo.2021.1.4

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВЕРХНЕ-ЗЫРЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА – ИСТОЧНИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КАЛИЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ БКПРУ-2, 4

С.А. Мирошниченко, А.В. Богомолов, А.А. Возняк, А.П. Лепихин, Ю.С. Ляхин
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Устойчивость технического водоснабжения крупных промышленных предприятий является одним из важнейших показателей надежности их функционирования. Особенно остро стоит данная проблема для предприятий, расположенных в зонах активного техногенеза, где доминирующим фактором в формировании загрязнения водных объектов являются недекларируемые, рассредоточенные, так называемые диффузные источники загрязнения. Данная проблема рассматривается на примере БКПРУ-4, осуществляющего техническое водоснабжение из Верхне-Зырянского водохранилища. Как показал проведенный комплекс полевых исследований, данный водоем характеризуется значительной вертикальной неоднородностью водных масс, оказывающей заметное влияние на устойчивость водопользования.

Ключевые слова: водохранилище, вертикальная стратификация, устойчивость водопользования.

Введение

Устойчивость технического водоснабжения крупных промышленных предприятий является одним из важнейших показателей надежности их функционирования. Водозабор БКПРУ-4 расположен на Верхне-Зырянском водохранилище. Забираемая на технические нужды природная вода поступает в том числе и для котельной ГТЭС БКПРУ-4. Проект по эксплуатации котельной ГТЭС БКПРУ-4 разработан для эксплуатации котлов типа ZFR-X-IE 35000x18, а также установки подготовки воды с учетом жесткости исходной воды от 3,0 мг-экв/дм³ до 6,5 мг-экв/дм³, а также общей минерализации (солесодержания) не более 411,3 мг/дм³. По данным ПАО «Уралкалий» качество забираемой воды из Верхне-Зырянского водохранилища, в особенности в период зимней межени, отличается от вышеуказанных проектных значений по эксплуатации котельной ГТЭС БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий». Солесодержание химочищенной воды подвержено сезонным колебаниям вследствие аналогичного изменения исходной обрабатываемой воды, что приводит к затруднению в эксплуатации данных котлов и установки подготовки воды. В последние три года эксплуатация котлов проходит с вынужденными остановками из-

за высокого солесодержания в исходной воде, при этом цикл работающих фильтров сокращается в три раза, что ведет не только к снижению обменной емкости катионита и увеличению расхода соли на регенерацию, но и увеличению общего количества трудозатрат и энергоресурсов. Для решения проблемы избытка солесодержания в исходной воде рассматривается вопрос о переносе местоположения оголовка водозабора.

Для выяснения причин высокого солесодержания в забираемой на водозаборе воде в зимний период было проведено обследование состояния водоохранной зоны и прибрежно-защитной полосы в районе водозабора БКПРУ-4, произведен отбор проб из поверхностных и придонных горизонтов на акватории Верхне-Зырянского водохранилища, отбор проб воды из родников, притоков Верхне-Зырянского водохранилища и их притоков на содержание различных химических элементов.

Для выяснения причин высокого солесодержания в забираемой на водозаборе воде также были выполнены батиметрическая съемка водохранилища и детальная кондуктометрическая съемка его акватории с построением профилей изменения удельной электропроводности.

Материалы и методы

Верхне-Зырянское водохранилище расположено в долине реки Зырянка. Река Зырянка – левобережный приток реки Камы и впадает в нее в 889 км от устья. Река Зырянка образована в результате слияния рек Извер и Легчим. Общая площадь водосбора р. Зырянка – 365 км², длина реки – 53,0 км (с р. Извер), средний уклон реки – 2,20‰. Количество водотоков на водосборе 116 общей протяженностью 243,7 км. Густота речной сети 0,643. Река относится к водным объектам с очень малой гидрологической изученностью, практически полным отсутствием рядов наблюдений на гидрологических постах государственной сети наблюдений.

В среднем и нижнем течении река перекрыта плотинами, образующими Верхне-Зырянское и Нижне-Зырянское (Семинский пруд) водохранилища. На участке между водохранилищами отмечено 5 существенных притоков, крупнейшим из которых является р. Быгель. Створы плотин, образующих Верхне-Зырянское и Нижне-Зырянское водохранилища, расположены соответственно в 11,0 км и в 1,0 км от устья реки Зырянки. Каскад водохранилищ на р. Зырянке осуществляет сезонное регулирование стока и является единым водохозяйственным комплексом.

Верхне-Зырянское водохранилище расположено в 3,50 км юго-восточнее г. Березники, построено и введено в постоянную эксплуатацию в 1969 году. Почвы, слагающие территорию водосборов водохранилища, преимущественно глинистые и тяжелосуглинистые. В понижениях формируются торфяные и торфяно-глеевые почвы. В геологическом строении ложа водохранилищ принимают участие четвертичные и верхнепермские отложения.

Растительность представлена преимущественно среднетаежными лесами с преобладанием ели с примесью пихты, местами в сочетании с осиновыми и березовыми лесами и сфагновыми болотами, на песках – сосновые леса. На бедных почвах примесь широколиственных пород заметно уменьшается. Залесенность водосбора Верхне-Зырянского водохранилища по уточненным данным составляет около 90%.

В состав гидротехнических сооружений водохранилища входит: водохранилище с плотиной, водосброс и система технического водоснабжения. Морфометрическая характеристика водохранилища приведена согласно [1]:

- отметка ФПУ_{0,1%} – 124,3 м БС;
- отметка НПУ – 124,0 м БС;

- отметка УМО – 121,0 м БС;
- полный объем – 13,0 км³;
- полезный объем – 10,0 км³;
- площадь зеркала при НПУ – 4,2 км²;
- отметка уровня наибольшей сработки – 123,0 м
(Правила безопасной эксплуатации Верхне-Зырянского водохранилища);
- длина водохранилища при НПУ – 7 км;
- средняя ширина при НПУ – 0,6 км;
- средняя глубина при НПУ – 3,1 м.

Код и наименование водохозяйственного участка – Кама от в/п с. Бондюг до г. Безники (код 10.01.01.002).

Согласно материалам наблюдений ПАО «Уралкалий», за 2014–2020 гг. уровень воды в верхнем бьефе Верхне-Зырянского водохранилища в среднем держится на отметке -123,4 м БС, что на 0,6 м ниже отметки НПУ и соответственно на 0,9 м ниже отметки ФПУ_{0,1%} (рис. 1).

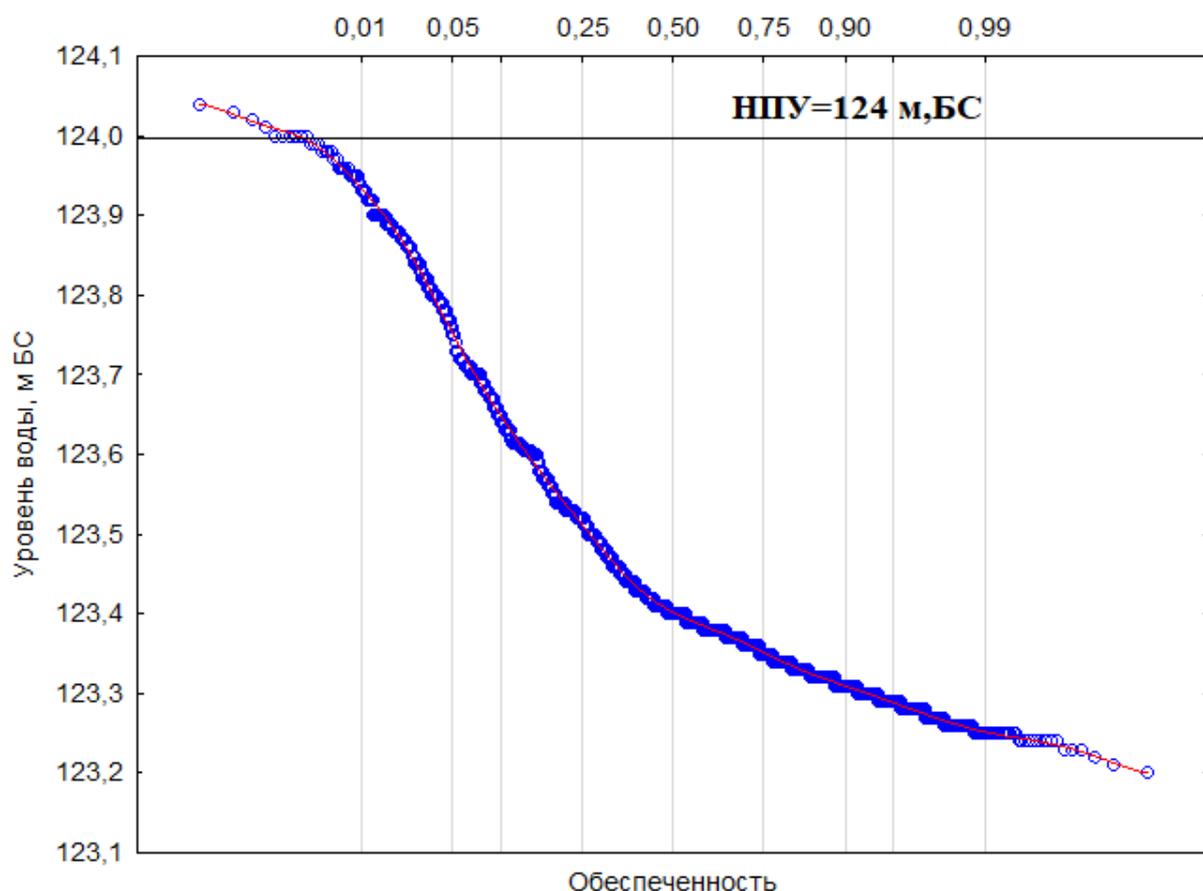


Рис. 1. Кривая обеспеченности среднесуточных уровней воды в верхнем бьефе (2008, 2009, 2014–2020 гг.)

Минимальный среднесуточный уровень за данный период был зафиксирован 123,2 м БС (14.07.2014г.), максимальный среднесуточный уровень – 124,04 м БС (10.05.2009г.). Средний уровень воды в верхнем бьефе в марте за период 2015-2020 гг. составил 123,38 м БС, максимальный – 123,49 м БС, минимальный – 123,31 м БС.

Распределение глубин по акватории Верхне-Зырянского водохранилища представлено на рис. 2. Максимальная глубина в водохранилище достигает 11 м. Наибольшие глубины отмечаются вдоль старого русла р. Зырянка.

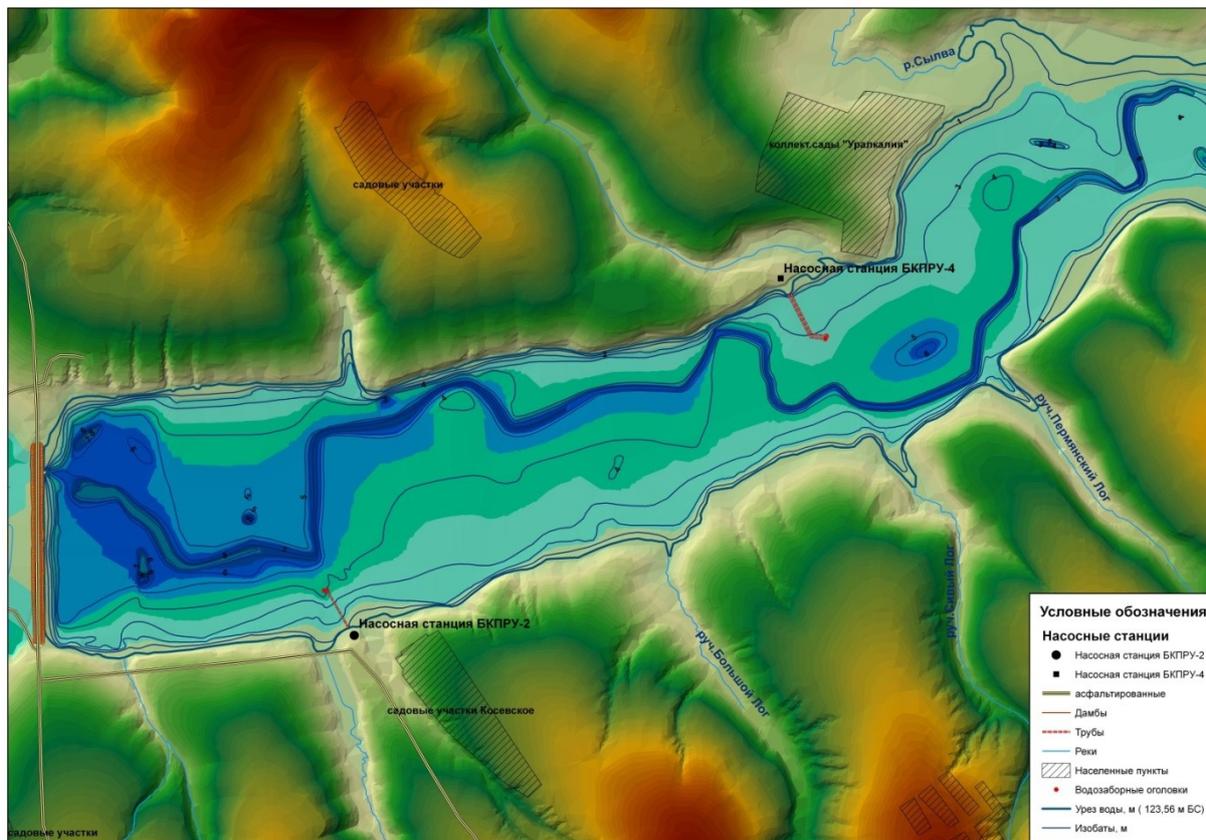


Рис. 2. Распределение глубин по акватории Верхне-Зырянского водохранилища, по данным батиметрической съемки «ГИ УрО РАН»

Верхне-Зырянское водохранилище является основным источником промышленного водоснабжения БКПРУ-2,4 ПАО «Уралкалий» (рис. 2), а также используется для целей рекреации.

Техническое водоснабжение БКПРУ-4 осуществляется с использованием водозабора, расположенного на правом берегу водохранилища в 2,50 км выше плотины (14 км от устья р.Зырянка). Техническое водоснабжение БКПРУ-2 осуществляется комплексом сооружений, расположенных на левом берегу водохранилища в 1,0 км выше плотины: затопленный водоприемник, две самотечные линии трубопровода, насосная станция. Верхне-Зырянское водохранилище даже с учетом установленной отметки уровня наибольшей сработки 123,0 м БС (Правила безопасной эксплуатации Верхне-Зырянского водохранилища [1]) является гарантированным источником водоснабжения по объему забираемых вод для нужд БКПРУ-4 и БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий».

Забираемая на технические нужды природная вода поступает, в том числе, и для котельной ГТЭС БКПРУ-4. Проект по эксплуатации котельной ГТЭС БКПРУ-4 разработан для эксплуатации котлов типа ZFR -X- IE 35000x18, а также установки подготовки воды с учетом жесткости исходной воды от 3,0 мг-экв/дм³ до 6,5 мг-экв/дм³, а также общей минерализации (соле содержания) не более 411,3 мг/дм³. По данным ПАО «Уралкалий» качество забираемой воды из Верхне-Зырянского водо-

хранилища, в особенности в период зимней межени, отличается от вышеуказанных проектных значений. Солесодержание воды подвержено сезонным колебаниям вследствие аналогичного изменения исходной обрабатываемой воды, что приводит к затруднению в эксплуатации данных котлов и установки подготовки воды. В последние три года эксплуатация котлов проходит с вынужденными остановками из-за высокого солесодержания в исходной воде, при этом цикл работающих фильтров сокращается в три раза, что влечет не только снижение обменной емкости катионита и увеличение расхода соли на регенерацию, но и увеличение общего количества трудозатрат и энергоресурсов.

Для выяснения причин высокого солесодержания в забираемой на водозаборе воде в зимний период, способных лимитировать использование водозабора на технические нужды, в 2020 г. было проведено обследование Верхне-Зырянского водохранилища.

Для данного района характерно значительное, как показано в [2, 3], диффузное загрязнение. При этом в качестве приоритетных для калийной промышленности представлены следующие ингредиенты: калий, натрий, магний, кальций, хлориды, сульфаты, сухой остаток.

В качестве исходных данных использовались материалы ведомственного мониторинга ПАО «Уралкалий», а также материалы полевых наблюдений, выполненных «ГИ УрО РАН». При этом необходимо отметить, что гидрохимические показатели качества воды, как правило, не подчиняются нормальному закону распределения, и, соответственно, их параметрические оценки не эффективны [4].

Обсуждение полученных результатов

Особенностью работы водозабора БКПРУ-4 является забор вод, резко отличающихся по своему солевому содержанию в ледоставный и безледоставный период. Если в безледоставный период (с мая по октябрь) в среднем отмечается состав вод, характерный для естественных условий формирования, гидрокарбонатно-кальциевый с минерализацией от 0,2 до 0,3 г/л, то с ноября по март минерализация резко возрастает от 0,5 до 0,6 г/л и при этом резко увеличивается доля в солевом составе содержания сульфатов и хлоридов. Отчасти это объясняется естественной сезонной сменой питания водного объекта. В период зимней межени при ледообразовании резко возрастает доля в питании водного объекта более минерализованных подземных вод, а в период весеннего паводка и летне-осенней межени – менее минерализованных, соответственно, дождевых и талых вод.

Другой процесс связан с тем, что в период зимней межени в условиях уменьшения объемов приточности поверхностных вод в водохранилище и, следовательно, уменьшения объемов сработки воды из водохранилища падают скорости течения, замедляется в целом водообмен, что, в свою очередь, приводит к забору для нужд предприятия более минерализованных вод, лежащих в придонном слое водохранилища. Наличие существенных отличий в качестве забираемой воды для сульфатов и хлоридов в ледоставный и безледоставный периоды четко прослеживается на кривых обеспеченности, представленных на рисунках 3-4.

В целом можно отметить по анализу фондовых материалов ведомственного контроля, что качество воды, забираемой в ледоставный период, не соответствует установленным технологическим нормативам, в забираемой воде отмечается превышение по кальцию, магнию, хлоридам, натрию (рис. 5-6).

Необходимо отметить, что водопропускные сооружения Верхне-Зырянского водохранилища из-за их конструктивной особенности способны сбрасывать водохранилище только до отметки УМО (121 м БС).

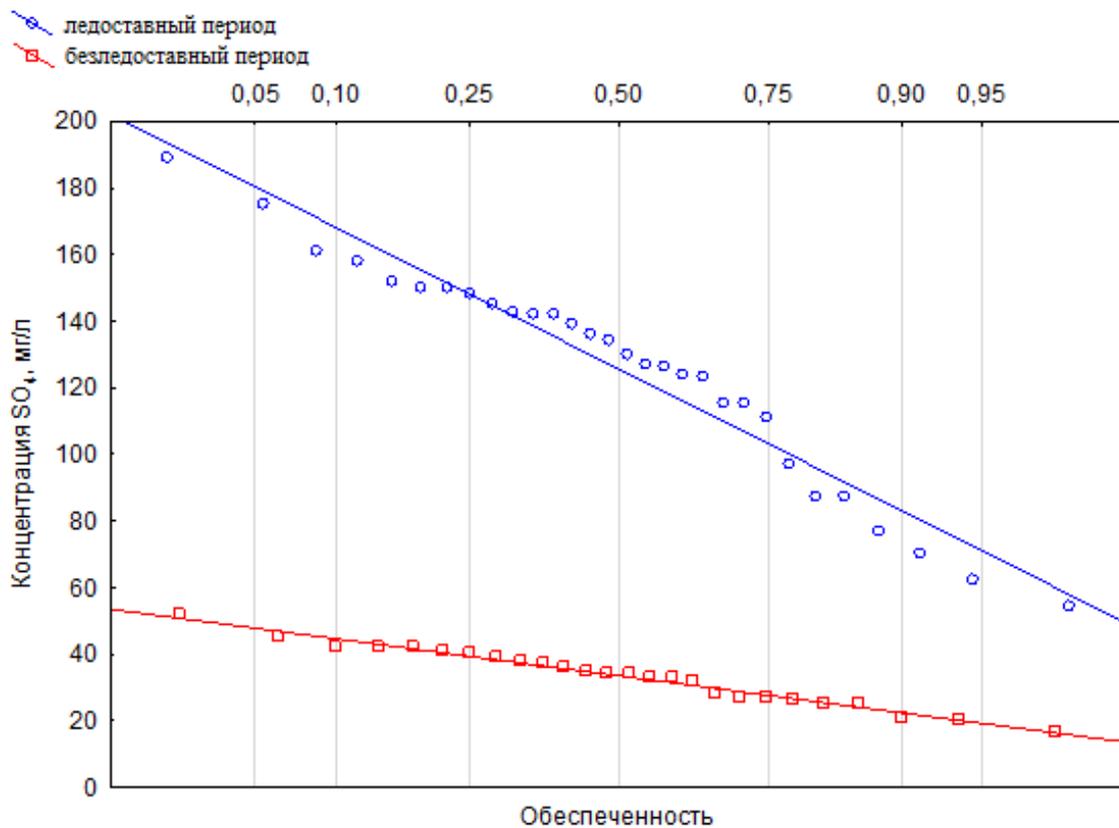


Рис. 3. Кривые обеспеченности содержания в воде сульфатов (промвода БКПРУ-4, забираемая из Верхне-Зырянского водохранилища, 2015-2020 гг.) за ледоставный и безледоставный период

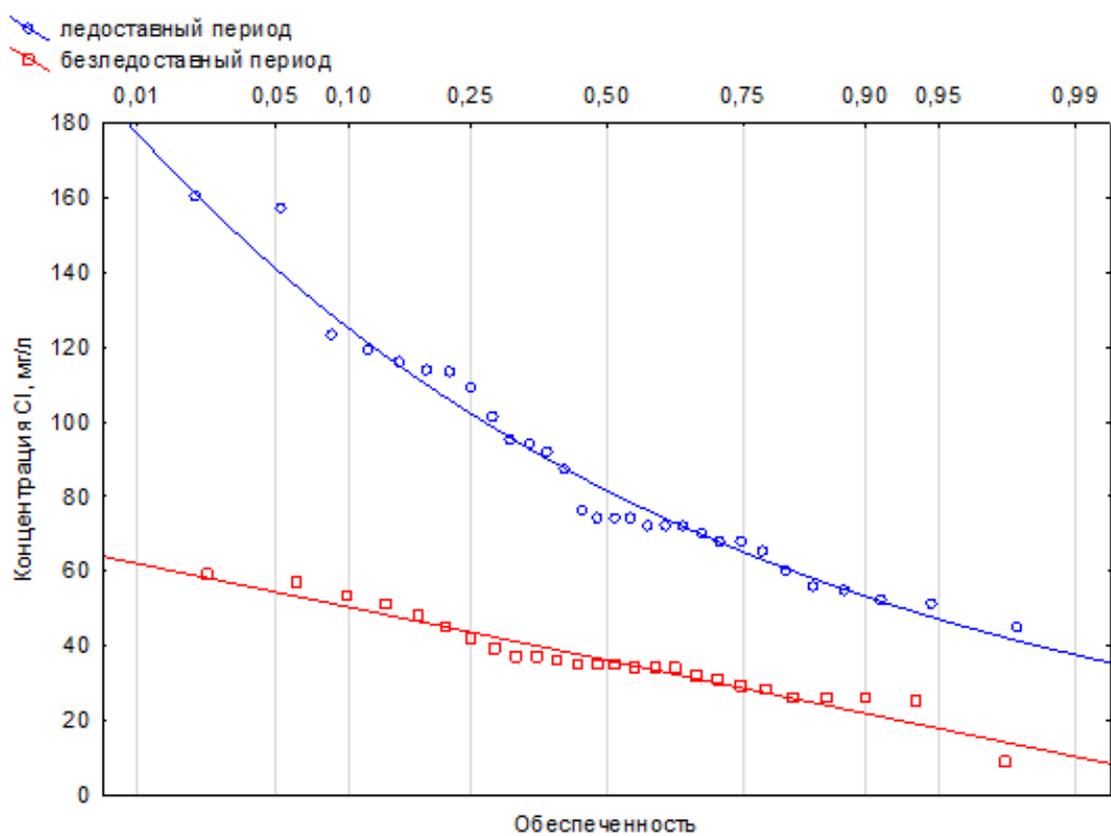


Рис. 4. Кривая обеспеченности содержания в воде хлоридов (промвода БКПРУ-4, забираемая из Верхне-Зырянского водохранилища, 2015-2020 гг.) за ледоставный и безледоставный период

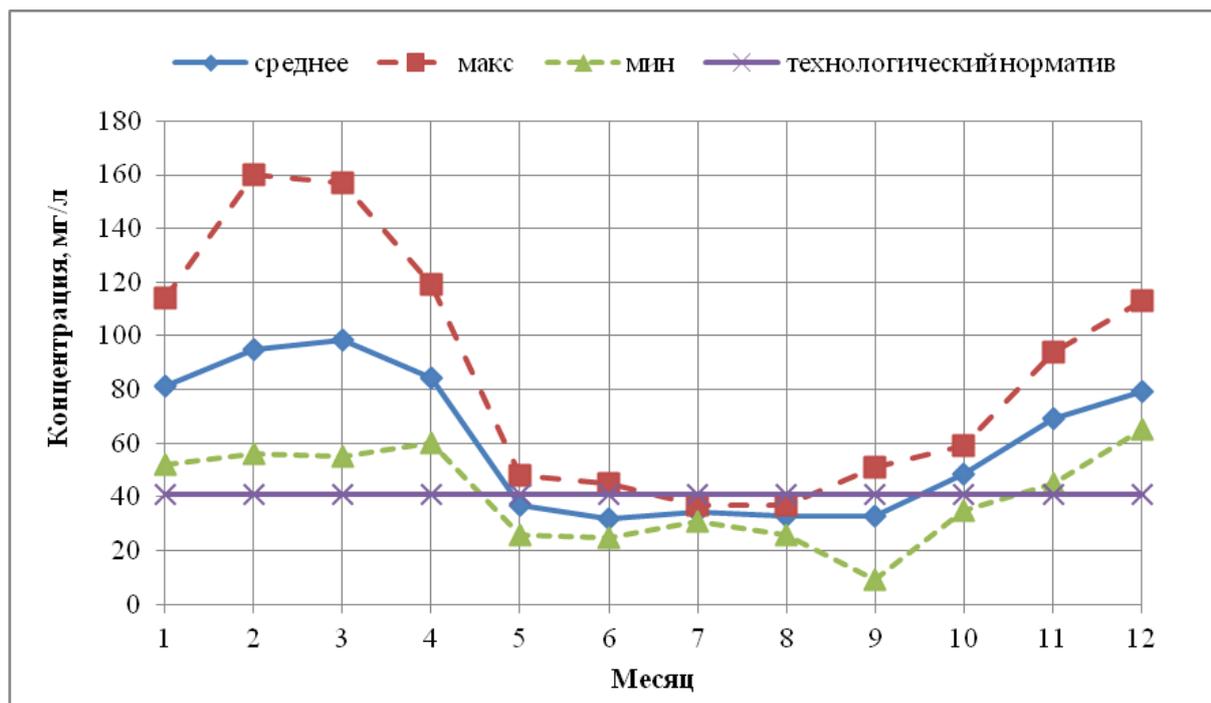


Рис. 5. Изменение по месяцам содержания в воде хлоридов (мг/л) по результатам проводимых ПАО «Уралкалий» наблюдений (промвода БКПРУ-4, забираемая из Верхне-Зырянского водохранилища) за период 2015-2020 гг.

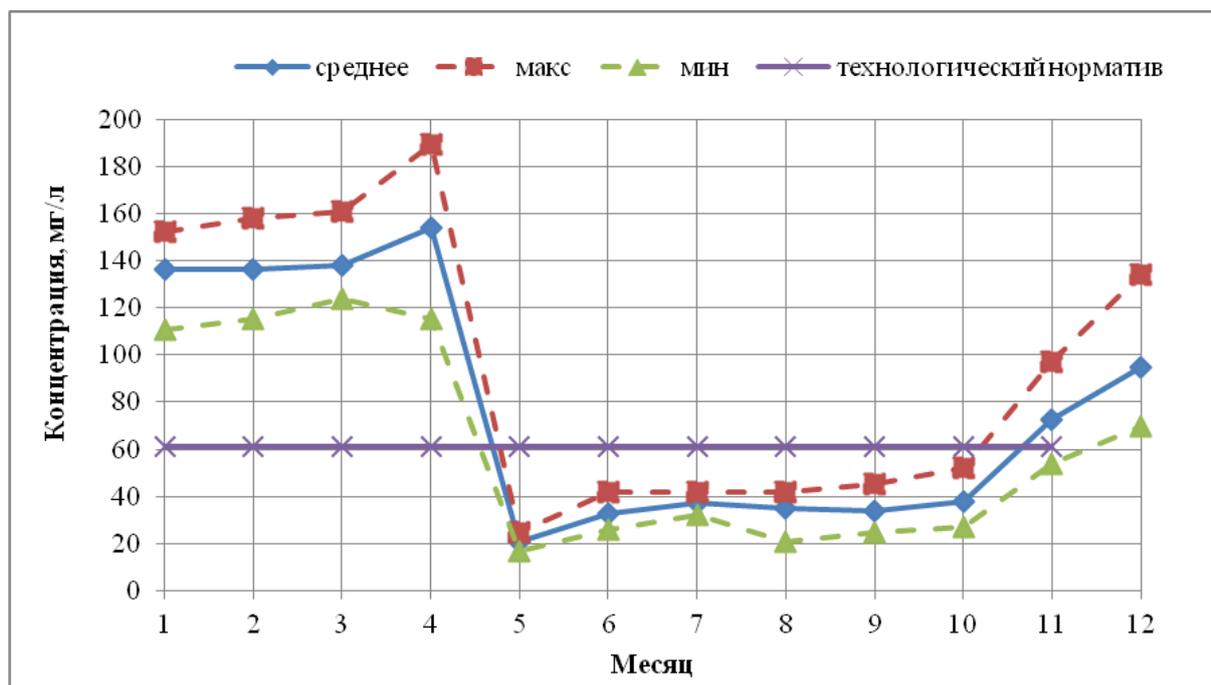


Рис. 6. Изменение по месяцам содержания в воде сульфатов (мг/л) по результатам проводимых ПАО «Уралкалий» наблюдений (промвода БКПРУ-4, забираемая из Верхне-Зырянского водохранилища) за период 2015-2020 гг.

В нижележащих слоях водохранилища (из-за невозможности их промыва) происходит постепенное накопление различных загрязняющих показателей, в том числе макрокомпонентов солевого состава, что, в свою очередь, со временем может привести к лимитированию использования водохранилища по качеству забираемой воды.

Что наглядно подтверждается результатами наблюдений в районе оголовка водозабора БКПРУ-4: как в период ледостава, так и в период открытого русла отмечается ярко выраженная стратификация – увеличение содержания в воде основных макрокомпонентов солевого состава от поверхности воды к придонному слою. Особенно четко это наблюдается в зимний период, когда содержание хлоридов в придонном слое превышает концентрацию хлоридов в поверхностном слое в 250 раз (табл. 1). Сильно растет концентрация в воде кальция, магния, общей жесткости. При этом необходимо отметить, что концентрация всех этих ингредиентов в воде р. Зырянка в верхнем течении и ниже плотины Верхне-Зырянского водохранилища не претерпевает существенных изменений (см. табл. 1).

Таблица 1

Результаты химического анализа проб воды, отобранных «ГИ УрО РАН» в период зимней межени 25 марта 2020 г. на Верхне-Зырянском водохранилище

Название загрязняющего вещества	Единицы измерения	Водозабор БКПРУ-2 (дно 4,5 м)	Водозабор БКПРУ-4 (поверхность)	Водозабор БКПРУ-4 (горизонт 4,5 м)	Водозабор БКПРУ-4 (дно)
Хлорид-ионы	мг/дм ³	541±54	14,7± 1,5	516±52	3694±369
Сульфат-ионы	мг/дм ³	53±5	44,1 ±4,4	132±13	140±14
Гидрокарбонат-ион расчетный	мг/дм ³	218±26	168±20	211±25	196±24
Жесткость общая	°ж	11,26±0,56	3,96±0,20	13,05±0,65	>50
Кальций	мг/дм ³	164±16	53,7±5,4	191±19	1091±109
Магний	мг/дм ³	43,6±4,4	12,5±1,3	51,5±5,2	459±46
Калий	мг/дм ³	16,1±1,6	2,01±0,28	19,5±2,0	<0,5
Натрий	мг/дм ³	198±20	8,3±1,2	169±17	78,9±7,9
Сухой остаток	мг/дм ³	1212±109	248±22	1268±114	7502±375

Результаты отбора проб на химические показатели хорошо согласуются с полученными результатами кондуктометрической съемки акватории Верхне-Зырянского водохранилища и подтверждают наличие слоев минерализованных вод в придонном слое. Все измерения электропроводности воды проводились в два этапа: 24-25 марта 2020 г. (в период зимней межени) и 15-16 июля 2020 г. (в период летней межени).

Как видно из представленного рисунка 7, в створе расположения оголовка водозабора БКПРУ-4 удельная электропроводность стабильна и не изменяется по глубине до слоя плотностного скачка. На этом участке в пересчете от удельной электропроводности на минерализацию воды, общая минерализация держится на уровне 0,3-0,4 г/л. В течение года расположение данного слоя плотностного скачка смещается в пределах ~ 1-2 м. В летний период он располагается на отметке 118-119 м БС (рис. 7), преимущественно ниже расположения оголовка водозабора. В зимний период из-за изменения режима питания водного объекта, увеличения доли подземной составляющей уровень плотностного скачка повышается до отметок 120-121 м БС. Таким образом, он вплотную приближается к горизонту размещения оголовка водозабора БКПРУ-4, при этом минерализация воды на рассматриваемой глубине возрастает до величин 0,5-0,6 г/л при пересчете от значения удельной электропроводности.

В связи с этим необходима организация селективного забора воды. Принципиальные особенности организации такого забора воды рассматриваются в [5].

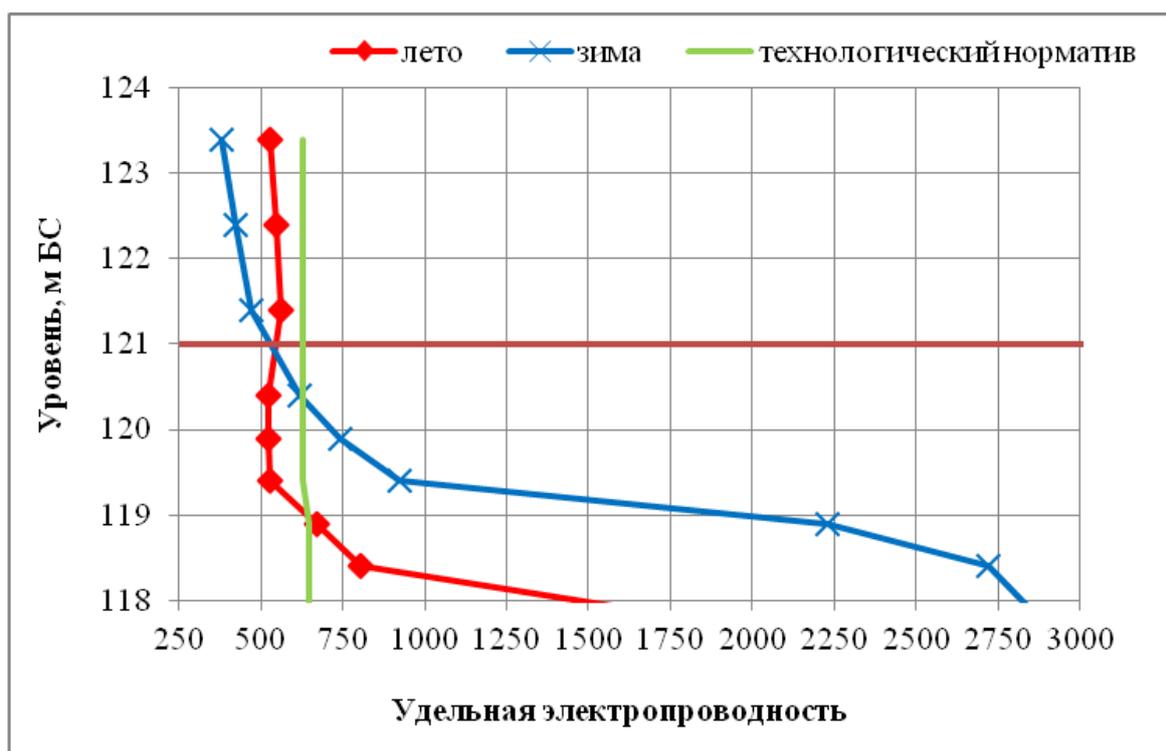


Рис. 7. Изменение по глубине (м БС) величины удельной электропроводности воды (мкСм/см) для участка расположения оголовка водозабора БКПРУ-4 в различные сезоны года для диапазона глубин с 123 по 118 отметку

За более чем пятидесятилетний срок эксплуатации Верхне-Зырянского водохранилища в его придонном слое происходило постепенное накопление различных загрязняющих показателей, в том числе макрокомпонентов солевого состава. Исходя из конструкции водосбросного устройства, при прохождении весеннего паводка не происходит активного обновления водных масс. Промывка водохранилища ограничивается только его верхним слоем фактически до отметки УМО – 119 м БС.

Выводы

В зимний период из-за незначительного притока пресных вод, смены питания водного объекта, которое определяется преимущественно подземными водами, происходит повышение границы нахождения более минерализованных вод в водохранилище, в результате качество забираемых вод для нужд предприятия БКПРУ-4 не удовлетворяет нормативным требованиям.

Наиболее простым, требующим минимальных затрат, подходом для гарантированного водоснабжения БКПРУ-4 является внесение конструктивных изменений в оголовки водозабора: изменение положения водозаборного окна при отметке 121,0 м БС. Расположение водозаборных окон должно обеспечивать отбор воды из вышележащих слоев (выше отметки 121,0 м БС). В то же время изменение расположения уровня оголовка водозабора в соответствии со строительными нормами требует увеличения отметки УМО до 122,3 м БС для учёта возможной максимальной толщины льда и строительного запаса. Для этого необходимо внести соответствующие изменения в действующую нормативную документацию с закреплением соответствующих положений в документах Камского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов (Камское БВУ), Западно-Уральского управления Ростехнадзора и прочих государственных службах.

Верхне-Зырянское водохранилище создавалось для решения задач водоснабжения промышленных предприятий г. Березники, прежде всего рудоуправлений ПАО «Уралкалий». Решение производственных задач определяет, что в настоящее время практически в течение всего года уровень воды в водохранилище не снижается ниже отметки 123 м БС, поэтому не должно возникнуть принципиальных сложностей по изменению отметки УМО данного водохранилища.

Необходимо принципиальное изменение подходов к организации ведомственного мониторинга на водохранилище. Должна не только производиться регулярная оценка содержания контролируемых показателей качества вод в поверхностном слое (до 0,5 м от поверхности), но и проводиться наблюдения за распределением показателей по всей глубине водохранилища на различных горизонтах как минимум два раза в год (зимняя и летняя межень). Важна оценка и анализ динамики положения «слоя скачка», отделяющего верхний менее минерализованный слой воды от нижнего с повышенной минерализацией. Это позволит проследить динамику изменения минерализации и делать прогноз развития ситуации на следующие годы.

*Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки
в рамках гос. задания № 0422-2019-0149-С-01.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Декларация безопасности Верхне-Зырянского водохранилища БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий». – Березники, 2013. –
2. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Техногенное воздействие Соликамско-Березниковского промузла на поверхностные водные объекты / А.П. Лепихин, С.А. Мирошниченко // Горн. журн. – 2008. – № 10. – С. 92-96.
3. Lepikhin A.P., Voznyak A.A., Lyubimova T.P., Parshakova Ya.N., Lyakhin Y.S., Bogomolov S.V. Studying the Formation and the Extent of Diffuse Pollution Formed by Large Industrial Complexes: Case Study of the Solikamsk-Berezniki Industrial Hub // Water Resources. – 2020. – V. 47, № 5. – P. 744-750. – DOI: 10.1134/S0097807820050127.
4. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. К проблеме оценки фоновое содержания химических ингредиентов в водотоках // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2000. – Т. 2, № 3. – С. 228.
5. Лепихин А.П., Немковский Б.Б., Онянов В.А., Капитанова Е.Н. Селективный отбор воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 1988. – № 3. – С. 27.

УДК 069.014

DOI:10.7242/echo.2021.1.5

О РАБОТЕ МУЗЕЯ КАРСТА И СПЕЛЕОЛОГИИ В 2019-2020 ГОДАХ

Д.В. Наумкин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Ведомственный музей карста и спелеологии существует при Кунгурской лаборатории-станции Горного института с 2004 г. Его специализация соответствует тематике исследований лаборатории. В статье рассматриваются результаты работы музея за 2019-2020 гг. по основным направлениям, которые являются общими для всех музейных учреждений страны: экспозиционная, выставочная, фондовая, экскурсионная и издательская деятельность. В течение отчетного периода модифицирована входная зона музея, где проводятся сменные выставки; оформлены три витрины в конференц-зале; проведено 4 временных выставки. Общий фонд поставленных на первичный музейный учет предметов составляет 5396 единиц хранения (2338 основного и 3058 – вспомогательного фонда). Завершен второй