УДК 556.555.8; 556.024; 556.18 https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-21-34

Особенности формирования качества воды Аргазинского водохранилища в периоды низких уровней

А.Ю. Орлова [1], А.В. Богомолов[2], А.И. Лучников[1,2], Ю.С. Ляхин[2], М.В. Антонова[3]

alena.orlova.rnvh@mail.ru

[1]*Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Камский филиал, г. Пермь, Россия*
[2]*Горный институт Уральского отделения Российской академии наук – филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия*
[3]*Западно-Уральский институт водных и экологических проблем, г. Пермь, Россия*

АННОТАЦИЯ

Актуальность. На примере Аргазинского водохранилища рассмотрены экологические последствия снижения уровня водохранилища многолетнего регулирования, расположенного на территории горнопромышленного техногенеза. Особенностью водоема является наличие техногенных сульфидсодержащих донных отложений в зоне переменного подпора. Цели исследования – описание процессов, оказывающих влияние на качество воды, и оценка масштабов возможного загрязнения водохранилища в периоды его низких уровней. **Методы.** Исследование включает анализ данных дистанционного зондирования Земли, гидрологических и гидрографических условий, количественный химический анализ проб воды. **Результаты.** Установлено, что сработка водохранилища ниже 2,5 м от нормального подпорного уровня приводит к осушению техногенных донных отложений. В зоне осушки протекают процессы гипергенных преобразований сульфидсодержащих отложений, приводящие к выносу загрязняющих веществ в водоем. Основной поток загрязняющих веществ в водохранилище транспортирует сток р. Миасс, в связи с чем расход и содержание поллютантов в реке являются определяющими факторами загрязнения питьевого источника. Наиболее интенсивное поступление меди, цинка, марганца и железа в водоем наблюдается во время ливневых осадков при величине площади осушки техногенных отложений ~ 10 % от площади зеркала водоема. В данных условиях качество воды не соответствует санитарно-гигиеническим нормативам по железу и марганцу, содержание цинка и меди превышает фоновые значения от 2 до 40 раз.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Аргазинское водохранилище, низкий уровень водохранилища, качество воды, сульфидсодержащие донные отложения, объекты накопленного экологического вреда.

Для цитирования: Орлова А.Ю., Богомолов А.В., Лучников А.И., Ляхин Ю.С., Антонова М.В. Особенности формирования качества воды Аргазинского водохранилища в периоды низких уровней // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 3. С. 21–34. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-21-34, EDN: OTQQSR

© Орлова А.Ю., Богомолов А.В., Лучников А.И., Ляхин Ю.С., Антонова М.В., 2025

Features of the formation of the Argazinsky reservoir water quality during the low-level periods

Alena Y. Orlova[1], Andrey V. Bogomolov[2], Anton I. Luchnikov[1,2], Yuriy S. Lyakhin[2], Maria V. Antonova[3]

alena.orlova.rnvh@mail.ru

[1]*Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, Perm, Russia*
[2]*Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia*
[3]*West Ural Institute of Water and Environmental Problems, Perm, Russia*

ABSTRACT

Relevance. The environmental consequences of a decrease in the level of a long-term regulation reservoir located in the mining technogenesis zone are considered using the Argazinsky reservoir as an example. A feature of the reservoir is the presence of technogenic sulphide-containing bottom sediments in the variable backwater zone. The purpose of the study is to describe the processes that affect water quality and assess the scale of possible reservoir pollution under low-level conditions. **Methods.** The study includes an analysis of Earth remote sensing data, hydrological and hydrographic conditions, and a study of water samples for quantitative chemical analysis. **Results.** It has been established that the drawdown of the reservoir below 2.5 m from the normal backwater level leads to the drying out of technogenic bottom sediments. In the drying zone, processes of hypergene transformations of sulphide-containing sediments occur, leading to the removal of pollutants into the reservoir. The main flow of pollutants into the reservoir is transported by the Miass River runoff, in connection with which the flow and content of pollutants in the river are one of the determining factors of pollution of the drinking water source. The most intensive entry of copper, zinc, manganese and iron into the reservoir is observed during heavy rainfall with the drying area of technogenic sediments of ~ 10% of the surface area. Under these conditions, the water quality does not meet the sanitary and hygienic standards for iron and manganese, the content of zinc and copper exceeds the background values from 2 to 40 times.

KEYWORDS: Argazinsky reservoir, low reservoir level, water quality, sulfide-containing bottom sediments, objects of accumulated environmental damage.

For citation: Orlova A.Y., Bogomolov A.V., Luchnikov A.I., Lyakhin Y.S., Antonova M.V. Features of the formation of the Argazinsky reservoir water quality during the low-level periods. *Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2025. No. 3. P. 21–34. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-21-34, EDN: OTQQSR

ВВЕДЕНИЕ

Челябинская область является регионом с низким уровнем водообеспеченности [1], в связи с чем проблема сохранения качества водных ресурсов на данной территории особенно актуальна. Для обеспечения потребностей регионального центра на р. Миасс построены Аргазинское и Шершневское водохранилища. Аргазинское является верхним в каскаде, в нем сосредоточен основной объем воды для питьевых нужд г. Челябинска и городов-спутников (Копейска, Еманжелинска, Коркино и др.) с населением более 1 млн человек, а также для технического водоснабжения предприятий города. Основные характеристики Аргазинского

водохранилища[1]: отметка нормального подпорного уровня (НПУ) 275,32 м БС, отметка уровня мертвого объема (УМО) 266,62 м БС, площадь зеркала водохранилища при НПУ составляет 113 км^2, объем – 966,1 млн м^3 [2]. Ближайший действующий пост гидрологических наблюдений на р. Миасс расположен в 16 км выше Аргазинского водохранилища в д. Новоандреевке. Параметры р. Миасс в створе д. Новоандреевки: среднегодовой расход – 6,44 м^3/с, максимальный расход весеннего половодья – 63,6 м^3/с, минимальный 30-суточный расход летне-осенней межени – 2,52 м^3/с. Для покрытия дефицита водных ресурсов, возникающего в маловодные годы, построены сооружения по переброске части стока р. Уфы в Аргазинское водохранилище с пропускной способностью тракта до 4 м^3/с. Однако критерии начала переброски стока по тракту не установлены.

В пяти км от Аргазинского водохранилища расположен г. Карабаш. В результате добычи и переработки колчеданных руд в XX в. в Карабашском городском округе (КГО) образованы такие объекты накопленного вреда, как хвостохранилища, шлакоотвалы, шламовые поля. Деятельность медеплавильного комбината, в т. ч. сброс отходов обогатительной фабрики (сульфидсодержащих шламов) непосредственно в гидрологическую сеть, привела к чрезвычайному загрязнению территории КГО [2–4], что обусловливает поступление загрязняющих веществ в р. Миасс и водохранилище.

В р. Миасс при впадении в водохранилище в гидрохимическом пункте государственной сети наблюдений (ГСН), расположенном в 5,2 км восточнее г. Карабаш (рис. 1), фиксируется превышение рыбохозяйственных нормативов по цинку до 48 ПДК, по меди – до 40 ПДК и по марганцу – до 60 ПДК, что соответствует высокому (ВЗ) и экстремально высокому (ЭВЗ) уровням загрязнения[2].

В 2020 г. проблема поступления значительной доли загрязнений с территории КГО в Аргазинское водохранилище решена региональными властями за счет перехвата части поверхностного стока территории и устройства гидроботанической площадки для его очистки. В результате реализации мероприятия поступление загрязнений в водохранилище снижено на 11 тыс. т/год[3].

Однако часть сульфидсодержащих шламов, вынесенных поверхностными водами с загрязненной территории, аккумулирована в зоне переменного подпора Аргазинского водохранилища. Названные отложения представляют собой измельченный тонкозернистый материал с повышенным содержанием железа, меди, цинка, свинца, никеля, марганца, кадмия, мышьяка [3, 4].

В маловодные периоды водохранилище срабатывается на 3–6 м ниже НПУ. За период с 1988 по 2025 г. сработки водохранилища более 3 м происходили в маловодные 1996–1999 гг., 2010–2013 гг. и в 2021–2024 гг. Продолжительность

[1] Основные положения правил использования водных ресурсов Аргазинского и Шершневского водохранилищ на р. Миасс. М., 1966.

[2] Сайт Челябинского ЦГМС – филиала ФГБУ «Уральское УГМС»: http://www.chelpogoda.ru (дата обращения: 01.02.2025).

[3] Годовой отчет о ходе реализации и оценке эффективности государственной программы Челябинской области «Охрана окружающей среды Челябинской области» на 2018–2025 годы». Утв. приказом Министерства экологии Челябинской области от 21.04.2020. 106 с.

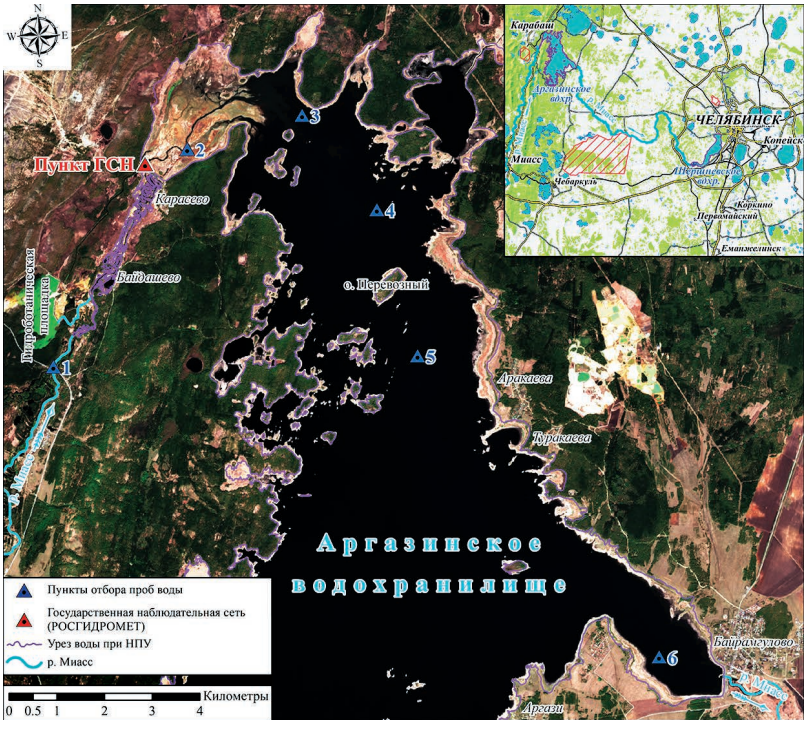


Рис. 1. Схема расположения участка обследования.
Fig. 1. Layout of the survey area.

периода с пониженным уровнем составляет 2–4 года, периодичность возникновения – порядка 10 лет. Прогноз изменения водности р. Миасс в створе поста д. Новоандреевки, выполненный Е.Д. Кошелевой и А.Т. Зиновьевым [5], показывает отрицательный тренд. Таким образом, с учетом глобальных климатических изменений в будущем возможно увеличение продолжительности и частоты периодов с пониженным уровнем водохранилища.

Вопрос изменения качества воды при снижении уровней водохранилищ рассмотрен в ряде работ [6–9], в которых показано, что при падении уровня водоемов возможно ухудшение качества воды за счет уменьшения кратности разбавления. Ситуация на Аргазинском водохранилище осложняется наличием объектов накопленного экологического вреда на водосборе и техногенных донных отложений в верховье водоема.

В связи с тем, что водохранилище является питьевым источником, важно поддержание качества воды в нем на уровне санитарно-гигиенических нормативов, в т. ч. и в маловодные периоды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В период пониженного уровня воды в 2022–2023 гг. выполнено натурное обследование состояния зоны осушки в верховье водохранилища. Проведен отбор проб воды в р. Миасс и Аргазинском водохранилище на химический анализ (рис. 1), в т. ч. в двух пунктах на р. Миасс: условно фоновая проба в пункте, расположенном выше зоны влияния объектов накопленного вреда КГО (№ 1), и в зоне осушки техногенных грунтов (№ 2); в четырех пунктах Арга-

зинского водохранилища, расположенных вдоль основного транзита водной массы (№ 3–6). Ввиду специфики формирующегося загрязнения отобранные пробы воды анализировали на валовое содержание следующих компонентов: медь, цинк, марганец и железо общее. Пробы воды исследованы в аккредитованной лаборатории по утвержденным методикам ПНДФ 14.1:2:4.135-98 и ПНДФ 14.1:2:253-09. Расходы р. Миасс приняты по данным гидрологического поста ГСН в д. Новоандреевке.

Построение профилей и расчет площадей зоны осушки при различных уровнях наполнения выполнены в геоинформационной системе ArcGIS с использованием цифровой модели рельефа дна (ЦМР) водохранилища, составленной по результатам полевого обследования. Величина рассчитанной площади осушки верифицирована по данным ДЗЗ – космическим снимкам Sentinel-2 с разрешением 10 м, находящимся в открытом доступе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В более ранних исследованиях [10] показано, что при наполненности Аргазинского водохранилища более 80 % (при уровне воды 273,14 м БС) качество воды соответствовало фоновым значениям р. Миасс. Наибольшие концентрации загрязняющих веществ на уровне ВЗ и ЭВЗ по марганцу, меди, цинку фиксировались на входе в водохранилище на расстоянии не далее 1,2 км от поста ГСН.

По результатам химического анализа проб воды р. Миасс и Аргазинского водохранилища, выполненного в безледоставный период 2022–2023 гг. при наполненности водохранилища менее 80 %, выявлен рост содержания меди, цинка, марганца, железа общего в верховье водохранилища и в р. Миасс (в зоне осушки) от 2 до 40 раз по сравнению с фоновым створом (табл. 1), превышение санитарно-гигиенических нормативов наблюдалось по железу в 1,5–2,3 раза и марганцу в 2–12 раз[4,5]. Верхние границы концентраций загрязняющих веществ зафиксированы во время ливневых осадков и при повышенных расходах р. Миасс.

Четко прослеживается неравномерность распределения загрязняющих веществ по длине водохранилища. Максимальное содержание поллютантов наблюдалось в р. Миасс в зоне осушки (пункт 2) и в верховье водохранилища на расстоянии около 10 км от ГСН (пункты 3, 4). Следует отметить, что содержание цинка и меди в наиболее удаленном от источника загрязнения створе (пункт 6) в 2023 г. было на порядок выше, чем в 2022 г. На рис. 2 на примере соединений цинка представлен характерный тип распределения загрязняющих веществ по длине водохранилища в периоды его пониженных уровней.

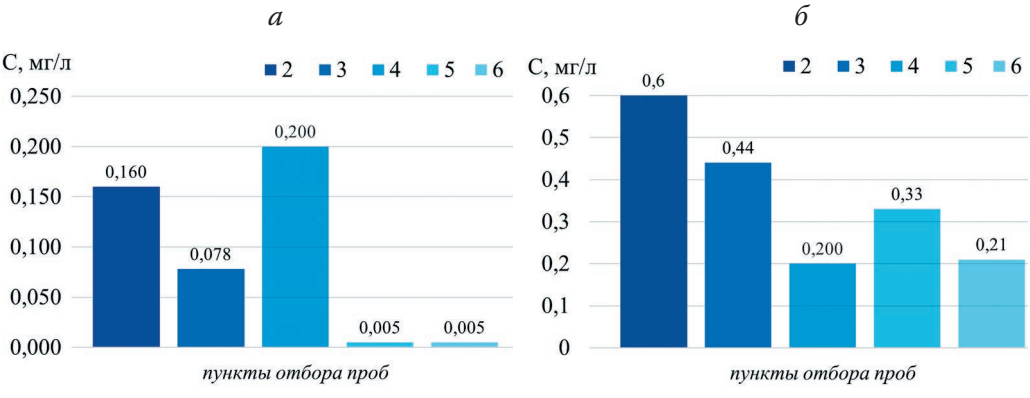
Ухудшение качества воды в условиях пониженных уровней водохранилища обусловлено рядом факторов. Техногенные грунты, депонированные в зоне выклинивания подпора, при наполненном водохранилище полностью затоплены. При этом поступление поллютантов в воду из донных отложений происходит за счет диффузионных процессов сорбции-десорбции на границе двух фаз [11], а также периодического поступления частиц грунта в толщу воды при ветро-волновом взмучивании [12].

[4] Отчет о наблюдениях за состоянием дна, берегов и изменением морфометрических особенностей Аргазинского водохранилища. Пермь: ООО «ЗУИВЭП», 2022. 80 с.

[5] Отчет о наблюдениях за состоянием дна, берегов и изменением морфометрических особенностей Аргазинского водохранилища. Пермь: ООО «ЗУИВЭП», 2023. 70 с.

Таблица 1. Содержание поллютантов в среднем горизонте Аргазинского водохранилища и р. Миасс (min-max), мг/дм^3 по данным[4,5]
Table 1. Content of pollutants in the middle horizon of the Argazinsky reservoir and the Miass River (min-max), mg/dm^3 according to the data[4,5]

Период	1 рМ, фон	2022 г. (~ 271,7 м БС)					2023 г. (ниже 270 м БС)				
Створ		2 рМ, зона осушки	3 (АВ)	4 (АВ)	5 (АВ)	6 (АВ)	2 рМ, зона осушки	3 (АВ)	4 (АВ)	5 (АВ)	6 (АВ)
Цинк	0,005–0,082	0,16–0,18	0,078–0,109	0,005–0,2	0,005–0,005	0,005–0,005	0,06–0,2	0,012–0,24	0,01–0,37	0,0057–0,062	0,005–0,07
Медь	0,001–0,015	0,038–0,045	0,026–0,034	0,009–0,07	0,0015–0,014	0,0013–0,006	0,013–0,081	0,0078–0,082	0,003–0,112	0,001–0,034	0,001–0,048
Марганец	0,02–0,22	0,27	0,31–0,6	0,113–1,26	0,103–0,17	0,056–0,099	0,48–0,6	0,122–0,44	0,126–0,54	0,121–0,33	0,0065–0,21
Железо общ.	0,08–0,319	0,379–0,509	0,195–0,439	0,19–0,212	0,124–0,287	0,155–0,414	0,093–0,69	0,088–0,512	0,208–0,43	0,05–0,183	0,075–0,386



июль 2022 г., ~ 272 м БС по данным[4] август 2023 г., ~ 270 м БС по данным[5]

Рис. 2. Распределение содержания цинка по длине Аргазинского водохранилища.
Fig. 2. Distribution of zinc content along the length of the Argazinsky reservoir.

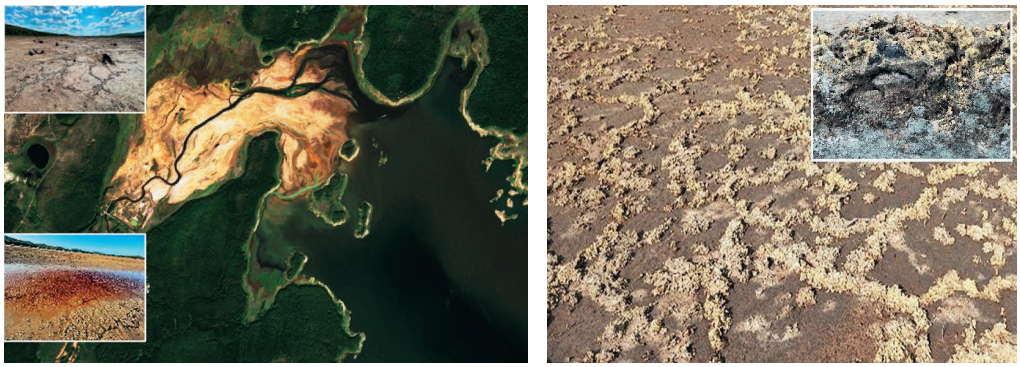
В маловодные периоды при сработке уровня водохранилища в зоне переменного подпора восстанавливаются речные условия, техногенные сульфидсодержащие грунты выходят из аквальных условий и в зоне осушки водохранилища наблюдается «оголение» донных отложений (рис. 3*а*). Сульфидсодержащие донные отложения в зоне осушки подвергаются гипергенным преобразованиям, в т. ч. эоловому переносу, водной эрозии и процессам окисления.

В работах [3, 4] показано, что шламовые отложения в г. Карабаше при плюсовых температурах и наличии влаги активно окисляются с участием бактерий,

в результате чего образуются сульфаты металлов и серная кислота. Сотрудниками Института минералогии УрО РАН описано формирование вторичных минеральных образований (вторичных сульфатов) на испарительном барьере на поверхности сульфидсодержащих отложений. Вторичные сульфаты являются неустойчивыми фазами и в период ливневых дождей за короткий промежуток времени способны переходить в растворенное состояние, поставляя в речную сеть соединения железа, меди, цинка и сульфат-иона [3]. Формирование вторичных сульфатов в зоне осушки Аргазинского водохранилища в 2023 г. показано на рис. 3*б*.

Распространение загрязняющих веществ по площади водохранилища за счет пыления оголенных отложений (рис. 4) и размыва осадками (рис. 5) продемонстрировано на космических снимках.

а *б*



космоснимок, сентябрь 2023 г. вторичные сульфаты, май 2023 г.

Рис. 3. Зона осушки верховьев Аргазинского водохранилища в 2023 г.
Fig. 2. Drying zone of the upper reaches of the Argazinsky reservoir in 2023:
a) space image, September 2023; *b*) secondary sulfates, May 2023.

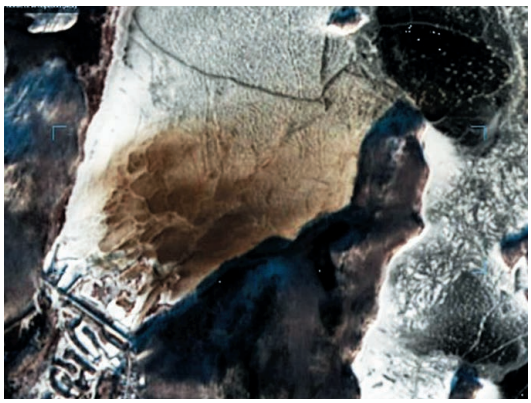


Рис. 4. Аэрогенный перенос частиц оголенного грунта, снимок от 28.11.2021.
Fig. 4. Airborne transfer of exposed soil particles, 11/28/2021.

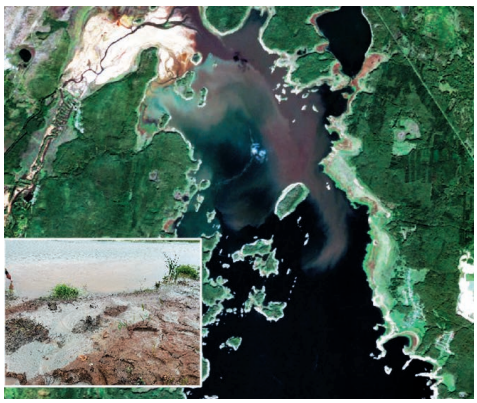


Рис. 5. Вынос загрязняющих веществ р. Миасс в Аргазинское водохранилище, снимок от 14.09.2023.
Fig. 5. Removal of pollutants by the Miass River into the Argazinsky Reservoir, 09/14/2023.

Загрязнению водохранилища аэрогенным путем способствуют западные и северо-западные ветры, преобладающие на данной территории.

Определяющими параметрами в формировании концентраций загрязняющих примесей в дождевом стоке являются слой осадков и продолжительность предшествующего сухого периода, а величина потока поллютантов в водохранилище будет зависеть в основном от интенсивности осадков и площади осушки техногенных грунтов [13].

С использованием ЦМР дна построена кривая зависимости площади осушки техногенных грунтов от уровней воды Аргазинского водохранилища (рис. 6). Площадь осушки также можно определить по данным ДЗЗ, однако этот метод имеет ограничения по качеству и частоте снимков. Построенная кривая позволяет определить площадь осушки при любом заданном уровне водохранилища. В августе 2023 г., например, при уровне 269,6 м БС площадь «оголения» сульфидсодержащих отложений была ~ 11,6 км^2, что составляет около 10 % от площади зеркала водохранилища.

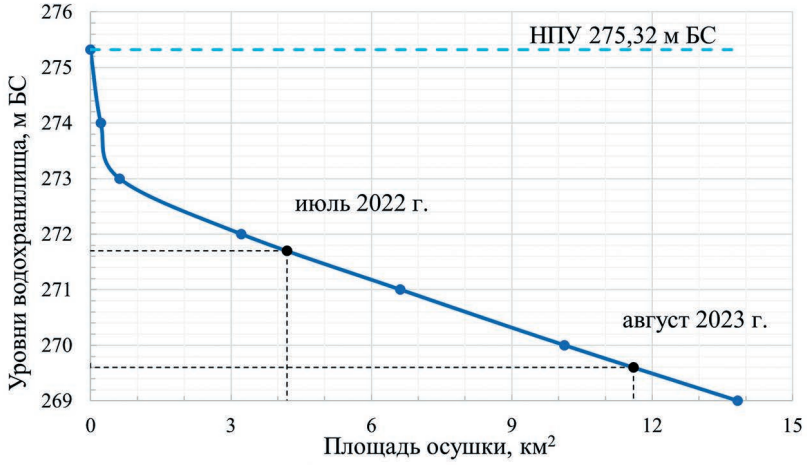


Рис. 6. Кривая зависимости площади осушки техногенных грунтов от уровней воды Аргазинского водохранилища.
Fig. 6. Curve of dependence of the drying area of technogenic soils on the water levels of the Argazinsky reservoir.

Анализ зависимости на рис. 6 показывает, что значительное увеличение площади осушки сульфидсодержащих отложений начинается с уровня ~ 272,8–273,0 м БС, что на 2,3–2,5 м ниже НПУ.

Таким образом, при сработке водохранилища ниже 273 м БС создаются условия для повышенного поступления загрязняющих веществ в р. Миасс и далее в Аргазинское водохранилище за счет более интенсивных процессов конвективного массопереноса в зоне осушки техногенных грунтов (ливневыми осадками и стоком р. Миасс) по отношению к десорбции поллютантов из донных отложений посредством диффузии в аквальных условиях (в случае отсутствия активных динамических явлений на водоеме).

Сток р. Миасс, осуществляющий транзит поллютантов из зоны осушки, вероятно, является доминирующим фактором, влияющим на качество воды питьевого источника. На представленном ранее космоснимке (рис. 5) хорошо визуализируется распространение шлейфа загрязняющих веществ, поступающих с потоком р. Миасс, в условиях пониженного уровня водоема.

Параметры зоны распространения загрязненного шлейфа в водохранилище будут зависеть от расходов р. Миасс. В табл. 2 представлено содержание поллютантов в пункте 4 водохранилища при разных расходах р. Миасс. Увеличение содержания меди, цинка, марганца и взвешенных веществ в водохранилище прослеживалось при росте расхода реки.

Таблица 2. Содержание поллютантов в воде Аргазинского водохранилища (пункт 4, средний горизонт) в условиях пониженных уровней по данным[4,5]
Table 2. Content of pollutants in the water of the Argazinsky reservoir (point 4, middle horizon) under conditions of low levels[4,5]

Содержание поллютантов, мг/дм³	Расход р. Миасс, м³/с		
	менее 3,0	6,1	22,0
Взвешенные вещества	0,86	4,6	14,5
Медь	0,02	0,07	0,11
Цинк	0,03	0,20	0,37
Марганец	0,34	1,26	0,54

Следует отметить, что на распространение загрязняющих веществ по длине водохранилища также оказывают воздействие особенности гидрографии дна водохранилища и форма ложа. В верхней части водоема расположены две группы островов: первая – около 4 км от входного створа, вторая (у о. Перевозный) – на расстоянии порядка 10 км от входного створа, выполняющие роль механических барьеров, где в результате уменьшения скоростей течения происходит осаждение наносов. В частности, в работе [14] около первой группы описано локальное увеличение мощности донных отложений. А ниже второй группы островов (пункт 5) в 2022 г. наблюдалось резкое снижение содержания поллютантов в воде (рис. 2*а*).

На карте распределения глубин (рис. 7) и поперечных профилях (рис. 8) по линии второй группы островов видно, что в периоды пониженных уровней на участке выше о. Перевозный формируется обособленная часть акватории, поток воды и загрязняющих веществ из которой осуществляется по зауженным протокам шириной 500–600 м между островами и левым берегом. Суммарная площадь живого сечения при этом снижается в 2,5 раза по сравнению с условиями, когда водохранилище наполнено до отметки 273 м БС, составляя 0,004 км² и 0,01 км² соответственно.

При сработке водохранилища до УМО барьерная функция островов будет утрачена в связи с восстановлением на всей северной части водохранилища речных условий, загрязненный сток р. Миасс будет напрямую поступать в озерный участок водохранилища.

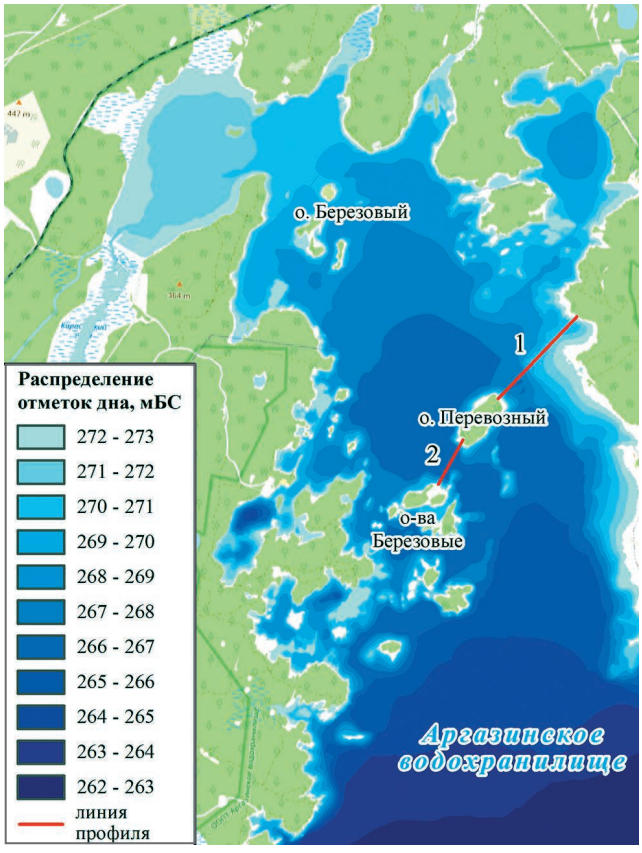


Рис. 7. Картосхема распределения глубин северной части Аргазинского водохранилища.
Fig. 7. Schematic map of distribution of depths of the northern part of the Argazinsky reservoir.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аргазинское водохранилище является источником питьевого водоснабжения крупной агломерации с населением более 1 млн человек. Особенность водохранилища – наличие в зоне переменного подпора техногенных сульфидсодержащих донных отложений, состоящих из отходов переработки колчеданных руд.

По результатам обследования состояния водохранилища в маловодный период 2022–2023 гг. показано, что в период сработки водохранилища на 3–6 м ниже НПУ качество воды водоема снижается. В данный период наблюдается рост содержания меди, цинка, марганца, железа общего в верховье водохранилища от 2 до 40 раз по сравнению с фоновым створом и превышение санитарно-гигиенических нормативов по железу в 1,5–2,3 раза, по марганцу – в 2–12 раз.

Основной причиной снижения качества воды является выход из аквальных условий техногенных сульфидсодержащих отложений, площадь которых достигает порядка 10 % зеркала водоема. При обнажении сульфидсодержащих отложений интенсифицируются процессы выщелачивания поллютантов за счет окисления сульфидов металлов, образования хорошо растворимых вторичных сульфатов. Транспорт загрязняющих веществ в питьевой источник

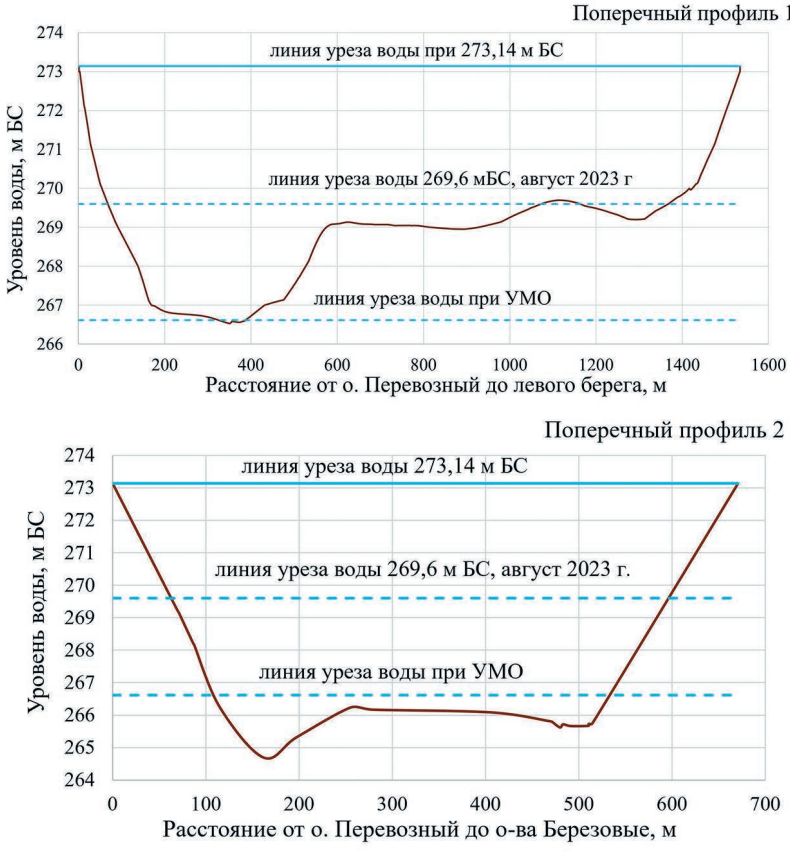


Рис. 8. Поперечные профили водохранилища в районе расположения группы островов у о. Перевозный.

Fig. 8. Cross-sections of the reservoir in the area of the group of islands near Perevozny Island.

осуществляется р. Миасс, а также за счет процессов водной и ветровой эрозии в зоне осушки. На распространение загрязняющих веществ по длине водоема оказывает сдерживающее влияние рельеф дна верхней части водохранилища.

Наихудший сценарий для качества воды водохранилища возможен при сочетании гидрологических (сработке водохранилища ниже 270,0 м БМС, расходах р. Миасс на уровне среднемноголетних и выше) и метеорологических факторов (ливневых осадков и ветров западного направления). Подобные условия наблюдались на водохранилище в 2023 г.

Исследования дают основу для понимания характера и масштабов возможного загрязнения водоема при сочетании различных условий и могут быть использованы для планирования реабилитационных мероприятий на данной территории.

Описанные процессы важно учитывать при определении графиков регулирования Аргазинского водохранилища и режимов его работы, а также при разработке критериев начала переброски стока р. Уфы в целях пополнения запасов Аргазинского водохранилища в маловодные периоды. Критерии переброски должны учитывать не только своевременное пополнение объема водных ресурсов, но и их качество.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS
The authors declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никаноров В.А., Косолапов А.Е. Оценка водообеспеченности и нагрузки на поверхностные водные ресурсы регионов Российской Федерации / В.А. Никаноров, А.Е. Косолапов // Мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. «Водные ресурсы России: современное состояние и управление», г. Сочи, 8–14 октября 2018 г. В 2 т. Т. 1. Сочи: ООО «Лик», 2018. С. 4–11.
2. Таций Ю.Г. Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды в зоне действия Карабашского медеплавильного комбината // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2012. № 12. С. 90–96.
3. Удачин В.Н., Аминов П.Г., Филиппова К.А. Геохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 252 с.
4. Сборник материалов по проблеме загрязнения Аргазинского водохранилища водотоками Карабашского промышленного узла / Министерство радиационной и экологической безопасности Челябинской области, ЮУрГУ. Челябинск: Магнитогорский дом печати, 2011. 116 с.
5. Кошелева Е.Д., Зиновьев А.Т. Анализ изменения водности рек Обь-Иртышского бассейна в условиях изменения климата // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2017. № 3 (46). С. 80–86.
6. Салов Г.В. Особенности эксплуатации Краснодарского водохранилища при сниженном нормальном подпорном уровне // Мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. «Водные ресурсы России: современное состояние и управление», г. Сочи, 8–14 октября 2018 г. В 2 т. Т. 1. Сочи: ООО «Лик», 2018. С. 190–197.
7. Wang Z., Wang T., Liu X., Hu S., Ma L., Sun X. Water Level Decline in a Reservoir: Implications for Water Quality Variation and Pollution Source Identification // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020, 17, 2400. ISSN 1660-4601.
8. Латыпова В.З. Уровенный режим Куйбышевского водохранилища: экологические и экономические аспекты // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2012. № 2 (54). С. 11–14.
9. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Малые водохранилища: экология и безопасность. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. 256 с.
10. Богомолов А.В., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С., Белобородов А.В., Тиунов А.А. К вопросу оценки качества воды Аргазинского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 1. С. 6–23. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-6-23.
11. Вениционов Е.В., Лепихин А.П. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах / под науч. ред. А.М. Черняева; КамНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. 236 с.
12. Ding W., Wu T., Qin B., Lin Y., Wang H. Features and impacts of currents and waves on sediment resuspension in a large shallow lake in China // Environmental science and pollution research international. 2018, Dec; 25 (36): 36341-36354.
13. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения: коллективная монография / под рук. В.И. Данилова-Даниляна. М.: РАН, 2020. 512 с.
14. Белобородов А.В., Богомолов А.В., Лепихин А.П., Ляхин Ю.С. Опыт применения гидроакустического профилографа для оценки мощности донных отложений крупного водохранилища (на примере Аргазинского водохранилища) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 3. С. 6–18. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-3-6-18.

REFERENCES

1. Nikanorov V.A., Kosolapov A.Y. Assessment of water availability and load on surface water resources of the Russian Federation. Water resources of Russia: current state and management: collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. 2018. P. 4–11 (In Russ.).

2. Tatsiy Yu.G. Ecological and geochemical evaluation of environmental pollution within the operating area of the Karabash copper-smelting plant. *Tyumen State University Herald*. 2012. 12. 81–86. ISSN 2411-7927.
3. Udachin V.N., Aminov P.G., Filippova K.A. Geochemistry of mining technogenesis of the Southern Urals. Ekaterinburg, 2014. 252 p. (In Russ.).
4. Collection of materials on the problem of pollution of the Argazinskoye reservoir by watercourses of the Karabash industrial hub. Ministry of Radiation and Environmental Safety of the Chelyabinsk Region, Chelyabinsk, 2011. 116 p. (In Russ.).
5. Kosheleva E.D., Zinoviev A.T. Analysis of changes in the water change of the Ob-Irtysh basin river for the causer of climate change. *Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society*. 2017. 3 (46). 80–86. ISSN 2410-1192 (In Russ.).
6. Salov G.V. Features of the operation of the Krasnodar reservoir with a reduced normal backwater level. Water resources of Russia: current state and management: collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference, 2018. 190–197 (In Russ.).
7. Wang Z., Wang T., Liu X., Hu S., Ma L., Sun X. Water Level Decline in a Reservoir: Implications for Water Quality Variation and Pollution Source Identification. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020. 17. 2400. ISSN 1660-4601.
8. Latypova V.Z. Leveled conditions of the Kuibyshev reservoir: ecological and economic aspects. *Journal of Ecology and Industrial Safety*. 2012. 2 (54). P. 11–14. ISSN: 2079-911X (In Russ.).
9. Maksimovich N.G., Pyankov S.V. The small reservoir: ecology and safety. Perm, 2012. 256 p. (In Russ.).
10. Bogomolov A.V., Lepikhin A.P., Lyakhin Yu.S., Beloborodov A.V., Tiunov A.A. Assessment of water quality of the Argazin reservoir. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2021. 1. P. 6–23 (In Russ.).
11. Venitsianov E.V., Lepikhin A.P. Physical/chemical basis for modeling the migration and transformation of heavy metals in natural waters. Ekaterinburg, 2002. 235 p. (In Russ.).
12. Ding W., Wu T., Qin B., Lin Y., Wang H. Features and impacts of currents and waves on sediment re-suspension in a large shallow lake in China. *Environmental science and pollution research international.* 2018, Dec; 25 (36): 36341-36354. ISSN 0944-1344.
13. Diffuse Pollution of Water Bodies: Problems and Solutions. Collective monograph under the supervision of V.I. Danilov-Danilyan. Moscow, 2020. 512 p. (In Russ.).
14. Beloborodov A.V., Bogomolov A.V., Lepikhin A.P., Lyakhin Yu.S. Experience of application of hydroacoustic profilograph for estimation of bottom sediments of large reservoirs (the Argazin reservoir as a study case). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2020. 3. P. 6–18 (In Russ.).

Сведения об авторах:

Орлова Алена Юрьевна, канд. хим. наук, научный сотрудник, Камский филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; ORCID: 0009-0009-5954-409X; e-mail: alena.orlova.rnvh@mail.ru

Богомолов Андрей Владимирович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; ORCID: 0000-0003-0626-4069; e-mail: whitewing85@mail.ru

Лучников Антон Игоревич, научный сотрудник, Камский филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; ведущий инженер, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; ORCID: 0000-0002-0660-2462; e-mail: luchnikovanton@gmail.com

Ляхин Юрий Сергеевич, канд. техн. наук, научный сотрудник, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; ORCID: 0000-0001-8058-5587; e-mail: ljahin85@mail.ru

Антонова Мария Вячеславовна, инженер-картограф, ООО «Западно-Уральский институт водных и экологических проблем», Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; e-mail: ghosttin@mail.ru

About the authors:

Alena Y. Orlova, Candidate of Chemical Sciences, Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; ORCID: 0009-0009-5954-409X; e-mail: alena.orlova.rnvh@mail.ru

Andrey V. Bogomolov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; ORCID: 0000-0003-0626-4069; e-mail: whitewing85@mail.ru

Anton I. Luchnikov, Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; Leading Engineer, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; ORCID: 0000-0002-0660-2462; e-mail: luchnikovanton@gmail.com

Yuriy S. Lyakhin, Candidate of Technical Sciences, Researcher, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Sibirskaya, 78A, Perm, 614007, Russia; ORCID: 0000-0001-8058-5587; e-mail: ljahin85@mail.ru

Maria V. Antonova, Plotter Engineer, West Ural Institute of Water and Environmental Problems, ul. Nikolaya Ostrovskogo, 113, Perm, 614002, Russia; e-mail: ghosttin@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 11.03.2025.
Поступила после рецензирования / Revised 27.03.2025.
Принята к публикации / Accepted 30.05.2025.