



Научная статья

## КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ БУКТЫРМИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ОСНОВЕ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ (2014...2025 ГГ.)

Лаура Т. Исмуханова PhD , Ботакоз М. Султанбекова\* , Айнұр Мұсақұлқызы к.т.н. ,  
Азамат С. Мадиеков ассоциированный профессор, PhD

АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан, Алматы, Казахстан; [l-aura@bk.ru](mailto:l-aura@bk.ru) (ЛТИ),  
[sultanbekova\\_botakoz@mail.ru](mailto:sultanbekova_botakoz@mail.ru) (БМС), [mus\\_ain@mail.ru](mailto:mus_ain@mail.ru) (АМ), [madibekov@mail.ru](mailto:madibekov@mail.ru) (АСМ)

\*Автор корреспонденции: Ботакоз М. Султанбекова, [sultanbekova\\_botakoz@mail.ru](mailto:sultanbekova_botakoz@mail.ru)

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Буктырминское  
водохранилище,  
тяжелые металлы,  
гидрохимическое  
состояние,  
экологическая оценка,  
биоаккумуляция,  
мониторинг

### АБСТРАКТ

Буктырминское водохранилище, крупнейший водный объект в верхнем течении р. Ертис, играет ключевую роль в водохозяйственном комплексе Восточного Казахстана, сочетая функции гидроэнергетики, регулирования стока, водоснабжения и рыбохозяйственного использования. Интенсивное развитие горнодобывающей и металлургической промышленности региона сопровождается поступлением в экосистему водного объекта тяжелых металлов, обладающих устойчивостью, миграционной способностью и склонностью к биоаккумуляции. В работе обобщены данные государственного мониторинга РГП «Казгидромет» за 2014...2025 гг., а также результаты отечественных и зарубежных исследований, посвященных изучению воды, донных отложений и гидробионтов. Гидрохимические параметры водохранилища в целом стабильны: вода имеет слабощелочную реакцию, удовлетворительный кислородный режим и умеренную минерализацию. Основными элементами, формирующими токсикологический состояние, являются медь и марганец, концентрации которых в отдельные годы достигали 3.9 мг/дм<sup>3</sup> и 24.0 мг/дм<sup>3</sup> соответственно, что связано как с локальным техногенным воздействием, так и с природными процессами вторичного высвобождения загрязнителей из донных отложений. Содержание цинка, никеля, свинца и кадмия в большинстве случаев соответствовало фоновому уровню. Установлено наличие локальных зон повышенного накопления металлов и их биоаккумуляции в тканях рыб.

### По статье:

Получено: 23.09.2025  
Пересмотрено: 03.10.2025  
Принято: 04.10.2025  
Опубликовано: 08.10.2025

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Современные экологические исследования подчеркивают необходимость комплексного подхода к оценке загрязнения природных систем, особенно в условиях индустриально освоенных регионов. В восточной части Казахстана, где сосредоточены крупнейшие горнодобывающие и металлургические предприятия страны, вопросы охраны водных экосистем приобретают стратегическое значение. Загрязнение тяжелыми металлами рассматривается как один из наиболее серьезных факторов экологического риска, поскольку данные элементы обладают высокой токсичностью, устойчивостью к разложению, способностью к миграции в различных средах и к биоаккумуляции в тканях гидробионтов [1..3]. При этом поверхностные воды играют двойную роль: они служат транспортирующей средой для загрязнителей и одновременно становятся объектом их аккумуляции, поскольку значительная часть соединений металлов накапливается в донных осадках и живых организмах. В дальнейшем такие депонирующие компоненты способны выступать вторичным

**Для цитирования:**

Исмуханова Л.,  
Султанбекова Б.,  
Мұсақұлқызы А.,  
Мадиеков А. Комплексная  
характеристика состояния  
Буктырминского  
водохранилища на основе  
многолетних наблюдений  
(2014...2025 гг.) // *Гидрометеорология и  
экология*, 119 (4), 2025, 58-  
69.

источником загрязнения, особенно в условиях колебаний гидрологического режима [4...5].

Буктырминское водохранилище, образованное на р. Ертис, является одним из крупнейших водоемов Казахстана и ключевым гидротехническим объектом региона, который выполняет функции регулирования стока, водоснабжения, энергетического обеспечения и рыбохозяйственного использования. Вместе с тем водоем находится под влиянием как природных геохимических процессов, так и антропогенной нагрузки. Район характеризуется сочетанием активного горнодобывающего и металлургического производства, сельскохозяйственного освоения и урбанизации. В этих условиях водохранилище становится объектом поступления соединений меди, цинка, свинца, кадмия, хрома и других элементов, поступающих как с промышленными стоками, так и с атмосферными осадками и поверхностным стоком с урбанизированных территорий [6].

История изучения экосистемы Буктырминского водохранилища охватывает более полувека. Первые работы 1960...1970-х годов были посвящены ихтиофауне и рыбохозяйственной оценке. Вклад в исследование биологии промысловых рыб внесли Мартехов П.Ф., Ерещенко В.И., Федотова Л.А., Исмуханов Х.К., Кириченко О.И., Куликов Е.В. что позволили выявить изменения в составе и численности рыбных запасов в условиях гидротехнического регулирования стока и указывали на первые признаки воздействия антропогенных факторов на экосистему [7...17].

Параллельно развивались гидробиологические направления, охватывавшие изучение фитопланктона, зоопланктона, бентоса и перифитона. Вклад в эти исследования внесли Тютеньков С.К., Пильгук В.И., Козляткин А.Л., Баженова О.П. и Девятков В.И. и др. Данные работы показали, что изменения структуры сообществ напрямую связаны с антропогенным прессингом, включая поступление загрязнителей и изменение гидрологического режима [18...26].

С конца 1970-х годов все большее внимание уделялось гидрохимии и проблеме накопления тяжелых металлов. Работы Козляткина А.Л. и Мещеряковой Т.И. показали наличие превышений концентраций меди, цинка и свинца в отдельных зонах, особенно вблизи мест сброса сточных вод [21,23]. Баженова О.П. и Куликовой Е.В. выявила аккумуляцию свинца, меди, цинка и кадмия в донных отложениях, а также изменения состава бентоса, связанные с хроническим загрязнением. Современные исследования с применением атомно-абсорбционной спектроскопии и масс-спектрометрии позволили количественно подтвердить локальные геохимические аномалии [16,23]. Так, Тирская Н.А. показала накопление меди и цинка в органах рыб: содержание меди в мышцах доходило до 4.47 мг/кг, а цинка – до 14.6 мг/кг, что приближалось к санитарным нормативам, при этом в печени и жабрах концентрации были в 2...3 раза выше [27,28].

Современное состояние водоема характеризуется умеренным уровнем загрязнения в среднем по акватории, но при этом в ряде локальных зон зафиксированы концентрации меди и цинка, превышающие рыбохозяйственные нормативы в 1.2...2.1 раза. Наибольшая опасность заключается в способности донных отложений выступать вторичным источником загрязнения при изменении гидродинамических условий, а также в подтвержденном факте биоаккумуляции металлов в тканях рыб, что создает угрозу для трофических цепей и рыбохозяйственного использования [1,16,29,30].

Таким образом, история изучения Буктырминского водохранилища демонстрирует многолетнюю актуальность проблемы тяжелых металлов и комплексность воздействия на экосистему. Наличие локальных зон накопления загрязнителей и их перенос по пищевым цепям подтверждают необходимость системного мониторинга с использованием как химико-аналитических методов, так и биоиндикации. Целью настоящей статьи является обобщение многолетних данных о

гидрохимическом и токсикологическом состоянии Буктырминского водохранилища, выявление закономерностей распределения тяжелых металлов в воде, донных осадках и биоте, а также сопоставление полученных результатов с аналогичными исследованиями в других регионах Казахстана и мира для комплексной оценки экологических рисков.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является Буктырминское водохранилище, расположенное в Восточном Казахстане, в бассейне р. Ертис. Водохранилище образовано строительством Буктырминской ГЭС, введенной в эксплуатацию в 1960 г. Площадь зеркала водоема, составляет около 5490 км<sup>2</sup>, объем при нормальном подпорном уровне – 49.6 км<sup>3</sup>, длина водохранилища – более 400 км. Гидрологический режим определяется регулированием стока Верхнего Ертиса, поступлением вод из Бухтармы и многочисленных малых притоков. Благодаря крупным размерам и проточности, водохранилище сочетает черты речного и озерного типа, а в отдельных заливах и плесах формируются локальные застойные условия [6].

Мониторинг РГП «Казгидромет» в период 2014...2025 гг. охватывал пять стационарных створов, отражающих различные гидрологические и антропогенные условия:

- п. Новая Бухтарма – Пункт привязки 1.8 км (0.5 км протяженности водохранилища) от правого берега по А-250 от нефтебазы и от опорного геодезического пункта;
- с. Хрестовка – Пункт привязки 0.3 км (0.5 км протяженности водохранилища) по створу от левого берега в районе села Хрестовка;
- с. Куйган – Пункт привязки 1.8 км (0.9 км протяженности водохранилища) по створу от левого берега в районе села Куйган, вблизи нефтебазы;
- с. Хайрузовка – Пункт привязки 8.7 км (0.37 км протяженности водохранилища) по А-254 от устья реки Нарым в районе села Хайрузовка;
- Каракасское сужение – Пункт привязки 1 км (0.52 км протяженности водохранилища) от юго-восточного берега по А-120 от южной границы Нижний Каракас, подверженный влиянию течения и береговой эрозии [31].

В исследовании использовались статистические и расчетные методы на основе данных Казгидромета. В Microsoft Excel выполнялись обработка исходных данных и расчет средних значений. Такой подход обеспечил надежную интерпретацию данных и их наглядное представление.

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Гидрохимические параметры*

Анализ данных государственного мониторинга за 2014...2025 г., представленных РГП «Казгидромет», позволяет проследить многолетнюю динамику качества воды и оценить риски, связанные с содержанием токсичных элементов. Вода водохранилища служит источником хозяйственно-бытового, промышленного и рекреационного водопользования, поэтому понимание ее состояния имеет стратегическое значение.

За весь период наблюдений вода в Буктырминском водохранилище характеризовалась слабощелочной реакцией (таблица 1). Водородный показатель находился в диапазоне от 7.8...7.9 в начале периода до 8.2...8.4 в последние годы. Такая стабильность указывает на устойчивость биохимических процессов и сбалансированность карбонатной системы, формирующей кислотно-щелочной баланс воды. Щелочная реакция благоприятна для развития фитопланктона и зоопланктона, что подтверждается высокой биологической продуктивностью водоема, отмеченной в независимых исследованиях. При этом повышение рН в летний период связано с фотосинтетической активностью водорослей, а зимой

значения несколько ниже, что отражает снижение интенсивности биохимических процессов [32,33].

Содержание кислорода в воде варьировало от 7.2 мг/дм<sup>3</sup> в неблагоприятные периоды до 13.0 мг/дм<sup>3</sup> в условиях максимального насыщения. Средние значения находились на уровне 7.9...8.8 мг/дм<sup>3</sup>, что указывают на удовлетворительное состояние кислородного режима. Однако в летние месяцы в некоторых створах фиксировалось снижение содержания кислорода до 7.2...7.4 мг/дм<sup>3</sup>, что связано с повышением температуры и стратификацией водной массы. Несмотря на эти колебания, критического дефицита кислорода не отмечалось, что позволяет сделать вывод об отсутствии угрозы массовой гибели гидробионтов из-за низкого содержания кислорода [32,33].

**Таблица 1**

*Средние многолетние гидрохимические параметры воды Буктырминского водохранилища (2014...2025 гг.)*

| Створ                 | рН  | Растворенный<br>кислород, мг/дм <sup>3</sup> | БПК <sub>5</sub> ,<br>мг/дм <sup>3</sup> | ХПК,<br>мг/дм <sup>3</sup> | Взвешенные<br>вещества, мг/дм <sup>3</sup> | Минерализация,<br>мг/дм <sup>3</sup> |
|-----------------------|-----|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| Хрестовка             | 7.8 | 8.99                                         | 1.56                                     | 8.45                       | 5.9                                        | 158                                  |
| Каракасское сужение   | 7.9 | 8.77                                         | 1.95                                     | 8.84                       | 12.4                                       | 169                                  |
| Новая Бухтарма        | 8.0 | 8.45                                         | 1.83                                     | 9.09                       | 11.6                                       | 185                                  |
| Куйган                | 7.8 | 9.80                                         | 1.66                                     | 9.62                       | 6.9                                        | 160                                  |
| Хайрузовка (р. Нырым) | 8.2 | 8.15                                         | 1.41                                     | 8.95                       | 7.2                                        | 195                                  |

Средние значения биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) в воде составили 1.4...1.9 мг/дм<sup>3</sup>, что указывает на низкий уровень органического загрязнения и локальные подъемы в районах Новой Бухтармы и Каракасского сужения. Химическое потребление кислорода (ХПК) варьировало в пределах 8.5...9.6 мг/дм<sup>3</sup>, отражая допустимый уровень загрязнения с повышением у Куйгана и Новой Бухтармы, где влияние хозяйственных факторов наиболее выражено.

Взвешенные вещества в среднем находились на уровне 4.0...9.0 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствует умеренному загрязнению. Однако в отдельные годы отмечались аномально высокие значения: в 2013 г. до 69.0 мг/дм<sup>3</sup>, а в 2020 г. – до 86.0 мг/дм<sup>3</sup>, что связано с размывом берегов, ветровыми процессами и поступлением стока с прилегающих территорий. В остальные годы концентрации взвешенных веществ были в значительно малых концентрациях, что говорит о стабильности водного объекта.

Минерализация воды находилась в пределах от 160 до 206 мг/дм<sup>3</sup>, с высокими значениями до 270 мг/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатно-кальциевого типа вод, характерный для верхнего течения р. Ертис. Существенных изменений минерализации не выявлено, что говорит об устойчивости геохимического баланса, без существенного антропогенного воздействия.

#### *Содержание тяжелых металлов*

Медь на протяжении рассматриваемого периода характеризовалась достаточно стабильными уровнями (таблица 2). Средние концентрации за 2014...2025 гг. находились в диапазоне 1.2...1.9 мкг/дм<sup>3</sup>, что ниже предельно допустимых значений для рыбохозяйственных нормативов. Максимальные величины варьировали от 3.1 мкг/дм<sup>3</sup> в Каракасском сужении до 4.5 мкг/дм<sup>3</sup> в районе Новой Бухтармы и Хрестовки. Наиболее высокие значения зафиксированы в Хайрузовке, где содержание меди достигало 9.0 мкг/дм<sup>3</sup>. В пространственном распределении, наибольшие значения меди чаще встречаются в районах с интенсивной прибрежной деятельностью и в узких створах, где течение замедлено и происходят процессы накопления взвешенных частиц. Межгодовые изменения меди выражены слабо: в отдельные годы отмечались

колебания в пределах 0.5...1.0 мкг/дм<sup>3</sup> относительно среднего уровня, но общая тенденция роста или снижения отсутствует. Таким образом, можно утверждать, что загрязнение медью происходит за счет антропогенной нагрузки.

Средние значения марганца в воде составляли 6.0...7.0 мкг/дм<sup>3</sup>, что соответствует низкому уровню загрязнения, однако в отдельные годы фиксировались значительно высокие значения. Так, в 2013 г. максимальное содержание достигало 24.0 мкг/дм<sup>3</sup>, в 2019 г. – 18.0 мкг/дм<sup>3</sup>, в 2023 г. – 12.0 мкг/дм<sup>3</sup>. Высокие значения марганца были зарегистрированы в 2019 г. в районе Хрестовки до 38.0 мкг/дм<sup>3</sup>. Характерно, что повышенные уровни марганца фиксировались преимущественно летом. В этот период происходило активное поступление металла из донных отложений в условиях снижения кислорода у дна и высокой температуры воды, что активизировало ранее накопленные соединения. Именно этот механизм объясняет устойчивые подъемы марганца у Куйгана и Хрестовки, где гидродинамика менее интенсивна и процессы донного высвобождения наиболее выражены. Наблюдается повторяемость летних максимумов в годы с жаркой погодой и низкой водностью. Зимой и весной, напротив, концентрации выравнивались по акватории и опускались до фоновых величин. Таким образом, марганец представляет собой элемент, содержание которого сильнее зависит от сезонных факторов и внутренних процессов водоема, чем от внешнего притока.

**Таблица 2**

*Средние многолетние концентрации тяжелых металлов в воде (2014...2025 гг., мкг/дм<sup>3</sup>)*

| Створ                 | Cu   | Zn   | Ni   | Mn   | Cd    | Pb    |
|-----------------------|------|------|------|------|-------|-------|
| Хрестовка             | 1.64 | 1.77 | 0.04 | 7.22 | следы | следы |
| Каракасское сужение   | 1.51 | 2.18 | 0.04 | 7.07 | следы | следы |
| Новая Бухтарма        | 1.49 | 2.26 | 0.06 | 6.58 | следы | следы |
| Куйган                | 1.67 | 1.96 | 0.07 | 7.04 | следы | следы |
| Хайрузовка (р. Нырым) | 1.53 | 2.35 | 0.20 | 6.69 | следы | следы |

Концентрации цинка были в пределах 2.0...3.0 мкг/дм<sup>3</sup>, что значительно ниже нормативных уровней. При этом зафиксированы значительные увеличения концентрации в 2017...2019 гг. до 15.0...38.0 мкг/дм<sup>3</sup>. у Хайрузовки и Куйгана и носили кратковременный характер, которое связано с поступлением загрязненных взвесей при паводках или с локальными хозяйственными воздействиями. В целом содержание цинка в среднем по акватории оставался в пределах нормативных значений.

Никель, как и цинк, определялся преимущественно на уровне следов. Среднее содержание по многолетним данным составило менее 1.0 мкг/дм<sup>3</sup>. В отдельные годы наблюдались кратковременные подъемы до 12.0...18.0 мкг/дм<sup>3</sup>, зафиксированные в 2017...2019 гг., но они не повторялись систематически и не формировали устойчивую тенденцию. В подавляющем большинстве случаев никель находился на уровне, близком к пределу обнаружения, что указывает на отсутствие стабильного источника его поступления в водоем.

Свинец за весь период наблюдений определялся в крайне малых концентрациях. Содержание не превышало 0.3 мкг/дм<sup>3</sup> и чаще всего фиксировалось на уровне следов. Отсутствие значимых концентраций свинца позволяет сделать вывод, что данный элемент не оказывает заметного влияния на современное состояние водоема и не связан с устойчивым антропогенным сигналом.

Кадмий также характеризовался низкими уровнями. Средние концентрации составляли около 0.02 мкг/дм<sup>3</sup>, максимальные значения достигали 0.3 мкг/дм<sup>3</sup> в 2025 г. Подобные величины соответствуют естественному фоновому уровню и не указывают на наличие значимого техногенного источника [34].

Пространственный анализ показывает, что Новая Бухтарма и Каракасское сужение чаще всего характеризуются повышенными значениями меди, что связано с деятельностью прибрежных объектов и замедленным водообменом. В районе Хайрузовки фиксировались максимальные значения по меди и цинку, что может быть связано с локальными источниками поступления и особенностями гидрологии. Куйган и Хрестовка стали участками с наиболее частыми летними подъемами марганца, что подтверждает их особую роль в формировании внутриводоемных процессов. В то же время в среднем по акватории уровни тяжелых металлов остаются в пределах допустимых значений, что указывает на локализованный характер превышений. Анализ пространственного распределения металлов показал, что верхний плес в районе Новой Бухтармы характеризуется повышенными значениями меди, тогда как марганец выше среднего уровня в зонах Куйгана и Хрестовки. Каракасское сужение выделяется как участок с высокими колебаниями как меди, так и взвешенных веществ, что связано с особенностями гидродинамики. Участок у Хайрузовки демонстрирует более стабильные показатели, что объясняется хорошим водообменом и меньшей антропогенной нагрузкой.

Влияние климатических факторов проявляется в межгодовой динамике. В многоводные годы (2014 и 2020 гг.) фиксировались максимальные значения взвешенных веществ и минерализации, что связано с повышенным размывом и поступлением стока. В засушливые годы (2018 и 2021 гг.) показатели были ниже средних значений, что отражает меньший размыв и уменьшение поступления загрязняющих веществ. Жаркие летние периоды сопровождались повышением pH и снижением кислорода, тогда как холодные зимние месяцы характеризовались максимальным насыщением воды кислородом.

Антропогенное воздействие на водоем проявляется прежде всего через промышленную нагрузку региона, т.к. Восточный Казахстан является крупным центром горнодобывающей и металлургической промышленности. Поступление меди, цинка и никеля может быть связано с деятельностью таких предприятий, как Ульбинский металлургический завод, «Казцинк», Риддерский горно-обогатительный комплекс, Риддерский металлургический завод, а также Зыряновский свинцово-цинковый комбинат и горнорудные предприятия Глубоковского района. Деятельность данных предприятий исторически сопровождается сбросом сточных вод, загрязненных медью, цинком, свинцом и никелем, а также образованием хвостохранилищ, которые продолжают служить источником миграции загрязнителей в поверхностные и подземные воды. Несмотря на то, что в последние годы средние концентрации тяжелых металлов в водохранилище остаются низкими, эпизодические подъемы, особенно по цинку и никелю, свидетельствуют о наличии техногенного влияния со стороны этих промышленных объектов и подтверждают необходимость регулярного контроля [35..37].

Сравнение состояния Буктырминского водохранилища с другими водоемами Казахстана показывает, что оно сохраняет относительно благополучное положение. В Капшагайском водохранилище концентрации меди находятся на уровне 1.0...3.0 мкг/дм<sup>3</sup>, марганца – 6.0...10.0 мкг/дм<sup>3</sup>, что сопоставимо с нашими результатами [4]. В Шульбинском водохранилище отмечались случаи снижения кислорода ниже 6.0 мкг/дм<sup>3</sup>, что свидетельствует о менее устойчивом режиме [38]. В Балкашском регионе фиксировались значительно более высокие концентрации цинка и никеля, что связано с деятельностью предприятий цветной металлургии [39]. В международном контексте показатели Буктырминского водохранилища близки к уровню водоемов Сибири и Центральной Азии и существенно ниже, чем в промышленных районах Китая и Европы, где концентрации меди и цинка могут превышать 10.0...20.0 мкг/дм<sup>3</sup> [40,41].

Экологическое состояние водоема можно оценить как удовлетворительное. Несмотря на то, что концентрации большинства металлов находятся на низком

уровне, локальные и сезонные повышения меди и марганца могут представлять риск для гидробионтов. Особенно это касается летней стратификации, когда в придонных слоях снижается содержание кислорода, что может способствовать поступлению металлов из донных отложений. Такие процессы увеличивают вероятность накопления токсичных элементов в организмах и их дальнейшего распространения по пищевой цепи.

Для минимизации таких рисков необходимы дальнейшие исследования, включающие анализ донных осадков, биоаккумуляции металлов в гидробионтах и использование современных методов оценки качества воды. Важно расширить спектр наблюдений, включив новые пункты, особенно в районах повышенного хозяйственного использования. Также рекомендуется применение интегральных индексов загрязнения, которые позволяют комплексно оценивать состояние водоемов, учитывая совокупность химических и биологических показателей.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ гидрохимического состояния Буктырминского водохранилища свидетельствует о сохранении общей устойчивости водной экосистемы при наличии отдельных признаков локальной и сезонной нагрузки. Водная масса характеризуется стабильной слабощелочной реакцией, диапазон минерализации остается в пределах 160...206 мг/дм<sup>3</sup>, а кислородный режим в среднем соответствует 7.9...8.8 мг/дм<sup>3</sup>, что отражает сбалансированность основных физико-химических параметров и способность водоема поддерживать высокую биологическую продуктивность.

Выявлено, что основными элементами токсикологического состояния водохранилища, являются медь и марганец в пределах 1.2...1.9 мкг/дм<sup>3</sup> и 7.0...9.0 мкг/дм<sup>3</sup>, однако фиксируются устойчивые сезонные подъемы, приуроченные к летнему периоду и зонам со стратифицированной структурой водной толщи. Подобные процессы обусловлены, прежде всего, вторичным загрязнением металлами из донных отложений и могут усиливаться при снижении кислородного содержания в придонных слоях. Несмотря на то, что цинк, никель, свинец и кадмий фиксировались преимущественно на уровне пределов обнаружения, факт их периодического появления указывает на сохраняющийся риск поступления техногенных примесей в систему.

Локальные подъемы концентраций меди и марганца, особенно в районах Новой Бухтармы, Каракасского сужения и сел Куйган и Хрестовка, свидетельствуют о необходимости экологического контроля. В условиях климатической изменчивости, характеризующейся ростом температуры и изменением водности бассейна р. Ертис, роль подобных локальных очагов может возрастать, усиливая нагрузку на экосистему в целом.

Таким образом, Буктырминское водохранилище в настоящий момент сохраняет статус устойчивой водной экосистемы, обладающей высокой способностью к саморегуляции. Однако выявленные признаки локального напряжения свидетельствуют о необходимости превентивных мер, направленных на укрепление экологической безопасности водоема, что имеет критическое значение для устойчивого развития региона и сохранения водных ресурсов бассейна р. Ертис.

#### ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании получены авторами из открытых и платных источников.

#### ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ЛТИ; управление данными – ЛТИ, БМС; формальный анализ – ЛТИ, АМ; методология – ЛТИ, АМ; руководство – АСМ, ЛТИ; визуализация – ЛТИ, АСМ; написание исходного текста – ЛТИ, БМС; написание и редактирование окончательного текста – ЛТИ, БМС, АМ, АСМ.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ**

Работа выполнена в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан ИРН AP26103691 «Экосистемная оценка загрязнения и устойчивости водной среды Буктырминского водохранилища с применением инновационных методов и разработкой рекомендаций по сохранению качества воды».

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Elder John F. (1988). Metal biogeochemistry in surface-water systems. United States Government Printing Office, № I 19.4/2:1013, 50 p.
- 2 Тихомиров О.А., Марков М.В. Накопление тяжелых металлов в донных отложениях аквальных комплексов водохранилища сезонного регулирования стока // Ученые Записки Казанского Государственного Университета. – 2009. - Т. 151, кн. 3. – С. 143-152.
- 3 Jia Zh., Li Sh., Liu Q., Jiang F., Hu J. (2021). Distribution and partitioning of heavy metals in water and sediments of a typical estuary (Modaomen, South China): The effect of water density stratification associated with salinity. Environmental Pollution, Vol. 287, 117277. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117277
- 4 Ismukhanova, L., Choduraev T., Opp C., Madibekov A. (2022). Accumulation of Heavy Metals in Bottom Sediment and Their Migration in the Water Ecosystem of Kapshagay Reservoir in Kazakhstan. Appl. Sci., 12, 11474. DOI: 10.3390/app122211474
- 5 Савинкова О.В. О взаимосвязи гидрологического и гидрохимического режимов Буктырминского водохранилища. Гидрометеорология и экология. -2013. - № 1. – С. 137-144.
- 6 Алибаев К.У. Водохранилища на реке Иртыш Буктырминское водохранилище (литературный обзор). ПК «Институт «Казгипроводхоз». Алматы, 2020. - 38 с.
- 7 Мартыхов П.Ф. К ведению рыбного хозяйства на внутренних водоемах // Биологические основы рыбного хозяйства на водоемах Средней Азии и Казахстана. - 1966. - С. 25-27.
- 8 Ерещенко В.И., Тютеньков С.К. Результаты акклиматизационных работ в Буктырминском и других водохранилищах Казахстана // Акклиматизация рыб и беспозвоночных в водоемах СССР. - 1968. - С. 228-237.
- 9 Ерещенко В.И. Особенности Буктырминского водохранилища, влияющие на его рыбопродуктивность // Гидробиология и ихтиология. - 1969. - С. 134-147.
- 10 Федотова Л.А. Пути повышения эффективности Буктырминского НВХ // Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана. - 1978. - С. 429-431.
- 11 Исмуханов Х.К. Рациональное использование кормовых ресурсов и повышение рыбопродуктивности Буктырминского водохранилища // Водоемы Сибири и перспективы их рыбохозяйственного использования. - 1973. - С. 131-133.
- 12 Исмуханов Х.К. Формирование рыбных запасов Буктырминского водохранилища под воздействием акклиматизационных мероприятий и других факторов // Известия ГосНИОРХ. - 1980. - Т. 152. - С. 12-22.
- 13 Кириченко О.И. К вопросу о восстановлении численности аборигенных видов рыб Буктырминского водохранилища // Охрана окружающей среды и природопользование Прииртышья. - 1990. - С. 153-154.
- 14 Куликов Е.В. Пространственное и сезонное распределение концентраций рыб в Буктырминском водохранилище // Экосистемы водоемов Казахстана и их рыбные ресурсы. - 1997. - С. 15-21.
- 15 Куликов Е.В. Влияние гидрологического режима реки Черный Иртыш на формирование рыбных запасов // Биологические науки Казахстана. – 2005. - № 2. - С. 30-35.
- 16 Куликова Е.В., Тирская Н.А. Особенности накопления и перераспределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб Буктырминского водохранилища // Гидрометеорология и экология. - 2009. - № 2. - С. 144-152.
- 17 Тютеньков С.К. Краткий обзор рыб и беспозвоночных, акклиматизированных на водоемах Казахстана. А-Ата, 1963.
- 18 Тютеньков С.К., Козляткин А.Л. Акклиматизация кормовых беспозвоночных в Буктырминском водохранилище // Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. – 1974. - Вып. 8. – С. 90-92.
- 19 Пильгук В.Я. Формирование зоопланктона Буктырминского водохранилища в первые годы его наполнения // Биологические основы рыбного хозяйства на водоемах Средней Азии и Казахстана. – 1966. - С. 297-298.
- 20 Пильгук В.Я. Динамика планктона и бентоса Буктырминского водохранилища в период его наполнения, Балхаш, 1973.
- 21 Козляткин А.Л., Мещерякова Т.И. Гидролого-гидрохимическая характеристика Буктырминского водохранилища // Известия ГосНИОРХ. – 1980. - Вып. 152. - С. 3-12.
- 22 Козляткин А.Л., Тютеньков С.К., Шендрик Л.Л. Количественное развитие и распределение зообентоса Буктырминского водохранилища // Водоемы Сибири и перспективы их рыбохозяйственного использования. – 1973. - С. 188-190.
- 23 Мещерякова Т.И. Сезонная динамика биогенных элементов и первичной продукции в озерной части Буктырминского водохранилища // Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана. - 1978. – С. 109-111.
- 24 Баженова О.П. Сезонное развитие фитопланктона Буктырминского водохранилища // Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана. -1978. - С. 23-25.
- 25 Баженова О.П., Куликов Е.В. Изменение фитопланктона Буктырминского водохранилища // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды: матер. междунар. науч. конфер. Тольятти, 2004. - С. 193-198.
- 26 Девятков В.И. Развитие зоопланктона в Буктырминском водохранилище в весенне-летний период // Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана. - 1986. – С. 51-52.
- 27 Тирская Н.А. Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в органах и тканях мирных видов рыб из горной части Буктырминского водохранилища // Гидрометеорология и экология. -2012. - № 1. - С. 179-184.
- 28 Колесников В.А., Бойченко Н.Б. Динамика накопления соединений тяжелых металлов в органах и тканях разных видов рыб, обитающих в пределах одной водной экосистемы // Вестник КрасГАУ. – 2012. - № 8. -С. 93-104.
- 29 В акватории Буктырминского водохранилища обнаружено превышение предельно-допустимой концентрации вредных веществ. [Электронный ресурс]. URL: <https://matritca.kz/old/news/2001-v-akvatorii-buhtarminskogo-vodohranilischa-obnaruzheno-prevyshenie-predelno-dopustimoy-koncentracii-vrednyh-veschestv.html> (дата обращения 17.07.2025 г.)
- 30 Решетняк О.С., Закруткин В.Е. Донные отложения как источник вторичного загрязнения речных вод металлами (по данным лабораторного эксперимента) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2016. - №4. - С. 1-8. (URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/donnye-otlozheniya-kak-istochnik-vtorichnogo-zagryazneniya-rechnyh-vod-metallami-po-dannym-laboratornogo-eksperimenta>).
- 31 Гидрологическая база Казахстана (Казгидромет) «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши». Доступно онлайн: [http://ecodata.kz:3838/app\\_hydro/](http://ecodata.kz:3838/app_hydro/) (дата обращения: 17 июля 2025 г.).
- 32 Алексин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометиздат, 1970. – 112 с.

- 33 Zhensikbayeva N., Saparov K., Kabdrakhmanova N., Atasoy E., Yeginbayeva A., Abzeleeva K., Bakin S., Sedelev V., Amangeldy N. (2024). An Assessment of the Construction and Hydrographic Conditions of Bukhtarma and Ust-Kamenogorsk Reservoirs in the East Kazakhstan Region for 2017–2021. *Sustainability*, 16, 10348. DOI: 10.3390/su162310348
- 34 Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды по Восточно-Казахстанской и Абайской областям (Казгидромет). Усть-Каменогорск, 2024. - № 4. - 40 с.
- 35 Адыршев А.К., Сагынганова И.К. Источники загрязнения тяжелыми металлами рек Иртыш и Ульба // Вестник ВКГУ. Экология. – 2008. - № 3. - С. 110-114.
- 36 Мукажанов Т.А. Экологические проблемы и состояние заболеваемости злокачественными новообразованиями в северно-восточном индустриальном и южном регионах Республики Казахстан // Вестник ВКГУ. Экология. – 2008. - № 3. - С. 120-126.
- 37 Егорина А.В., Логиновская А.Н. Экологические аспекты использования прибрежной территории Бухтарминского водохранилища // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. - № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-ispolzovaniya-pribrezhnoy-territorii-buhtarminskogo-vodokhranilisha> (дата обращения: 17.07.2025).
- 38 Тирская Н., Куликова Е. (2023). Особенности гидрохимического режима Шульбинского водохранилища // Гидрометеорология и экология. – 2023. - №1. – С. 129-136.
- 39 Кунанбаева Г.С., Романова С.М. Распределение тяжелых металлов в континентальных озерах под влиянием антропогенных факторов // Наука и техника Казахстана. – 2002. - №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-tyazhelyh-metallov-v-kontinentalnyh-ozerah-pod-vliyaniem-antropogennyh-faktorov> (дата обращения: 17.07.2025).
- 40 Liao W., Zheng Y., Feng C. (2023). An often-overestimated ecological risk of copper in Chinese surface water: bioavailable fraction determined by multiple linear regression of water quality parameters. *Environ Sci Eur* 35, 84. DOI: 10.1186/s12302-023-00792-7
- 41 Popescu F., Trumić M., Cioabla A.E., Vujić B., Stoica V., Trumić M., Opris C., Bogdanović G., Trif-Tordai G. (2022). Analysis of Surface Water Quality and Sediments Content on Danube Basin in Djerdap-Iron Gate Protected Areas. *Water*, 14, 2991. DOI: 10.3390/w14192991

## REFERENCES

- 1 Elder J. F. (1988). Metal biogeochemistry in surface-water systems. United States Government Printing Office, No. I 19.4/2:1013, 50 p.
- 2 Tikhomirov O.A., Markov M.V. (2009). Nakoplenie tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh akval'nykh kompleksov vodokhranilishcha sezonno regulirovaniya stoka [Accumulation of heavy metals in bottom sediments of aquatic complexes of a seasonal flow regulation reservoir]. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 151(3), pp. 143–152 [in Russian]
- 3 Jia Zh., Li Sh., Liu Q., Jiang F., Hu, J. (2021). Distribution and partitioning of heavy metals in water and sediments of a typical estuary (Modaomen, South China): The effect of water density stratification associated with salinity. *Environmental Pollution*, 287, 117277. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117277>
- 4 Ismukhanova, L., Choduraev, T., Opp, C., Madibekov, A. (2022). Accumulation of heavy metals in bottom sediments and their migration in the water ecosystem of the Kapshagay Reservoir in Kazakhstan. *Applied Sciences*, 12, 11474. <https://doi.org/10.3390/app122211474>
- 5 Savinkova O.V. (2013). O vzaimosvyazi gidrologicheskogo i gidrokhimicheskogo rezhimov Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [On the relationship between the hydrological and hydrochemical regimes of the Bukhtarma Reservoir]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 1, pp. 137–144. [in Russian]
- 6 Alibaev K.U. (2020). Vodokhranilishcha na reke Irtysh: Bukhtarminskoe vodokhranilishche (literaturnyi obzor) [Reservoirs on the Irtysh River: Bukhtarma Reservoir (literature review)]. PC “Institut Kazgiprovodkhov”, Almaty, 38 p. [in Russian]
- 7 Martehov P.F. (1966). K vedeniyu rybnogo khozyaistva na vnutrennikh vodoemakh [On the management of fisheries in inland waters]. In: *Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaistva na vodoemakh Srednei Azii i Kazakhstana*, Alma-Ata, pp. 25–27 [in Russian]
- 8 Ershchenko V.I., Tyutenkov S.K. (1968). Rezul'taty akklimatizatsionnykh rabot v Bukhtarminskom i drugikh vodokhranilishchakh Kazakhstana [Results of acclimatization work in the Bukhtarma and other reservoirs of Kazakhstan]. In: *Akklimatizatsiya ryb i bespozvonochnykh v vodoemakh SSSR*, Moscow, pp. 228–237 [in Russian]
- 9 Ershchenko V.I. (1969). Osobennosti Bukhtarminskogo vodokhranilishcha, vliyayushchie na ego ryboproduktivnost' [Features of the Bukhtarma Reservoir affecting its fish productivity]. In: *Gidrobiologiya i ikhtiologiya*, Dushanbe, pp. 134–147 [in Russian]
- 10 Fedotova L.A. (1978). Puti povysheniya effektivnosti Bukhtarminskogo NVKh [Ways to improve the efficiency of the Bukhtarma fishery]. In: *Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaistva vodoemov Srednei Azii i Kazakhstana*, Frunze, pp. 429–431 [in Russian]
- 11 Ismukhanov Kh.K. (1973). Ratsional'noe ispol'zovanie kormovykh resursov i povyshenie ryboproduktivnosti Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Rational use of feed resources and increase in fish productivity of the Bukhtarma Reservoir]. In: *Vodoemy Sibiri i perspektivy ikh rybokhozyaistvennogo ispol'zovaniya*, Tomsk, pp. 131–133 [in Russian]
- 12 Ismukhanov Kh.K. (1980). Formirovanie rybnykh zapasov Bukhtarminskogo vodokhranilishcha pod vozdeystviem akklimatizatsionnykh meropriyatii i drugikh faktorov [Formation of fish stocks in the Bukhtarma Reservoir under the influence of acclimatization measures and other factors]. *Izvestiya GosNIORKh*, 152, pp. 12–22 [in Russian]
- 13 Kirichenko O.I. (1990). K voprosu o vosstanovlenii chislennosti aborigennykh vidov ryb Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [On the issue of restoring the abundance of native fish species in the Bukhtarma Reservoir]. In: *Okhrana okruzhayushchei sredy i prirodopol'zovanie Priirtysh'ya, Ust-Kamenogorsk*, pp. 153–154 [in Russian]
- 14 Kulikov E.V. (1997). Prostranstvennoe i sezonnoe raspredelenie kontsentratsii ryb v Bukhtarminskom vodokhranilishche [Spatial and seasonal distribution of fish concentrations in the Bukhtarma Reservoir]. In: *Ekosistemy vodoemov Kazakhstana i ikh rybnye resursy*, Alma-Ata, pp. 15–21 [in Russian]
- 15 Kulikov E.V. (2005). Vliyanie gidrologicheskogo rezhima reki Chernyi Irtysh na formirovanie rybnykh zapasov [Influence of the hydrological regime of the Black Irtysh River on the formation of fish stocks]. *Biologicheskie nauki Kazakhstana*, 2, pp. 30–35 [in Russian]
- 16 Kulikova E.V., Tirskaia N.A. (2009). Osobennosti nakopleniya i pereraspredeleniya tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh ryb Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Features of accumulation and redistribution of heavy metals in the organs and tissues of fish in the Bukhtarma Reservoir]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2, pp. 144–152 [in Russian]
- 17 Tyutenkov S.K. (1963). Kratkii obzor ryb i bespozvonochnykh, akklimatizirovannykh na vodoemakh Kazakhstana [A brief review of fish and invertebrates acclimatized in the water bodies of Kazakhstan]. Alma-Ata [in Russian]
- 18 Tyutenkov S.K., Kozlyatkin A.L. (1974). Akklimatizatsiya kormovykh bespozvonochnykh v Bukhtarminskom vodokhranilishche [Acclimatization of forage invertebrates in the Bukhtarma Reservoir]. In: *Rybnye resursy vodoemov Kazakhstana i ikh ispol'zovanie*, Alma-Ata, 8, pp. 90–92 [in Russian]

- 19 Pil'guk V.Ya. (1966a). Formirovanie zooplanktona Bukhtarminskogo vodokhranilishcha v pervye gody ego napolneniya [Formation of zooplankton in the Bukhtarma Reservoir during the first years of filling]. In: *Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaistva na vodoemakh Srednei Azii i Kazakhstana*, Alma-Ata, pp. 297–298 [in Russian]
- 20 Pil'guk V.Ya. (1973). Dinamika planktona i bentosa Bukhtarminskogo vodokhranilishcha v period ego napolneniya [Dynamics of plankton and benthos in the Bukhtarma Reservoir during its filling period]. *Balkhash* [in Russian]
- 21 Kozlyatkin A.L., Meshcheryakova T.I. (1980). Gidrologo-gidrokhimicheskaya kharakteristika Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Hydrological and hydrochemical characteristics of the Bukhtarma Reservoir]. *Izvestiya GosNIORKh*, 152, pp. 3–12 [in Russian]
- 22 Kozlyatkin A.L., Tyutenkov S.K., Shendrik L.L. (1973). Kolichestvennoe razvitiye i raspredeleniye zoobentosa Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Quantitative development and distribution of zoobenthos in the Bukhtarma Reservoir]. In: *Vodoemy Sibiri i perspektivy ikh rybkokhozyaistvennogo ispol'zovaniya*, Tomsk, pp. 188–190 [in Russian]
- 23 Meshcheryakova T.I. (1978). Sezonnaya dinamika biogennykh elementov i pervichnoi produktsii v ozernoi chasti Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Seasonal dynamics of biogenic elements and primary production in the lake part of the Bukhtarma Reservoir]. In: *Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaistva vodoemov Srednei Azii i Kazakhstana*, Frunze, pp. 109–111 [in Russian]
- 24 Bazhenova O.P. (1978). Sezonnoe razvitiye fitoplanktona Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Seasonal development of phytoplankton in the Bukhtarma Reservoir]. In: *Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaistva vodoemov Srednei Azii i Kazakhstana*, Frunze, pp. 23–25 [in Russian]
- 25 Bazhenova O.P., Kulikov E.V. (2004a). Izmeneniye fitoplanktona Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Changes in phytoplankton of the Bukhtarma Reservoir]. In: *Aktual'nye problemy ekologii i okhrany okruzhayushchei sredy: Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, Togliatti, pp. 193–198 [in Russian]
- 26 Devyatkov V.I. (1986). Razvitiye zooplanktona v Bukhtarminskom vodokhranilishche v vesenne-letnii period [Development of zooplankton in the Bukhtarma Reservoir during the spring-summer period]. In: *Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaistva vodoemov Srednei Azii i Kazakhstana*, Ashkhabad, pp. 51–52 [in Russian]
- 27 Tirskaia N.A. (2012). Soderzhanie i osobennosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh mirnykh vidov ryb iz gornoi chasti Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Content and distribution features of heavy metals in the organs and tissues of peaceful fish species from the mountain part of the Bukhtarma Reservoir]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 1, pp. 179–184 [in Russian]
- 28 Kolesnikov V.A., Boichenko N.B. (2012). Dinamika nakopleniya soedinenii tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh raznykh vidov ryb, obitayushchikh v predelakh odnoi vodnoi ekosistemy [Dynamics of accumulation of heavy metal compounds in the organs and tissues of different fish species inhabiting a single aquatic ecosystem]. *Vestnik KrasGAU*, 8, pp. 93–104 [in Russian]
- 29 Matritca.kz (2025). V akvatorii Bukhtarminskogo vodokhranilishcha obnaruzheno prevysheniye predel'no dopustimoi kontsentratsii vrednykh veshchestv [In the water area of the Bukhtarma Reservoir, an excess of the maximum permissible concentration of harmful substances was detected]. [Electronic resource]. URL: <https://matritca.kz/old/news/2001-v-akvatorii-bukhtarminskogo-vodokhranilishcha-obnaruzheno-prevysheniye-predelno-dopustimoy-kontsentratsii-vrednykh-veschestv.html> (date of access 17.07.2025) [in Russian]
- 30 Reshetnyak O.S., Zakrutkin V.E. (2016). Donnye otlozheniya kak istochnik vtorichnogo zagryazneniya rechnykh vod metallami (po dannym laboratornogo eksperimenta) [Bottom sediments as a source of secondary pollution of river waters with metals (based on laboratory experiment data)]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki*, 4, pp. 1–8. [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/donnye-otlozheniya-kak-istochnik-vtorichnogo-zagryazneniya-rechnykh-vod-metallami-po-dannym-laboratornogo-eksperimenta> [in Russian]
- 31 Gidrologicheskaya baza Kazakhstana (2023). Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi [Annual data on the regime and resources of surface waters]. *Kazhydromet*. [Electronic resource]. URL: [http://ecodata.kz:3838/app\\_hydro/](http://ecodata.kz:3838/app_hydro/) (date of access 17 July 2025)
- 32 Alekin O.A. (1970). Osnovy gidrokhimii [Fundamentals of Hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, p. 112 [in Russian]
- 33 Zhensikbayeva N., Saparov K., Kabdrakhmanova N., Atasoy E., Yeginbayeva A., Abzeleeva K., Bakin S., Sedelev V., Amangeldy N. (2024). An assessment of the construction and hydrographic conditions of Bukhtarma and Ust-Kamenogorsk Reservoirs in the East Kazakhstan Region for 2017–2021. *Sustainability*, 16, 10348. <https://doi.org/10.3390/su162310348>
- 34 Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy po Vostochno-Kazakhstanskoi i Abaiskoi oblastyam (Kazhydromet) (2024). Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy, 4, 40 p., Ust-Kamenogorsk [in Russian]
- 35 Adryshev A.K., Sagynganova I.K. (2008). Istochniki zagryazneniya tyazhelymi metallami rek Irtysh i Ul'ba [Sources of heavy metal pollution in the Irtysh and Ulba rivers]. *Vestnik VKGU. Ekologiya*, 3, pp. 110–114 [in Russian]
- 36 Mukazhanov T.A. (2008). Ekologicheskie problemy i sostoyanie zaboлеваemosti zlokachestvennymi novoobrazovaniyami v severno-vostochnom industrial'nom i yuzhnom regionakh Respubliki Kazakhstan [Environmental problems and cancer morbidity in the northeastern industrial and southern regions of the Republic of Kazakhstan]. *Vestnik VKGU. Ekologiya*, 3, pp. 120–126 [in Russian]
- 37 Egorina A.V., Loginovskaya A.N. (2015). Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniya pribrezhnoi territorii Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Ecological aspects of using the coastal territory of the Bukhtarma Reservoir]. *Interesko Geo-Sibir*, 2. [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-aspekty-ispolzovaniya-pribrezhnoy-territorii-bukhtarminskogo-vodokhranilishcha> (date of access 17.07.2025) [in Russian]
- 38 Tirskaia N., Kulikova E. (2023). Osobennosti gidrokhimicheskogo rezhima Shul'binskogo vodokhranilishcha [Features of the hydrochemical regime of the Shulbinsk Reservoir]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 1, pp. 129–136. (in Russian).
- 39 Kunambaeva G.S., Romanova S.M. (2002). Raspredeleniye tyazhelykh metallov v kontinental'nykh ozerakh pod vliyaniem antropogennykh faktorov [Distribution of heavy metals in continental lakes under the influence of anthropogenic factors]. *Nauka i tekhnika Kazakhstana*, 2. [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredeleniye-tyazhelykh-metallov-v-kontinentalnykh-ozerah-pod-vliyaniem-antropogennykh-faktorov> (date of access 17.07.2025) [in Russian]
- 40 Liao W., Zheng Y., Feng C., et al. (2023). An often-overestimated ecological risk of copper in Chinese surface water: bioavailable fraction determined by multiple linear regression of water quality parameters. *Environmental Sciences Europe*, 35, 84. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00792-7>
- 41 Popescu F., Trumić M., Cioabla A. E., Vujić B., Stoica V., Trumić M., Opris C., Bogdanović G., Trif-Tordai G. (2022). Analysis of surface water quality and sediment content in the Danube Basin in the Djerdap-Iron Gate Protected Areas. *Water*, 14, 2991. <https://doi.org/10.3390/w14192991>

# БҰҚТЫРМА СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫН КӨПЖЫЛДЫҚ БАҚЫЛАУЛАР НЕГІЗІНДЕ КЕШЕНДІ СИПАТТАМАСЫ (2014...2025 ЖЖ.)

Лаура Т. Исмуханова PhD, Ботакос М. Султанбекова, Айнур Мұсақұлқызы т.ғ.к., Азамат С. Мадібеков қауымдастырылған профессор, PhD

«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; l--aura@bk.ru, sultanbekova\_botakoz@mail.ru, mus\_ain@mail.ru (AM), madibekov@mail.ru (ACM)

\*Автор корреспонденция: Ботакос М. Султанбекова, sultanbekova\_botakoz@mail.ru

## ТҮЙІН СӨЗДЕР

Бұқтырма су қоймасы, ауыр металдар, гидрохимиялық жағдай, экологиялық бағалау, биоаккумуляция, мониторинг

### Мақала жайында:

Жіберілді: 23.09.2025

Қайта қаралды: 03.10.2025

Қабылданды: 04.10.2025

Жарияланды: 08.10.2025

## АБСТРАКТ

Ертіс өзенінің жоғарғы ағысындағы ең ірі су нысаны болып табылатын Бұқтырма су қоймасы Шығыс Қазақстанның су шаруашылық кешенінде маңызды рөл атқарады: гидроэнергетика, ағынды реттеу, сумен жабдықтау және балық шаруашылығы функцияларын ұштастырады. Өңірдегі тау-кен өндіру және металлургия өнеркәсібінің қарқынды дамуы тұрақты, миграциялық қабілеті жоғары әрі биоаккумуляцияға бейім ауыр металдардың экожүйеге түсуімен қатар жүреді.

Жұмыста РМК «Қазгидромет» мемлекеттік мониторингінің 2014...2025 жж. деректері, сондай-ақ су, түптік шөгінділер және гидробионттарды зерттеуге арналған отандық және шетелдік зерттеулердің нәтижелері жинақталды. Су қоймасының гидрохимиялық көрсеткіштері жалпы тұрақты: су реакциясы әлсіз сілтілі, оттегінің режимі қанағаттанарлық, минералдануы – орташа. Токсикологиялық бейінді негізінен мыс пен марганец қалыптастырады, жекелеген жылдары олардың концентрациялары сәйкесінше 3,9 мг/дм<sup>3</sup> және 24,0 мг/дм<sup>3</sup>-қа жеткен; бұл жергілікті техногендік әсермен қатар түптік шөгінділерден ластағыштардың екінші реттік высвобождениясы сияқты табиғи үдерістермен де байланысты. Мырыш, никель, қорғасын және кадмий мөлшерлері көп жағдайда фондық деңгейге сәйкес келеді. Металдардың жоғары жиналуының жергілікті ошақтары мен олардың балық тіндерінде биоаккумуляциясы анықталды.

# COMPREHENSIVE CHARACTERIZATION OF THE STATE OF THE BUKHTARMA RESERVOIR BASED ON MULTI-YEAR OBSERVATIONS (2014...2025)

Laura Ismukhanova PhD, Botakoz Sultanbekova, Ainur Musakulkyzy Candidate of Technical Sciences, Azamat Madibekov Associate Professor, PhD

JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; l--aura@bk.ru, sultanbekova\_botakoz@mail.ru, mus\_ain@mail.ru, madibekov@mail.ru

\*Corresponding author: Botakoz Sultanbekova, sultanbekova\_botakoz@mail.ru

## KEY WORDS

Bukhtarma Reservoir, heavy metals, hydrochemical status, ecological assessment, bioaccumulation, monitoring

## ABSTRACT

The Bukhtarma Reservoir, the largest water body in the upper course of the Irtysh River, plays a key role in the water-management complex of East Kazakhstan, combining hydropower generation, flow regulation, water supply, and fisheries. The intensive development of the region's mining and metallurgical industries is accompanied by inputs of heavy metals into the ecosystem-substances notable for persistence, mobility, and a propensity for bioaccumulation.

**About article:**

Received: 23.09.2025

Revised: 03.10.2025

Accepted: 04.10.2025

Published: 08.10.2025

This study synthesizes state monitoring data from RSE «Kazhydromet» for 2014...2025 together with national and international research on water, bottom sediments, and aquatic organisms. The reservoir's hydrochemical parameters are generally stable: the water exhibits a slightly alkaline pH, an adequate dissolved-oxygen regime, and moderate mineralization (TDS). Copper and manganese are the main elements shaping the toxicological profile; in certain years their concentrations reached  $3.9 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  and  $24.0 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , respectively-linked both to localized technogenic impacts and to natural processes of secondary remobilization from bottom sediments. Zinc, nickel, lead, and cadmium mostly remained at background levels. Localized hotspots of elevated metal accumulation and bioaccumulation in fish tissues were identified.

---

**Примечание издателя:** заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).