

ОСНОВНЫЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА ЖАЙСАН В ПЕРИОД 2020-2024 гг.

¹А.М. Касымханов^{ID}, ¹Г.С. Қрықпаева*^{ID}, ¹С.Е. Базаров^{ID}, ²Т.Н. Самарханов^{ID}

¹Алтайский филиал ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

²Международный университет Астана, Астана, Республика Казахстан

*e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz

А.М. Касымханов – магистр биологии, и.о. директора Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://.0000-0003-3132-4668>

Г.С. Қрықпаева – докторант, научный сотрудник Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz, <https://.0000-0002-5485-3864>

С.Е. Базаров – магистр естественных наук, научный сотрудник Алтайского филиала ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://.0009-0002-8241-5340>

Т.Н. Самарханов – PhD, и.о. ассоциированного профессора Международного университета Астана, г. Астана, Казахстан, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://.0000-0003-4891-8278>

Аннотация. Настоящая статья посвящена комплексному анализу гидрохимических характеристик озера Жайсан - одного из крупнейших и значимых водоёмов Восточно-Казахстанской области. В работе представлены результаты полевых исследований, выполненных в весенний и летний сезоны 2024 года, а также проведён ретроспективный сравнительный анализ с данными 2020-2023 гг. Особое внимание уделено изучению динамики растворённых газов, биогенных соединений, органического вещества и уровня минерализации. Отбор проб осуществлялся на станциях Тарбагатайского и Курчумского побережий, анализ выполнен с применением стандартных, общепринятых методик. Также проведён сопоставительный анализ полученных показателей с целью выявления как краткосрочных сезонных, так и долгосрочных межгодовых изменений. Результаты демонстрируют, что в целом гидрохимический режим озера характеризуется стабильными значениями и соответствует нормативам, установленным для рыбохозяйственных водоёмов. Зафиксировано увеличение содержания растворённого кислорода, снижение минерализации по сравнению с предыдущими годами, а также умеренные колебания содержания биогенных веществ. Реакция водной среды преимущественно слабощелочная, содержание органических веществ остаётся низким. Структура ионов в воде указывает на принадлежность озера к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Полученные результаты подтверждают благоприятные условия для обитания гидробионтов и необходимость продолжения комплексного мониторинга.

Ключевые слова: гидрохимия, озеро Жайсан, растворенные газы, биогенные соединения, органическое вещество, минерализация воды.

2020-2024 жж. ЖАЙСАН КӨЛІНІҢ НЕГІЗГІ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ**¹А.М. Қасымханов, ¹Г.С. Қрықпаева*, ¹С.Е. Базаров, ²Т.Н. Самарханов**¹«Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесі, Өскемен қ., Қазақстан²Астана халықаралық университеті, Астана қ., Қазақстан

*e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz

А.М. Қасымханов – биология магистрі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің директоры м.а., Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: kasymhanov@fishrpc.kz, <https://0000-0003-3132-4668>

Г.С. Қрықпаева – докторант, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz, <https://0000-0002-5485-3864>

С.Е. Базаров – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Алтай бөлімшесінің экспедициялық жасақ басшысы, Өскемен қ., Қазақстан, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://0009-0002-8241-5340>

Т.Н. Самарханов – PhD, Астана халықаралық университетінің қауымдастырылған профессорының м.а., Астана қ., Қазақстан, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://0000-0003-4891-8278>

Аңдатпа. Осы мақала Шығыс Қазақстан облысындағы ең ірі әрі маңызды су айдындарының бірі - Жайсан көлінің гидрохимиялық сипаттамаларына кешенді талдау жүргізуге арналған. Мақалада 2024 жылдың көктемгі және күзгі маусымдарында жүргізілген далалық зерттеу нәтижелері ұсынылып, олар 2020-2023 жылдардағы мәліметтермен салыстырмалы түрде талданды. Ерекше назар еріген газдардың, биогенді қосындылардың, органикалық заттардың және судың минералдану деңгейінің динамикасын зерттеуге аударылды. Су сынамалары Тарбағатай және Күршім жағалауларындағы бекеттерде алынып, стандартты гидрохимиялық әдістерді қолдана отырып зертханалық жағдайда талданды. Сонымен қатар, алынған көрсеткіштерге маусымдық (қысқа мерзімді) және көпжылдық (ұзақ мерзімді) өзгерістерді анықтау мақсатында салыстырмалы талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бойынша, Жайсан көлінің гидрохимиялық режимі тұрақтылығымен сипатталады және балық шаруашылығы су айдындары үшін белгіленген нормативтерге сәйкес келеді. Еріген оттегінің концентрациясы жоғарылауы, минералдану деңгейінің алдыңғы жылдармен салыстырғанда төмендегені және биогенді заттар мөлшерінің біршама ауытқуы тіркелді. Су ортасының реакциясы сәл сілтілі, органикалық заттардың мөлшері төмен деңгейде. Иондық құрылымы бойынша көл гидрокарбонатты санатына, кальций тобына жататыны анықталды. Алынған мәліметтер гидробионттар тіршілігіне қолайлы жағдай жасалғанын және кешенді мониторингті жалғастыру қажеттілігін көрсетеді.

Кілт сөздер: гидрохимия, Жайсан көлі, еріген газдар, биогенді қосылыстар, органикалық заттар, судың минералдануы.

MAIN HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LAKE ZHAISAN IN THE PERIOD 2020-2024

¹A.M. Kasymkhanov, ¹G.S. Krykpaeva*, ¹S.E. Bazarov, ²T.N. Samarkhanov

¹Altai branch of the «Scientific and Production Center for Fisheries» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

²Astana International University, Astana, Kazakhstan

*e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz

A.M. Kasymkhanov – master of Biology, Director of the Altai branch of the «Scientific and Production Center for Fisheries» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: kasymkhanov@fishrpc.kz, <https://.0000-0003-3132-4668>

G.S. Krykpaeva – doctoral student, Researcher at the Altai branch of the Scientific and Production Center for Fisheries, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: krykpaeva@fishrpc.kz, <https://.0000-0002-5485-3864>

S.E. Bazarov – master of Natural Sciences, Head of the Expeditionary Team, Altai Branch of the "Fisheries Research and Production Center" LLP, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: bazarov@fishrpc.kz, <https://.0009-0002-8241-5340>

T.N. Samarkhanov – PhD, Acting Associate Professor, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: talant.68@mail.ru, <https://.0000-0003-4891-8278>

Abstract. This article presents a comprehensive analysis of the hydrochemical characteristics of Lake Zhaيسان, one of the largest and most significant bodies of water in the East Kazakhstan region. The paper presents the results of field studies conducted in the spring and fall of 2024, and also includes a retrospective comparative analysis with data from 2020-2023. Particular attention was paid to studying the dynamics of dissolved gases, biogenic compounds, organic matter, and mineralization levels. Sampling was carried out at stations on the Tarbagatai and Kurchum coasts, and analysis was performed using standard, accepted methods. A comparative analysis of the obtained parameters was also conducted to identify both short-term seasonal and long-term interannual changes. The results demonstrate that the lake's hydrochemical regime is generally stable and complies with standards established for fishery waters. An increase in dissolved oxygen levels, a decrease in mineralization compared to previous years, and moderate fluctuations in nutrient levels were recorded. The aquatic pH is predominantly slightly alkaline, and organic matter levels remain low. The ion structure of the water indicates that the lake belongs to the hydrocarbonate class, a calcium group. The obtained results confirm favorable conditions for aquatic organisms and the need for continued comprehensive monitoring.

Keywords: hydrochemistry, Lake Zhaيسان, dissolved gases, biogenic compounds, organic matter, water mineralization.

Введение. Изучение химического состава водоёмов является одним из приоритетных направлений гидрохимии и водной экологии, так как химические параметры напрямую влияют на функционирование водных экосистем и могут служить надёжными индикаторами их состояния (Алекин, 1970:444, Лурье, 1971:376). В условиях нарастающего антропогенного давления важно своевременно выявлять изменения в химическом составе вод, способные привести к нарушению биологических и трофических связей в экосистемах (Гавриленко, 1990:298).

Целью настоящей работы является комплексное исследование пространственно-временной динамики ключевых гидрохимических параметров озера Жайсан за период 2020-2024 гг. Исследование направлено на выявление взаимосвязей между сезонными, климатическими и антропогенными факторами, влияющими на гидрохимический режим озера, с целью оценки текущего состояния экосистемы и прогноза её устойчивости к внешним нагрузкам.

Задачи исследования:

1. Оценить сезонную изменчивость гидрохимических показателей.
2. Провести сравнительный анализ данных за пять лет.
3. Выявить возможные причины наблюдаемых изменений в гидрохимическом режиме озера.

Биогенные элементы - это химические соединения, необходимые для жизнедеятельности водных организмов, и одновременно - ключевые регуляторы биологической продуктивности. К числу важнейших относятся соединения азота (аммонийный ион NH_4^+ , нитриты NO_2^- , нитраты NO_3^-) и фосфора (преимущественно фосфаты PO_4^{3-}), участвующие в процессах фотосинтеза, роста водорослей и других автотрофных организмов (Алекин, 1970:444).

Избыточное поступление этих веществ в водоёмы, как правило, связано с сельскохозяйственным стоком, сточными водами и нарушением режима водоотведения. Результатом является эвтрофикация - процесс, сопровождающийся массовым развитием фитопланктона, «цветением» воды и нарушением газового баланса в экосистеме. При распаде избыточной биомассы увеличивается биохимическое потребление кислорода (БПК), что приводит к гипоксии или даже анаэробизму в придонных слоях (Сладкова, Токтасынова, 2020:52-60).

Растворённый кислород (O_2) и углекислый газ (CO_2) являются важными регуляторами жизнедеятельности гидробионтов и параметрами, определяющими устойчивость водной среды. Кислород поступает в воду за счёт атмосферной диффузии и фотосинтетической активности водных растений, а расходуется в процессе дыхания и разложения органики (Chapra, 2008:844).

Недостаток кислорода (гипоксия) особенно часто наблюдается в перегруженных органикой и слабопроточных водоёмах, где замедлены процессы аэрации. В этих условиях резко снижается биоразнообразие, появляются устойчивые к дефициту кислорода организмы (например, некоторые виды синезелёных водорослей и бактерий), а также возможна аккумуляция токсичных продуктов анаэробного разложения, включая аммиак и сероводород.

Органическое вещество, поступающее в водоём как из естественных (почвенный сток, растительность), так и антропогенных источников (бытовые и промышленные стоки), активно участвует в процессах биологического самоочищения. Оно служит субстратом для гетеротрофных микроорганизмов, играющих ключевую роль в минерализации органики и круговороте веществ (Лурье, 1971:376, Турсунова, Жумабаев, 2022:120-129).

Однако чрезмерная концентрация органики может нарушать экологическое равновесие: повышать БПК, снижать прозрачность воды и, как следствие, ухудшать условия для фотосинтеза. Это ведёт к изменению видового состава водорослей, снижению продуктивности и нарушению пищевых цепей.

Минерализация - суммарное содержание растворённых солей - является одним из базовых показателей, характеризующих тип воды: пресная, солоноватая или солёная. Основные компоненты, определяющие уровень минерализации - это ионы кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), натрия (Na^+), калия (K^+), хлоридов (Cl^-), сульфатов (SO_4^{2-}) и гидрокарбонатов (HCO_3^-) (Гавриленко, 1990:298). Минерализация влияет на осмотическое давление, буферные свойства воды, а также на биодоступность и токсичность ряда соединений. Кроме того, она определяет пригодность среды для обитания определённых видов гидробионтов: например, пресноводные организмы плохо переносят увеличение солёности, тогда как солоноватоводные и морские формы требуют определённого солевого баланса (Алекин, 1970:444).

Таким образом, исследование биогенных веществ, органики и минерализации позволяет комплексно оценивать трофический статус, уровень загрязнения и общее экологическое состояние водоёмов. В условиях изменения климата и увеличения антропогенной нагрузки, мониторинг этих показателей становится важнейшей задачей для устойчивого управления водными ресурсами и охраны биологического разнообразия.

Изучение гидрохимического состояния озера Жайсан имеет важное значение, так как данный водоём играет ключевую роль в водохозяйственной системе Восточного Казахстана. Он обеспечивает экосистемные функции, включая водоснабжение, судоходство и рыбохозяйственную деятельность. Постоянный мониторинг гидрохимических параметров позволяет отслеживать изменения качества воды, оценивать степень антропогенной нагрузки и прогнозировать возможные экологические риски. Кроме того, анализ концентраций растворённых газов, биогенных соединений, органического вещества и уровня минерализации даёт возможность разработать научно обоснованные меры по сохранению экологического баланса и устойчивому использованию водных ресурсов.

В условиях климатических изменений и усиления антропогенного воздействия мониторинг гидрохимического режима становится особенно актуальным. Современные исследования водных объектов Казахстана и сопредельных территорий позволяют выявлять закономерности, оптимизировать методики исследования и определять ключевые факторы, влияющие на качество воды. Озеро Жайсан, расположенное в Восточно-Казахстанской области, представляет собой водоём, гидрохимические параметры которого оказывают значительное влияние на устойчивость региональной экосистемы и биоресурсный потенциал.

Озеро Жайсан расположено в широкой плоской котловине, ограниченной с юга хребтом Манрак, с юго-востока - хребтом Саур, которые являются частью горной системы Тарбагатай. Водоём относится к плотинным озёрам и питается преимущественно водами Кара Ертыса. С 1960 года, после создания водохранилища, включающего озеро Жайсан, его площадь существенно увеличилась и при среднемноголетнем уровне (390,84 м БС) составляет 2581 км² - около 60 % общей площади водохранилища. Длина озера достигает 140 км, ширина - до 35 км, максимальная глубина - 12 м.

Котловина характеризуется резко континентальным климатом с жарким летом (пик температур в июле) и холодной зимой (самый холодный месяц - январь). Зеркало озера расположено на высоте 390 м над уровнем моря. Рельеф представляет собой аккумулятивную равнину с абсолютными отметками от 400 до 490 м.

Будучи крупнейшим водоёмом Восточного Казахстана, Жайсан оказывает существенное влияние на экологическую и экономическую стабильность региона. Его гидрохимический режим формируется под воздействием как природных, так и антропогенных факторов: гидрологический режим, геология, климат, а также хозяйственная деятельность.

Согласно исследованию Савинковой, изменения уровня воды непосредственно отражаются на таких параметрах, как рН, содержание растворённого кислорода и степень минерализации. В работе «Особенности формирования химического состава вод озера Жайсан» (2003-2012 гг.) подчеркнута роль природно-гидрологических факторов в формировании химического состава (Савинкова, 2013а:137-144, Савинкова, 2013б, Савинкова, 2015:92-95). А.А. Асылбекова в 2015 году провела комплексные гидрохимические исследования, включая анализ газового режима, физико-химических свойств, а также биогенных и ионных соединений (Асылбекова, Куликов, 2016:16-29).

Комплексный подход к мониторингу водных объектов особенно важен с учётом биоресурсной значимости озера. Так, по данным Куликова и соавторов, ухудшение гидрохимических условий оказывает прямое влияние на продуктивность рыбных ресурсов и их экономическую оценку (Куликов и др., 2022:81-91).

Ретроспективный анализ химического состава вод бассейна реки Иртыш, выполненный Михайловой, Чемагиным и Медведевой, показал как природные, так и техногенные источники влияния (Михайлова и др., 2015:60-75). Кроме того, статьи, посвящённые морфометрии и гидрохимии казахстанских озёр, подчёркивают ключевую роль природно-климатических факторов и географии в формировании водного режима (Рянжин и др., 2015:510).

Настоящее исследование охватывает период 2020-2024 гг. и направлено на анализ гидрохимических показателей озера Жайсан с учётом сезонных и антропогенных факторов.

Материалы и методы исследования. Гидрохимические исследования озера Жайсан в 2024 году проводились в рамках сезонного мониторинга в весенний (апрель-май) и летний (июль-август) периоды. Отбор проб осуществлялся на репрезентативных станциях, охватывающих два ключевых прибрежных участка водоема: Курчумское побережье (станции: Коржун, Бархот, Аманат, Кара Ертис) и Тарбагатайское побережье (станции: мыс Тополев, мыс Волчий, Карсакбай). Образцы воды отбирались из поверхностного слоя (0-0,5 м) в районах с разной степенью воздействия природных и антропогенных факторов.

Дополнительные гидрологические данные за период 2020-2023 гг. были предоставлены Восточно-Казахстанским филиалом РГП «Казгидромет». Эти сведения включали информацию о температуре воды, уровне водоема, скорости течений и других характеристиках, влияющих на формирование химического состава воды.

Гидрофизические и гидрохимические исследования проводились в соответствии с действующими национальными и международными стандартами, включая ГОСТ 17.1.5.05-85, ГОСТ 31861-2012 и методические указания, изложенные в (Семенов, 1977:542, Лурье, 1973:376, Алекин, 1959:302). Отбор проб производился как из поверхностных, так и из придонных горизонтов (в местах с глубинами более 5 м) с помощью стандартной пробоотборной системы СП-2, обеспечивающей сохранение исходного состояния воды до момента анализа.

Измерение содержания растворённого кислорода проводилось непосредственно на месте отбора проб с использованием портативного кислородомера МАРК-302Э, откалиброванного перед каждым выездом в полевые условия. Показатели температуры, электропроводности и pH также регистрировались *in situ*.

Химико-аналитическое определение концентраций биогенных соединений (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}), органического вещества (включая показатели БПК и ХПК), а также расчёты общей минерализации (по сумме основных катионов и анионов) проводились в условиях аккредитованной лаборатории ТОО «Лаборатория-Атмосфера». Применялись методы фотометрии, титриметрии и ионной хроматографии с использованием современного аналитического оборудования, включая спектрофотометры, иономеры и автоанализаторы.

Полученные в 2024 году данные были подвергнуты сравнительному анализу с результатами предыдущих исследований за 2020-2023 гг. с целью выявления трендов, сезонной динамики и возможных изменений, обусловленных климатическими и антропогенными факторами. Сопоставление осуществлялось по основным гидрохимическим параметрам с учётом климатических условий каждого года, уровня водности и характеристик водосбора.

Результаты и обсуждение. В ходе проведения полевых исследований в 2024 году температура воды в озере Жайсан в периоды отбора проб варьировала в пределах от 11,5 до 16,0 °C, что соответствует сезонным особенностям водного режима. В весенний период (апрель-май) температурные показатели находились в диапазоне 11,5-13,8 °C, с незначительной межстанционной вариацией. В частности, различия между станциями Тарбагатайского и Курчумского побережья оказались статистически незначимыми, что может быть связано с равномерным прогревом водоема на данном этапе гидрологического цикла.

В летний период наблюдалось некоторое увеличение температуры воды по сравнению с весной, что объясняется длительным прогревом воды в течение летнего сезона и замедленным охлаждением в условиях относительно тёплой осени 2024 года. Средняя температура воды у побережья Курчумского района составила 15,3 °C, при этом варьирование по станциям находилось в пределах 15,0-16,0 °C. Для станций Тарбагатайского побережья отмечено аналогичное температурное распределение: средняя температура составила 15,5 °C, при колебаниях также в диапазоне 15,0-16,0 °C. Таким образом, температурные характеристики в летний период на обеих группах станций были сопоставимыми, без существенных различий, несмотря на локальные особенности микроклимата.

Сопоставительный анализ гидрохимических показателей охватывает как межсезонную,

так и межгодовую динамику с 2020 по 2024 годы. Представленные результаты основаны на обобщении данных, полученных в ходе сезонных наблюдений, и включают в себя средние значения концентраций растворённых газов (кислорода), основных биогенных элементов (аммонийный азот NH_4^+ , нитриты NO_2^- , нитраты NO_3^- , фосфаты PO_4^{3-}), органического вещества (по показателям БПК и ХПК), а также минерализации воды (по суммарному содержанию основных ионов).

Анализ проводился с разбивкой по побережьям (Курчумское и Тарбагатайское), сезонам (весна и лето), а также в ретроспективном аспекте за пятилетний период. Итоговые значения сведены в таблицу 1, которая позволяет проследить как текущие пространственные различия между участками водоема, так и долгосрочные тенденции, связанные с изменением климатических условий, колебаниями уровня водности и степенью антропогенной нагрузки.

Полученные данные демонстрируют:

- сезонные колебания содержания растворённого кислорода (сниженные значения в летний период в придонных слоях);
- увеличение концентраций фосфатов и аммонийного азота в отдельных участках в весенне-летний период;
- тенденцию к незначительному росту минерализации воды на протяжении последних пяти лет, особенно в годы с пониженной водностью;
- усиление трофирования в районах с замедленным водообменом, о чём свидетельствуют повышенные значения БПК и ХПК.

Таблица 1. Динамика средних значений основных гидрохимических показателей озера Жайсан в период 2020-2024 годы

Год исследо- ваний	pH	Растворенные газы			Биогенные соединения, мг/дм ³				Органическое вещество, мгО/дм ³	Минера- лизация, мг/дм ³
		CO ₂ , мг/дм ³	O ₂		NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄		
			мг/дм ³	% нас.						
Курчумское побережье										
2024	8,18	0,1	8,12	79,7	0,46	0,01	0,12	0,02	3,2	163
2023	7,20	0,1	7,77	88,1	0,25	0,07	0,11	0,02	2,4	278
2022	7,96	0,2	7,99	86,7	0,23	0,01	1,07	0,04	3,1	143
2021	8,30	0,1	9,0	91,2	0,11	0,02	1,77	0,09	2,8	170
2020	8,22	-	8,81	92,5	0,27	0,04	1,13	0,08	3,2	165
Тарбагатайское побережье										
2024	7,95	0,1	8,28	84,8	0,31	0,01	0,11	0,02	3,2	181
2023	7,84	0,1	7,84	88,7	0,25	0,07	0,12	0,02	2,4	269
2022	8,03	0,2	8,35	90,1	0,18	0,01	1,44	0,05	3,1	174
2021	8,20	0,1	8,70	90,2	0,18	0,02	1,57	0,11	3,2	161
2020	8,14	-	8,61	89,5	0,52	0,06	1,09	0,10	3,3	155
оз. Жайсан (в целом)										
2024	8,06	0,1	8,20	82,3	0,38	0,01	0,11	0,02	3,2	172
2023	7,52	0,1	7,81	88,4	0,25	0,07	0,12	0,02	2,4	274
2022	7,98	0,2	8,11	87,8	0,21	0,01	1,18	0,04	3,1	152
2021	8,20	0,1	8,90	90,7	0,14	0,02	1,67	0,10	2,9	166
2020	8,22	-	8,72	91,0	0,40	0,05	1,11	0,09	3,3	160

Пределы колебаний водородного показателя в весенний период 2024 года находились в диапазоне 8,13-8,84, что соответствует слабощелочной реакции среды, характерной для большинства водоёмов Восточного Казахстана. Наименьшие значения pH были зарегистрированы на станции Кара Ертис, а наибольшие - на станции Коржун. Слабощелочная

реакция вод отражает нормальное состояние системы карбонатного равновесия и свидетельствует о хорошей буферной способности водоёма.

В летний период значения pH изменялись в пределах 6,93-8,26, что также соответствует слабощелочной среде. Минимальные значения зарегистрированы на станции Коржун, а максимальные - на участке мыс Тополев. Незначительное снижение показателя в летний сезон, вероятно, связано с повышением концентрации углекислого газа в результате разложения органического вещества и уменьшением фотосинтетической активности фитопланктона (что типично для летнего периода) (Алекин, 1970:444, Лурье, 1971:376).

В целом, сезонные и пространственные различия pH в озере Жайсан не выходили за пределы естественных колебаний, характерных для пресных водных объектов региона. Таким образом, поверхностные воды озера в различных районах и в разные сезоны 2024 года относятся к слабощелочным и соответствуют нормативам, установленным для рыбохозяйственных водоёмов (Министерство водных ресурсов и ирригации РК, 2025).

Содержание растворённого кислорода (O_2) в весенний период изменялось в интервале 7,60-8,11 мг/дм³, при степени насыщения 71,16-74,11 %. Минимальные значения были отмечены на станции Аманат, тогда как наибольшие - на станции Карсакбай. В целом, концентрации кислорода в весенний период указывают на благоприятные условия аэрации водоёма и активные процессы фотосинтеза в зоне освещения.

Анализ пространственного распределения показал, что на Курчумском побережье содержание растворённого кислорода было несколько ниже, чем на Тарбагатайском побережье. Это может быть связано с различиями в гидродинамических условиях: на Курчумской стороне наблюдается меньшая скорость течений и повышенное накопление органического материала, что способствует расходу кислорода на процессы минерализации (по аналогии с данными (Гавриленко, 1990:298).

В летний период отмечено незначительное повышение концентрации кислорода, значения изменялись от 8,38 мг/дм³ (ст. Карсакбай) до 9,00 мг/дм³ (ст. Бархот). Увеличение содержания растворённого кислорода летом связано с понижением температуры воды, что способствует повышению растворимости кислорода, а также с усилением ветрового перемешивания водных масс.

В течение всего периода наблюдений концентрации растворённого кислорода находились в пределах нормативов для рыбохозяйственных водоёмов (не ниже 6,0 мг/дм³), что указывает на отсутствие кислородного дефицита и благоприятные условия для гидробионтов (Министерство водных ресурсов и ирригации РК, 2025).

Показатель перманганатной окисляемости - один из основных индикаторов содержания органического вещества в водоёме. Для озера Жайсан этот параметр характеризуется относительной стабильностью в пространстве и времени.

Весной 2024 года содержание органического вещества изменялось в пределах 3,1-3,3 мгО/дм³, тогда как летом - в диапазоне 3,2-3,4 мгО/дм³. Небольшое сезонное повышение летних значений может быть связано с поступлением органики из прибрежных зон при разложении растительности и сезонным уменьшением интенсивности самоочищения вод.

По среднему значению перманганатной окисляемости озеро Жайсан относится к категории вод с очень малой окисляемостью, что указывает на низкое содержание легкоокисляемых органических веществ и отсутствие значительного антропогенного загрязнения.

Следует отметить, что концентрация органического вещества тесно связана с содержанием биогенных соединений (азота и фосфора), поскольку органические вещества служат источником для микробиологической минерализации и образования аммонийных и нитратных форм азота (Wetzel, 2001: 1006, Сладкова, Токтасынова, 2020: 52-60). В условиях умеренного содержания органики поддерживается оптимальный баланс между продукционными и деструкционными процессами, что обеспечивает экологическую

устойчивость водоёма

Анализ содержания биогенных веществ включал определение азотсодержащих соединений (азот аммонийный, нитриты, нитраты), фосфатов и общего железа (рис. 1). Динамика средних значений основных гидрохимических показателей озера Жайсан в период 2020-2024 годы

Концентрация аммонийного азота в среднем по водоему составляла 0,38 мг/дм³, содержание нитритов составило 0,014 мг/дм³ и содержание нитратов 0,11 мг/дм³. Содержание фосфатов так же было неизменным и равнялось 0,021 мг/дм³. Содержание общего железа составило 0,112 мг/дм³, при минимальных показателях 0,112 мг/дм³ (м. Тополев) и максимальных 0,117 (м. Бархот). В целом, содержание биогенных веществ в поверхностных водах оз. Жайсан в 2024 году находилось в пределах допустимых нормативов.

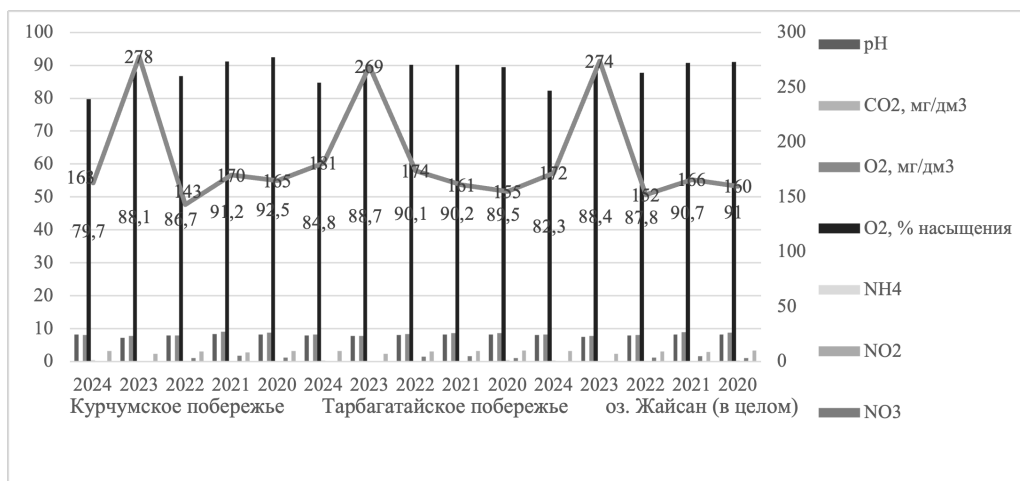


Рисунок 1. Динамика средних значений основных гидрохимических показателей озера Жайсан в период 2020--2024 годы

По показателям жесткости поверхностные воды оз. Жайсан относятся к категории «мягкие». На Курчумском побережье среднее значение жесткости равнялось 2,6 мг-экв/дм³ (вода мягкая).

На Тарбагатайском побережье на станциях м. Тополев и м. Карсакбай поверхностные воды классифицировались как «мягкие». Максимальные показатели жесткости были зафиксированы на станции м. Волчий.

Минерализация воды в текущем году в весенний и летний периоды находилась в пределах 141-313 мг/дм³. Средний показатель минерализации озера Жайсан в сравнении с 2023 годом в текущем году уменьшился на 37 %. Наименьшие значения наблюдались на станции Аманат, а наибольшие - были отмечены на станции м. Волчий. По показателям общей минерализации озеро Жайсан относится к категории «пресных».

Содержание главных ионов находилось в пределах допустимых значений (рис. 2).

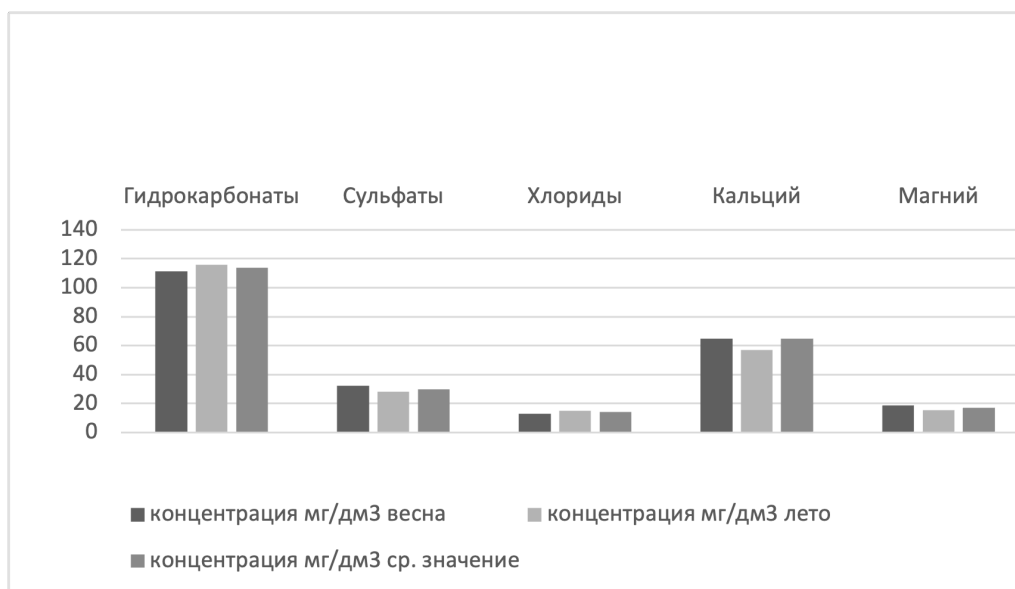


Рисунок 2. Средние концентрации основных ионов в поверхностных водах оз. Жайсан в 2024 году

Максимальные концентрации показывают гидрокарбонаты, которые в весенний период находились в интервале 106,8-128,1 мг/дм³. Минимальные значения отмечались на станциях Бархот и Аманат. Максимальное содержание гидрокарбонатов зарегистрировано на станции Кара Ертис. В летний период минимальное значение содержания гидрокарбонатов отмечено на станции Бархот, а максимальное - на станции м. Волчий. Из катионов доминировали ионы кальция (рис.1). Содержание ионов кальция изменялось от 57 мг/дм³ до 80 мг/дм³ весной. Минимальное значение отмечено на станции Бархот, а максимальное - на станции Кара Ертис. В летний период отмечено незначительное снижение концентраций кальция в воде до предельных значений 53,0 - 75,0 мг/дм³. Содержание катионов калия было ниже предела обнаружения во всех точках отбора. Содержание катионов натрия было в пределах от 0,23 мг/дм³ до 0,25 мг/дм³. В соответствии с классификацией О.А. Алекина поверхностные воды оз. Жайсан относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу.

Заключение. По результатам проведённых исследований установлено, что в текущем году гидрохимическое состояние озера Жайсан характеризовалось в целом благоприятными условиями для функционирования водной экосистемы. Воды озера отличались устойчивым кислородным режимом, что свидетельствует о достаточной аэрации и хорошем самоочищающем потенциале водоёма. Реакция водной среды оставалась слабощелочной, что является типичной характеристикой для природных вод бассейна региона. Показатели перманганатной окисляемости находились на низком уровне, что указывает на незначительное присутствие органических загрязнений. По величине общей минерализации воды озера классифицируются как пресные.

Содержание биогенных элементов (соединений азота и фосфора) в пробах не превышало установленные нормативные значения, что свидетельствует об отсутствии эвтрофикационных процессов и поступления значительных количеств антропогенных загрязнений. Таким образом, совокупность полученных данных позволяет оценить гидрохимический режим озера Жайсан как благоприятный для обитания и развития гидробионтов.

Анализ многолетней динамики основных гидрохимических показателей поверхностных вод озера за период 2020-2024 гг. выявил ряд закономерных тенденций. В частности, наблюдается смещение водородного показателя (рН) от «нейтральной» зоны в сторону «слабощелочной», что, вероятно, связано с изменением соотношения ионных форм в системе карбонатного равновесия. Отмечено устойчивое увеличение средних концентраций

растворённого кислорода, что может быть обусловлено как повышением фотосинтетической активности фитопланктона, так и благоприятными температурными и гидродинамическими условиями в водоёме.

В группе биогенных веществ зафиксировано повышение содержания аммонийного азота при одновременном снижении концентраций нитратов, нитритов и фосфатов, что свидетельствует о протекании процессов аммонификации и о возможных изменениях в соотношении источников поступления азотных соединений. По сравнению с 2023 годом, в 2024 году отмечено незначительное увеличение концентраций органических веществ, что, вероятно, связано с сезонными колебаниями продукционно-деструкционных процессов в экосистеме озера.

Особенностью текущего года стало снижение уровня общей минерализации - в 2024 году она уменьшилась на 37 % относительно максимального значения, зарегистрированного в 2023 году (274 мг/дм³). Это может быть связано с гидрологическими особенностями сезона, увеличением водообмена или изменением притока речных вод.

Соотношение основных ионов во все годы наблюдений соответствовало гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, первому типу по классификации О.А. Алекина, что отражает устойчивость ионного состава и отсутствие существенного антропогенного влияния на химический облик вод озера.

Таким образом, результаты мониторинга подтверждают стабильность гидрохимического режима озера Жайсан и его благоприятное состояние, обеспечивающее нормальные условия для существования водных организмов.

Литература

- Алекин, 1959 - Алекин О.А. Методы исследования физических свойств и химического состава воды //Жизнь пресных вод СССР /акад. Е.Н. Павловский, проф. В.И. Жадин. Москва-Ленинград, 1959. - Т. IV. ч.2. - 302 с. [Rus]
 Алекин, 1970 - Алекин О.А. *Основы гидрохимии*. - Ленинград: Гидрометеоздат, 1970. - 444 с. [Rus]
 Алекин, Дроздов, 1972 - Алекин О.А., Дроздов А.А. Классификация природных вод по ионному составу // *Гидрохимия суши*. - Ленинград: Гидрометеоздат, 1972. - С. 45-58. [Rus]
 Асылбекова, Куликов, 2016 - Асылбекова С. Ж., Куликов Е. В. Интродукция рыб и водных беспозвоночных в водоемы Казахстана: результаты и перспективы //Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2016. № 3. - С. 16-29. [Rus]
 Гавриленко, 1990 - Гавриленко М.М. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши*. - Москва: Гидрометеоздат, 1990. - 298 с.[Rus]
 Куликов, 2022 - Куликов Е. В. и др. Оценка стоимости рыбных ресурсов как инструмент регулирования природопользования в Казахстане //Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university: Multidisciplinary.- 2022. - № 3 (114). С. 81-91.
 Лурье, 1971 - Лурье Ю.Ю. *Аналитическая химия природных вод*. - Москва: Химия, 1971.- 376 с. [Rus]
 Лурье, 1973 - Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. - Москва: Химия, 1973.- 376 с.
 Министерство водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан. (2025). Министерство водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан. (2025). Приказ № 111-НҚ от 4 июня 2025 года «Об утверждении единой системы классификации качества воды в поверхностных водных объектах и (или) их частях». [Rus]
 Михайлова и др., 2015 - Михайлова Л. В., Чемагин А. А., Медведева И. Н. Ретроспективный анализ и современное состояние гидрохимического режима р. Иртыш в нижнем течении //Вестник рыбохозяйственной науки. 2015. Т. 2.№. 2. С. 60-75. [Rus]
 Рянжин и др., 2015 - Рянжин С. Н., Мякишева Н. В., Жумангалиева З. М. Морфометрические и гидрохимические характеристики озер Казахстана //Водные ресурсы.2015. Т. 42. №. 5.- С. 510-510.[Rus]
 Семенов, 1977 - Семенов А.Д. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши*. - Ленинград: Гидрометеоздат, 1977. - 542 с. [Rus]
 Савинкова, 2013а - Савинкова О. В. «О взаимосвязи гидрологического и гидрохимического режимов Бухтарминского водохранилища» *Гидрометеорология и экология* 1 (68) (2013): 137-144. [Rus]
 Савинкова, 2013б - Савинкова О. В. Особенности формирования химического состава вод озера Зайсан // *Гидрометеорология и экология*. 2013. №3 (70). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-himicheskogo-sostava-vod-ozera-zaysan> (дата обращения: 10.03.2025). [Rus]
 Савинкова, 2015 - Савинкова О. В. и др. Современное экологическое состояние озера Зайсан по гидрохимическим показателям //Альманах современной науки и образования. - 2015. - №. 1.-С. 92-95 [Rus]
 Сладкова, Токтасынова, 2020 - Сладкова Е.А., Токтасынова А.Б. Эвтрофикация и кислородный режим озёр Казахстана // *Вестник КазНУ. Серия экологическая*. - 2020. - №2(73). - С. 52-60. [Rus]
 Турсунова, Жумабаев, 2022 - Турсунова Ж.К., Жумабаев Н.А. Органическое вещество и биогенные элементы в озёрах Восточного Казахстана // *Известия НАН РК. Серия геологическая*. - 2022.-№4(454). - С. 120-129.[Rus]
 Chapra, 2008 - Chapra S.C. *Surface Water-Quality Modeling*. - Waveland Press, 2008. - 844 p. [Eng]
 Wetzel, 2001 - Wetzel R.G. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. - Academic Press, 2001. 1006 p. [Eng]

References

- Alekin, 1959 - Alekin, O. A. (1959). Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i khimicheskogo sostava vody [Methods for Studying the Physical Properties and Chemical Composition of Water]. In Zhizn' presnykh vod SSSR [Life of Freshwaters of the USSR] (Vol. IV, Part 2). Moscow-Leningrad. 302 p. [In Russ]
 Alekin, 1970 - Alekin, O. A. (1970). Osnovy gidrokhimii [Fundamentals of Hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 444 p. [In Russ]

- Alekin & Drozdov, 1972 - Alekin, O. A., & Drozdov, A. A. (1972). Klassifikatsiya prirodnkh vod po ionnomu sostavu [Classification of Natural Waters by Ionic Composition]. In *Gidrokhiimiya sushi* [Hydrochemistry of Land] (pp. 45-58). Leningrad: Gidrometeoizdat. [In Russ]
- Asylbekova & Kulikov, 2016 - Asylbekova, S. Zh., & Kulikov, E. V. (2016). Introduktsiya ryb i vodnykh bespozvonochnykh v vodoemy Kazakhstana: rezul'taty i perspektivy [Introduction of Fish and Aquatic Invertebrates into Water Bodies of Kazakhstan: Results and Prospects]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, (3), 16-29. [In Russ]
- Gavrilenko, 1990 - Gavrilenko, M. M. (1990). Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Guide to Chemical Analysis of Surface Waters of the Land]. Moscow: Gidrometeoizdat. 298 p. [In Russ]
- Kulikov et al., 2022 - Kulikov, E. V., et al. (2022). Otsenka stoimosti rybnkh resursov kak instrument regulirovaniya prirodoopol'zovaniya v Kazakhstane [Assessment of the Value of Fish Resources as a Tool for Regulating Nature Management in Kazakhstan]. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University: Multidisciplinary*, 3(114), 81-91. [In Russ]
- Lur'e, 1971 - Lur'e, Yu. Yu. (1971). Analiticheskaya khimiya prirodnkh vod [Analytical Chemistry of Natural Waters]. Moscow: Khimiya. 376 p. [In Russ]
- Lur'e, 1973 - Lur'e, Yu. Yu. (1973). Unifitsirovannye metody analiza vod [Unified Methods of Water Analysis]. Moscow: Khimiya. 376 p. [In Russ]
- Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan, 2025 - Ministerstvo vodnykh resursov i irrigatsii Respubliki Kazakhstan. (2025). Prikaz No. 111-NK ot 4 iyunya 2025 goda "Ob utverzhdenii edinoi sistemy klassifikatsii kachestva vody v poverkhnostnykh vodnykh ob'ektakh i (ili) ikh chastyakh" [Order No. 111-NK of June 4, 2025 "On the Approval of a Unified System for Classifying Water Quality in Surface Water Bodies and/or Their Parts"]. [In Russ]
- Mikhaylova et al., 2015 - Mikhaylova, L. V., Chemagin, A. A., & Medvedeva, I. N. (2015). Retrospektivnyy analiz i sovremennoe sostoyanie gidrokhimicheskogo rezhima r. Irtysh v nizhnem techenii [Retrospective Analysis and Current State of the Hydrochemical Regime of the Irtysh River in Its Lower Reach]. *Vestnik rybnokhozyaystvennoy nauki*, 2(2), 60-75. [In Russ]
- Ryanzhin et al., 2015 - Ryanzhin, S. N., Myakisheva, N. V., & Zhumangalieva, Z. M. (2015). Morfometricheskie i gidrokhimicheskie kharakteristiki ozer Kazakhstana [Morphometric and Hydrochemical Characteristics of Lakes in Kazakhstan]. *Vodnye resursy*, 42(5), 510-510. [In Russ]
- Semenov, 1977 - Semenov, A. D. (1977). Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Guide to Chemical Analysis of Surface Waters of the Land]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 542 p. [In Russ]
- Savinkova, 2013a - Savinkova, O. V. (2013). O vzaimosvyazi gidrologicheskogo i gidrokhimicheskogo rezhimov Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [On the Interrelation of Hydrological and Hydrochemical Regimes of the Bukhtarma Reservoir]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 1(68), 137-144. [In Russ]
- Savinkova, 2013b - Savinkova, O. V. (2013). Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava vod ozera Zaysan [Features of the Formation of the Chemical Composition of Water in Lake Zaysan]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 3(70). Retrieved from CyberLeninka (accessed: 10.03.2025). [In Russ]
- Savinkova et al., 2015 - Savinkova, O. V., et al. (2015). Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie ozera Zaysan po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Modern Ecological State of Lake Zaysan According to Hydrochemical Indicators]. *Almanakh sovremennoy nauki i obrazovaniya*, (1), 92-95. [In Russ]
- Sladkova & Toktasynova, 2020 - Sladkova, E. A., & Toktasynova, A. B. (2020). Evtrofikatsiya i kislorodnyy rezhim ozer Kazakhstana [Eutrophication and Oxygen Regime of Lakes in Kazakhstan]. *Vestnik KazNU. Seriya ekologicheskaya*, 2(73), 52-60. [In Russ]
- Tursunova & Zhumabayev, 2022 - Tursunova, Zh. K., & Zhumabayev, N. A. (2022). Organicheskoe veshchestvo i biogennyye elementy v ozerakh Vostochnogo Kazakhstana [Organic Matter and Biogenic Elements in Lakes of Eastern Kazakhstan]. *Izvestiya NAN RK. Seriya geologicheskaya*, 4(454), 120-129. [In Russ]
- Chapra, 2008 - Chapra, S. C. (2008). *Surface Water-Quality Modeling*. Waveland Press. 844 p. [In Eng]
- Wetzel, 2001 - Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press. 1006 p. [In Eng]