

МРНТИ 87.19.09; 70.27.17; 37.27.02

<https://doi.org/10.26577/JGEM812202613>**С.М. Романова** , **А.С. Серикова*** , **Р.Е. Махмутова** 

РГП «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

*e-mail: aizada.serikova@zool.kz

БИОХИМИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА В ВОДЕ ОЗЕРА БИЛИКОЛЬ (КАЗАХСТАН)

Представлены результаты химического анализа органического загрязнения озёрной воды (по ХПК(Cr), БПК₅) и растворенного кислорода в воде оз. Биликоль в многолетнем цикле (2007–2024 гг., лето 2025 г.). Режим и динамика показателей биологического и химического потребления кислорода воды оз. Биликоль зависит от сезона года, антропогенного воздействия прошлых лет и его гидрологических особенностей. Сезонная изменчивость определяется дополнительным поступлением органических веществ в озеро в виде паводковых вод весной, частоты и интенсивности попусков с вышерасположенного водохранилища Акколь на р. Аса, а также постоянно протекающими внутриводоемными процессами в системе «вода–донные отложения».

Среднее соотношение ХПК(Cr)/БПК₅ составило 4,24, что указывало на возможное присутствие в воде органических соединений, плохо поддающихся биологическому разложению. Явно выраженной закономерности величин ХПК(Cr) и БПК₅ в многолетнем цикле в различные сезоны года выявить не удалось. Однако прослеживается тенденция к постепенному снижению этой величины с 2013 г., обусловленная увеличением санитарных попусков воды в Биликоль с более низким содержанием органических веществ и усиливающимися внутриводоемными процессами, приводящими к самоочищению. Несмотря на это качество воды Биликоля по показателям ХПК(Cr) и БПК₅ не соответствует нормативным требованиям, установленным для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях.

Ключевые слова: органические вещества, ХПК(Cr), БПК₅, загрязнение воды, растворенный кислород.

S.M. Romanova, A.S. Serikova*, R.E. Makhmutova

Institute of Zoology, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: aizada.serikova@zool.kz

Biochemical and Chemical Oxygen Demand in the Water of Lake Bilikol (Kazakhstan)

The results of chemical analyses of organic pollution indicators (COD(Cr), BOD₅) and dissolved oxygen in the water of Lake Bilikol over a long-term period (2007–2024 and summer 2025) are presented. The regime and dynamics of biological and chemical oxygen demand in Lake Bilikol depend on seasonal variations, the anthropogenic impacts of previous years, and the hydrological characteristics of the lake. Seasonal variability is determined by the additional input of organic matter into the lake with spring floodwaters, the frequency and intensity of water releases from the upstream Akkol Reservoir on the Asa River, as well as by ongoing internal processes occurring within the “water–bottom sediments” system.

The average COD(Cr)/BOD₅ ratio was 4.24, indicating the possible presence of organic compounds that are resistant to biological degradation. No clear long-term pattern in COD(Cr) and BOD₅ values was identified across different seasons. However, a gradual decreasing trend has been observed since 2013. This trend is associated with increased sanitary water releases into Lake Bilikol containing lower concentrations of organic matter, as well as enhanced in-lake processes contributing to the self-purification of the water body. Nevertheless, the water quality of Lake Bilikol, based on COD(Cr) and BOD₅ indicators, does not comply with the regulatory standards established for water bodies used for fisheries purposes.

Keywords: organic matter, COD(Cr), BOD₅, water pollution, dissolved oxygen.

С.М. Романова, А.С. Серікова*, Р.Е. Махмутова
ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан
*e-mail: aizada.serikova@zool.kz

Билікөл көлі суындағы оттегінің биологиялық және химиялық тұтынуы (Қазақстан)

Мақалада Билікөл көлінің суындағы органикалық ластану көрсеткіштерінің (ХПК(Сr), БПК₅) және еріген оттегінің көпжылдық (2007–2024 ж., 2025 жылдың жазы) өзгерістерін сипаттайтын химиялық талдау нәтижелері ұсынылды. Билікөл көліндегі биологиялық және химиялық оттегі тұтыну көрсеткіштерінің режимі мен динамикасы жыл мезгіліне, өткен жылдардағы антропогендік әсерге және көлдің гидрологиялық ерекшеліктеріне тәуелді. Маусымдық өзгергіштік көктемгі су тасқыны кезінде көлге органикалық заттардың қосымша түсуімен, Аса өзеніндегі жоғары орналасқан Ақкөл су қоймасынан жіберілетін су көлемінің жиілігі мен қарқындылығымен, сондай-ақ «су – түптік шөгінділер» жүйесінде үздіксіз жүретін ішкі суқоймалық үдерістермен байланысты.

ХПК(Сr)/БПК₅ қатынасының орташа мәні 4,24 болды, бұл суда биологиялық ыдырауы қиын органикалық қосылыстардың болуы мүмкін екенін көрсетеді. Өртүрлі маусымдардағы көпжылдық қатарда ХПК(Сr) мен БПК₅ көрсеткіштерінің айқын заңдылығы анықталған жоқ. Дегенмен, 2013 жылдан бастап бұл көрсеткіштердің біртіндеп төмендеу үрдісі байқалады. Бұл Билікөлге органикалық заттар мөлшері төмен санитарлық су жіберілімдерінің артуымен және суқоймадағы өзін-өзі тазарту үдерістерін күшейтетін ішкі гидробиохимиялық процестердің белсенділігімен түсіндіріледі. ХПК(Сr) және БПК₅ көрсеткіштері бойынша Билікөл суының сапасы балық шаруашылығы мақсатында пайдаланылатын су объектілеріне қойылатын нормативтік талаптарға сәйкес келмейді.

Түйін сөздер: органикалық заттар, ХПК(Сr), БПК₅, су ластануы, еріген оттегі.

Введение

Важность изучения величин ХПК(Сr) и БПК₅, а также растворенного в воде кислорода заключается в защите окружающей среды, которые применяются во всем мире (Alexander et al., 2024). Так, химическая потребность в кислороде (ХПК(Сr)) является одним из наиболее быстрых и информативных тестов, используемых для контроля качества воды при её очистке (Dedkov et al., 2000). Параметр ХПК(Сr) отражает степень загрязнения водоёмов органическими веществами и определяется как количество кислорода, эквивалентное содержанию органических веществ в образце, которые могут быть окислены сильными химическими окислителями, такими как перманганат калия или дихромат калия. Органические вещества влияют на органолептические, санитарно-гигиенические и токсикологические свойства водных систем.

В зависимости от характера воды используются различные модификации метода: ХПК(Мn) (перманганатная окисляемость) – для слабо загрязнённых вод, а ХПК(Сr) (дихроматная окисляемость) – для сильно загрязнённых или сточных вод, благодаря высокой окислительной способности реагента (Li et al., 2018). Показатель ХПК(Сr) широко применяется для характеристики степени загрязнения промышленных

сточных вод, поскольку охватывает как биоразлагаемые, так и устойчивые к биodeградации органические соединения (Aguilar-Torrejón et al., 2023). Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) – это стандартный показатель, отражающий количество кислорода, необходимого микроорганизмам для разложения органических веществ в течение пяти суток (Семенов, 1977; Никаноров, 2001). Несмотря на общую направленность, ХПК(Сr) и БПК₅ характеризуют разные аспекты загрязнения воды, поэтому оба параметра используются при мониторинге качества водных объектов.

Высокие значения ХПК(Сr) и БПК₅ часто наблюдаются в промышленных и бытовых сточных водах, где в её состав попадают многочисленные органические и минеральные соединения, включая поверхностно-активные вещества (ПАВ), буферы, дезинфицирующие средства, щёлочи, окислители, отбеливатели, энзимы, консерванты и ароматизаторы (Nicolaidis and Vyrides, 2014; Ho et al., 2021).

Исследования легко – и трудно-окисляющихся органических веществ, растворенного кислорода и оценка экологического состояния озера Биликоль по этим параметрам в многолетнем цикле представляет актуальную задачу и до настоящего времени не было осуществлено. Данная работа частично восполняет этот пробел.

Целью работы являлось оценить режим и динамику ХПК(Mn), ХПК(Cr), БПК₅, содержания растворенного кислорода в воде оз. Биликоль за период 2007–2024 гг, 2025 г (июль) в зависимости от внешних факторов.

На режим и динамику исследуемых показателей в озере Биликоль заметное влияние оказывают физико-географические условия и антропогенный фактор. Основные типы рельефа Жамбылской области включают низкогорное волнистое плато, предгорную наклонную равнину и Биликольскую впадину (Рельеф Казахстана, 1991). Климат исследуемого региона характеризуется резко континентальными условиями: жарким солнечным летом, холодной зимой, низким количеством атмосферных осадков, интенсивным испарением и высокой инсоляцией. Кроме того, по мнению ряда ученых Казахстан уже испытывает последствия изменения климата (Чередниченко, 2009; Алимкулов и др., 2021.). Температура воздуха в Казахстане значительно повысилась за последние десятилетия. Так, среднегодовая температура увеличивалась на 0,32°C каждые 10 лет. Самая высокая температура была в 2020 г, когда средняя по территории аномалия составила 1,92°C. Это указывает на то, что в Казахстане среднегодовая температура воздуха растет быстрее, чем среднемировая (Dai et.al. 2009; Обновленный национальный вклад, 2023, Taylor et. al., 2024.).

Гидрологический и гидрохимический режим озера Биликоль зависят главным образом от объема паводковых вод, влияния притоков, а также частоты и интенсивности попусков с вышерасположенного водохранилища Акколь на р. Аса (Дүйсенбеков и др., 2016).

Озеро Биликоль – крупнейший и самый глубокий водоём в Жамбылской области, входящий в десятку крупнейших озёр Казахстана. Оно расположено в 75 км к юго-востоку от г. Тараза, у подножья гор Каратау (рис. 1), на территории Бериккаринского сельского округа, площадь которого составляет 40 589 га, из них 37630 га приходится на сельскохозяйственные угодья и 2959 га – на прочие земли (Дүйсенбеков и др., 2016). Озеро находится в аридной зоне и имеет уникальную экосистему. Площадь водосборной площади составляет 5170 км², площадь зеркала – 86,9 км², средняя глубина – 6,0–7,0 м. (Болатхан и др., 2016). Летом 2025 г. нами была зафиксирована максимальная глубина озера 7,45 м. Береговая линия почти полностью заросла камышом.

Уровень воды озера за период 2008–2023 гг изменялся в пределах от 2,17 м в октябре 2022 г. до опасной величины 5,20 м в апреле 2017 г., причем минимальные уровни 2,17–3,69 м приходились на осенне-зимний период, а максимальные 3,01–4,96 м – весной. По данным (Болатхан и др., 2016) максимальная отметка уровня воды достигала 8,35 м в 1985 г., а в 2016 году составляла в среднем около 3,69 м.

В озеро впадают небольшие степные реки Бериккара и Аса, однако приток воды по ним наблюдается преимущественно зимой и в начале весны. Наибольшее значение имеет река Аса, питающая озеро Биликоль; её сток в настоящее время полностью зарегулирован и используется для нужд орошения и водоснабжения промышленных предприятий г. Тараза.

Турданова М. с соавторами, изучая распределение выбросов загрязняющих веществ, определила ключевые источники загрязнения в различных урбосистемах Жамбылской области (Турданова и др., 2025). В частности, ими было выявлено, что г. Тараз и Заулинский район являются основными источниками выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, оказывая влияние на здоровье населения, биоразнообразие и изменение климата в регионе.

Следует отметить тот факт, что в 1980-х годах в результате аварийных сбросов сточных вод химических предприятий Жамбылской области в озеро были зафиксированы экстремально высокие концентрации загрязняющих веществ, что привело к массовой гибели водной флоры и фауны. С 1983 года озеро Биликоль перестало функционировать как естественный чистый водоём и вошло в перечень наиболее загрязнённых водных объектов Республики Казахстан (Заядан и др., 2015).

Первый залповый сброс сточных вод в озеро Биликоль произошёл в 1972 году с контрольных прудов ДПО «Химпром». В 1982 году более мощный аварийный сброс привёл к экологической катастрофе регионального масштаба. На протяжении нескольких лет так называемые «условно чистые» сточные воды поступали с контрольных карт предприятия в канал Талас–Аса и далее в реку Аса, которая питает озеро Биликоль. Существенный вклад в загрязнение также вносили стоки с полей фильтрации Джамбулского суперфосфатного завода (ныне ТОО «Казфосфат»).

В результате накопления токсичных веществ в водоёме произошла массовая гибель гидроби-

онтов. До аварийных сбросов в озере обитало более 30 видов рыб, однако в настоящее время сохранилось лишь около 13 (Сейтбаев и др., 2012, 2014; Середин, 2019). Но численность рыб и их рыбохозяйственное значение неодинаковы.

В Жамбылской области проводились исследования по оценке состояния озера, уровню загрязнения и разработке рекомендаций по его восстановлению за счёт регулирования стока реки Аса. Для предотвращения дальнейшего обмеления в 1989 г. была построена плотина, разделяющая водоём на большую и малую чаши (Сейтбаев и др., 2012).

В летний период озеро практически не получает притока пресной воды, что способствует повышению минерализации и концентрации токсичных веществ (Заядан и др., 2015). Вследствие экологической катастрофы вода озера Биликоль в настоящее время не используется для питьевых целей, а применяется лишь для рыболовства и орошения. Согласно данным Tengrinews (tengrinews.kz), в 2021 г. из-за снижения уровня береговая линия озера отступила на несколько сотен метров от первоначальных границ. Постепенное снижение уровня озера продолжалось и в последующие годы.

После длительного перерыва на озере Биликоль гидрологические и гидрохимические работы были возобновлены в 2007 году Казгидрометом.

По данным Заядан Б.К. с соавторами вода озера по-прежнему относилась к сульфатному классу с высокой минерализацией и значительным содержанием фторидов. Показатель БПК₅ превышал предельно допустимую концентрацию (ПДК) более чем в 22 раза. По степени сапробности вода характеризовалась как мезосапробная, что подтверждалось массовым развитием фитопланктона и свидетельствовало о высокой эвтрофности водоёма (Заядан и др., 2015).

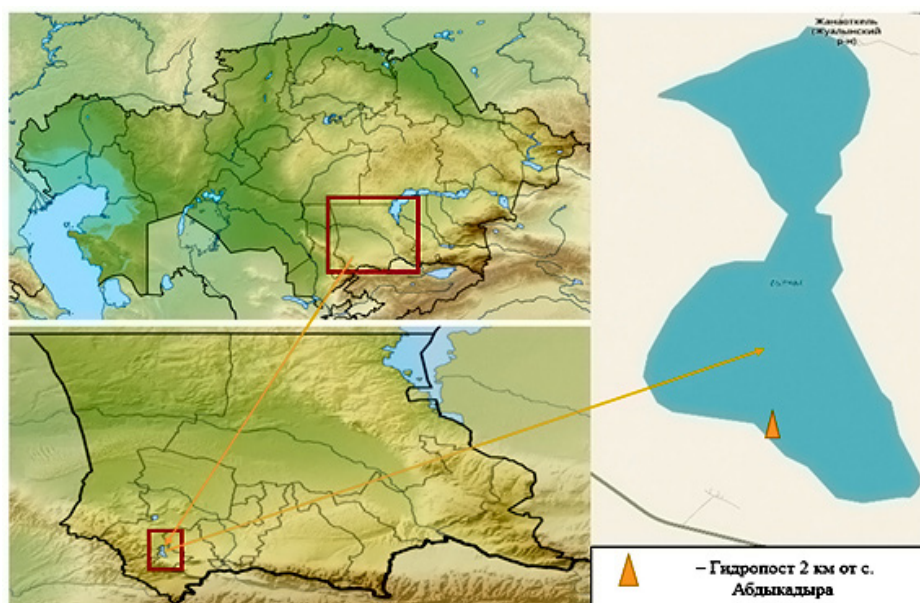
В сложившихся условиях изучение режима и динамики органических веществ по показателям ХПК(Сr), БПК₅ и растворенного в воде кислорода в воде озера Биликоль в многолетнем цикле представляет несомненный интерес, направленный на оценку современного состояния водоёма и выявление тенденций его изменения.

Материалы и методы

Материалом исследования послужили кадастровые и мониторинговые данные РГП «Казгидромет», находящегося в ведении Министерства энергетики Республики Казахстан, за период 2007–2024 гг. (Информационный бюллетень Казгидромет; Государственный водный кадастр), а также материалы авторов, полученные в экспедиционных и лабораторных условиях летом 2025 г.

Рисунок 1

Карта-схема расположения озера Биликоль



Примечание: составлено авторами.

Для исследования был выбран 1 участок, находящийся на юго-западной стороне большой чаши Биликоля, примерно в 2 км от села Абдыкадыр (координаты 42.987828...70.686098). С учетом относительно небольшого размера озера и отсутствия данных по всей акватории озера нами в июне 2025 г. были отобраны пробы воды в 8 условных станциях в пределах координат (42.98183...70.7366; 42.0884...70.68872). Координатная привязка станций выполнялась с помощью GPS-навигатора Garmin Garmin etrex 22x (Garmin Ltd., Taiwan). Измерение температуры и pH проводили с использованием прибора HORIBA (Ltd., Japan). Пробы воды для определения легко окисляющихся органических веществ ХПК(Mn) мы отбирали в стеклянные ёмкости объемом 0,250 мл и фиксировали химически чистой серной кислотой в разбавлении 1:3. Дальнейшее определение величины перманганатной окисляемости в кислой среде проводили в стационарной лаборатории по методу Кубеля (ГОСТ-2003; Об утверждении нормативов качества воды, 2016; Гусева, 2002). Пробы воды нами анализировались в трёхкратной повторности.

Рассчитаны средние значения величин ХПК(Cr) и БПК₅, концентрации растворенного кислорода и стандартное их отклонение (SD). Результаты отработаны программой Statistica 12 и excel, а анализ собственных полевых данных и интерполяция значений концентраций (by Nature Neighbour) по акватории озера были выполнены с использованием ArcGIS PRO 3.5.

Поскольку анализ ХПК(Cr) и БПК₅ обычно производится для определения корреляции между этими основными параметрами, характеризующими степень загрязнения водной среды, нами для всех проб воды было определено соотношение ХПК(Cr)/ БПК₅ (индекс биоразлагаемости). Данное соотношение считается «точкой отсчёта» между биоразлагаемыми и не биоразлагаемыми сточными водами (Rudaru et al., 2022).

В настоящее время оценка качества воды рек, водохранилищ по ряду компонентов химического состава производится по «Единой системе классификации воды» и не распространяются для морей и озер (Единая система..., 2025). В связи с этим в работе мы сочли необходимым использовать один из распространенных гигиенических нормативов, а именно предельно-допустимую концентрацию изучаемых компонентов, превышение которой помогает оценивать степень загрязнения озерной воды.

Результаты и обсуждение

Вода озера Биликоль солоноватая (минерализация >1100 мг/дм³), жёсткая (общая жёсткость >15 мг-экв/дм³), по классификации О.А. Алекина (Алекин, 1970) сульфатного класса, магниевой группы, второго типа (S^{Mg}_{II}) (Информационный бюллетень Казгидромет; Государственный водный кадастр; Амиргалиев и др., 2018).

Величина водородного показателя (pH) за исследуемый период варьировала в пределах от 6,65 (близка к нейтральной реакции среды) до 8,70 (щелочная реакция среды). Относительно высокие значения величины pH были отмечены в октябре 2007 г. 8,65, ноябре 2008 г. 8,55, августе 2009 г. был максимум – 8,70, ноябре 2012 и 2020 гг. 8,60 и июне 2025 г. 8,62 (таблица 1).

Концентрация растворённого кислорода, как правило, находится в прямой зависимости от температуры воды и её солёности: с повышением температуры и минерализации растворимость кислорода обычно снижается. Минимальные значения растворённого кислорода наблюдались летом, весной и в сентябре, когда температура воды максимальна, тогда как в зимний период, при ледоставе, содержание кислорода возрастало до 11,10–13,0 мг/дм³. Минимальный уровень О₂ был 5,36 мг/дм³ в 2014 г. Степень насыщения воды кислородом изменялась в пределах 37–127%. Поскольку содержание растворённого кислорода в основном всегда превышало 6,0 мг/дм³, это является благоприятным фактором для жизнедеятельности гидробионтов.

Содержание трудно окисляющихся органических веществ ХПК(Cr) в 2007–2024 гг. изменялось в пределах 11,5–284,0 мгО₂/л при среднегодовых колебаниях 84,8±4,45 мгО₂/л. Этот показатель не нормируется для сброса в рыбохозяйственные водоёмы, а используется для оценки загрязненности самой воды (ХПК(Cr) до 15 мг О₂/дм³ для питьевых водоёмов, до 30 мг О₂/дм³ для рекреационных). Отмечалось превышение ПДК для водоёмов, используемых в рекреационных целях во все периоды года в 0,4–9,5 раза. В этот период ХПК(Cr) не превышало ПДК только в мае 2007 г., августе 2010 г., июне 2012 г. и сентябре 2013 г. С 1996 г. по 2024 гг. наблюдалось постоянное превышение ПДК по этому показателю. Максимальное превышение было зафиксировано в марте–апреле в 2007 г. Судя по величине ХПК(Cr) воду озера Биликоль можно использовать только в рекреационных целях.

Таблица 1

Диапазон значений температуры, pH, концентрации O_2 , величин ХПК, БПК₅ в воде озера Биликоль за период 1996, 2007–2024 гг.

Год	t, °C	pH	Кислород		ХПК (Cr)	БПК ₅
			мг/дм ³	насыщение, %	мгО ₂ /дм ³	
1996	0,0	8,09	7,4	55	137,0	52,0
2007	3,2–27,3	7,62–8,65	6,80–12,20	77–108	22,1–284,0	14,0–55,0
2008	0,1–29,6	7,85–8,55	6,96–11,80	59–106	31,2–164,8	10,0–29,3
2009	0,8–26,2	8,00–8,70	7,68–10,90	72–115	34,7–121,0	15,8–26,0
2010	0,5–26,0	8,00–8,50	6,43–12,50	77–98	23,2–103,0	0,97–33,2
2011	0,5–26,7	7,95–8,40	6,49–12,90	56–105	77,8–218,0	15,2–42,0
2012	0,5–28,0	7,85–8,60	6,18–13,00	74–91	11,6–190,0	20,2–40,0
2013	0,5–25,0	7,40–8,45	6,46–12,80	57–99	11,5–198,0	30,2–41,0
2014	0,5–26,8	7,60–8,40	5,36–12,50	53–127	44,0–126,0	16,9–30,9
2015	2,1–28,4	7,80–8,50	7,07–11,00	59–107	41,4–90,0	15,1–26,2
2016	4,0–27,0	7,50–8,40	6,73–8,97	53–101	57,2–109,0	15,7–26,8
2017	3,5–28,5	7,80–8,30	6,92–11,90	75–93	45,5–124,0	6,4–17,4
2018	1,0–25,0	7,20–8,20	5,40–11,10	37–105	35,7–118,0	8,8–17,6
2019	2,0–28,6	7,50–8,54	6,64–9,70	59–99	39,1–96,1	6,9–15,5
2020	3,0–26,0	6,65–8,60	6,34–11,60	65–94	39,2–81,4	5,3–20,7
2021	4,0–32,0	6,85–8,00	6,23–7,97	42–78	31,8–72,4	6,2–17,8
2022	15,0–31,6	6,75–8,30	6,92–8,67	45–82	46,3–77,7	7,8–11,2
2023	18,0–29,0	7,85–8,20	6,61–8,21	62–84	41,6–53,2	9,5–19,1
2024	22,0–27,0	7,65–8,3	6,29–7,14	53–79	44,4–52,5	11,5–12,5

Примечание: на основе данных РГП «Казгидромет»

По сравнению с ХПК(Cr) размах варьирования величины БПК₅ значительно меньше и в разные годы не превышал 54,3 мг О₂/дм³. Практически постоянно наибольшая концентрация биохимического потребления кислорода и величины ХПК(Cr) были отмечены в апреле-мае месяцах, когда уровень воды в озере достигал максимальных отметок. В это время возрастает поверхностный сток с водосборной площади и в озеро вместе с талыми и дождевыми водами смывается большое количество гуминовых и других органических веществ, вызывая увеличение окисляемости воды.

Между показателями БПК₅ и ХПК(Cr) выявлена статистически значимая умеренная положительная корреляция средней силы ($r = 0,5913$). Данный результат является ожидаемым, поскольку оба параметра характеризуют содержание органических веществ в воде, хотя и основаны на различных методах определения (биологическом и химическом окислении) (Табл. 2). Выявлена слабая корреляционная связь между значением pH и величинами БПК₅ и ХПК(Cr), а

очень слабая и слабая отрицательная корреляция между температурой воды.

По нашим данным концентрация легко окисляющихся органических веществ ХПК(Mn) в июне 2025 г. варьировала в пределах от 8,55 до 11,82 мгО/дм³ при среднем значении $9,37 \pm 0,62$ мгО/дм³. Наименьшие значения наблюдались в малой чаше озера, тогда как в большой чаше величины были стабильно выше. Наличие органических веществ влияет на прозрачность воды. Прозрачность озерной воды была в этот период низкой (4–16 см), что указывало на образование коллоидных частиц органического и неорганического происхождения в результате попадания в воду пыли или продуктов жизнедеятельности живых существ и микроорганизмов. Стоит отметить, что в месте расположения гидропоста Казгидромета, близкого к нашей станции, концентрация ХПК(Mn) меньше, но этот показатель – 7,33 мгО/дм³ тоже не соответствует требованию ПДК, равному 10,00 мгО/дм³ (СанПиН 2.1.4.1175-02).

Таблица 2

Корреляционная зависимость между показателями органического загрязнения, растворённого кислорода, pH и температурой.

	t, °C	pH	БПК ₅	ХПК(Cr)	O ₂ , %	O ₂ , мг/дм ³
t, °C	1,0000	0,0392	-0,0241	-0,1008	0,5236	-0,6276
pH		1,0000	0,3339	0,1642	0,3587	0,2871
БПК ₅			1,0000	0,5913	0,0964	0,1139
ХПК				1,0000	0,0515	0,1762
O ₂ , %					1,0000	0,2478
O ₂ , мг/дм ³						1,0000

Примечание: составлено авторами.

Пространственное распределение показателей минерализации воды демонстрирует её увеличение по длине бессточного озера (рис. 2а). Меньшее значение минерализации в малой чаше (1173,0 мг/дм³) и 1572,3 мг/дм³ в большой чаше) вызвано впадением притока Асы с минерализацией 435,2 мг/дм³. Общая минерализация воды в большой чаше озера постепенно возрастала от 1549,9 мг/дм³ до 1614,0 мг/дм³. Показатели перманганатной окисляемости, наоборот, были выше в малой чаше (10,59–11,84 мгО/дм³, рис. 2б). Содержание легкоокисляющихся органических веществ в большой чаше озера изменялось в пределах 7,33–9,37 мгО/дм³, а в воде р. Аса не превышало 3,25 мгО/дм³. В большой чаше озера Биликоль очевидны процессы самоочищения воды, ведущие к снижению величины ПО до 7,33 мгО/дм³. Из-за узкого перешейка, соединяющего две чаши озера, не происходит полного смешивания воды, и каждая из частей существует практически как самостоятельный водный объект. В связи с этим предлагаем соорудить еще один гидрост у малой чаши для оценки ее состояния воды.

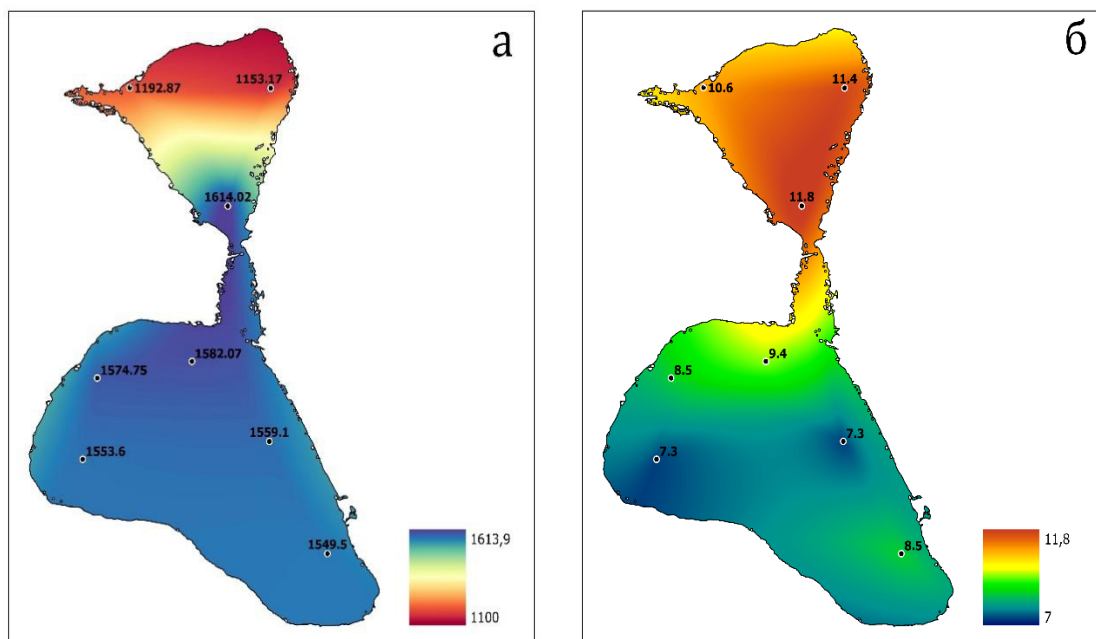
Специалисты Казгидромета ежемесячно определяли ХПК(Cr) и БПК₅ в воде р. Аса с 2014 по 2023 гг. Пределы изменения величин ХПК(Cr) и БПК₅ в речной воде были значительно ниже, чем в озёрной воде и составляли, соответственно, 8,1–36,5 и 0,8–5,3 мгО₂/дм³. Минимальные и максимальные концентрации потребленного кислорода обнаружены в различные сезоны

года благодаря мелководности (глубина от 0,5 до 1,5 м, местами на перекатах до 30–40 см) и быстрому течению.

Четко выраженной закономерности величины ХПК(Cr) в многолетнем цикле в различные сезоны года выявить не удалось (рис. 3). Однако прослеживается тенденция к постепенному снижению этой величины с 2013 г., обусловленная увеличением санитарных попусков воды в Биликоль с более низким содержанием органических веществ и усиливающимися процессами самоочищения. Изучение физико-химических процессов в системе «вода-донные отложения», приводящих к убыли или накоплению органических веществ, является предметом самостоятельного исследования и в нашу задачу не входило. Наблюдалось как снижение, так и повышение содержания трудно окисляющихся органических веществ в разные периоды. Так, выявлены максимальные показатели ХПК в зимнее время в 2007, 2011–2014, 2016, 2018 и 2019 гг., летом – в 2007, 2010, 2013, 2015, 2018, 2020 и 2021 гг., весной в 2007, 2008, 2011, 2013 и 2017 г, а осенью – в 2007, 2012, 2013, 2009, 2022 и 2023 гг. Относительно низкие показатели ХПК(Cr) обнаружены в теплое время года всего периода исследования. Годовые минимумы приходятся на весенне-летние месяцы, в зимнее время этот показатель заметно больше. Особо выделяется 2007 год: 9 месяцев в году величина ХПК(Cr) изменялась в пределах от 109 до 284 мг О₂/дм³.

Рисунок 2

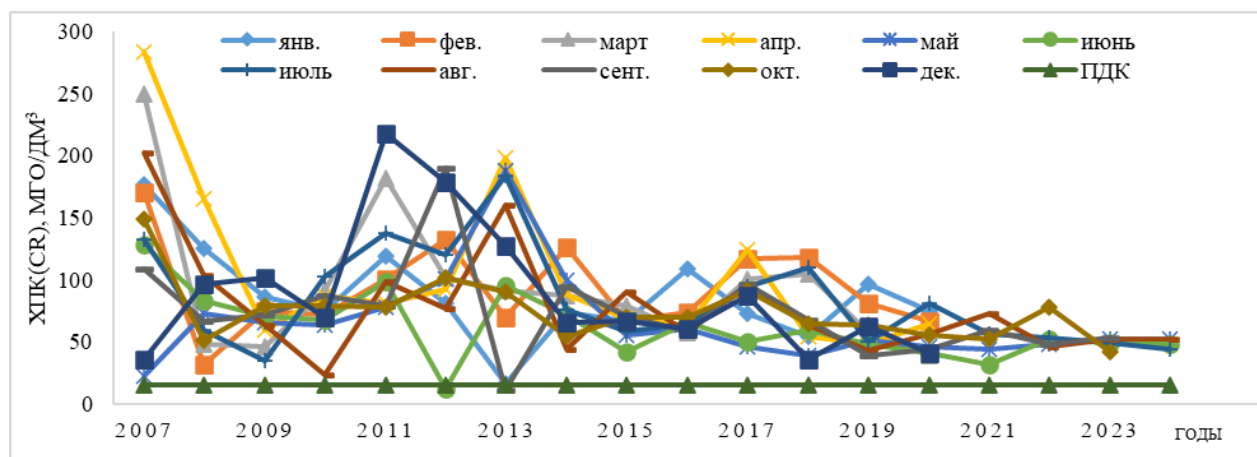
Пространственное изменение минерализации воды (а) и показателей ПО (б) в озере Билюколь, июнь 2025 г.



Примечание. Рисунок выполнен сотрудником института зоологии Д.В. Малаховым

Рисунок 3

Ежемесячные показатели ХПК(Cr) в оз. Билюколь, 2007–2024 гг.



Примечание: составлено автором

Показатель БПК₅ в билюкольской воде в 2007–2024 гг. изменялся в широких пределах 0,97–55,00 мгО₂/л при среднегодовых колебаниях $21,20 \pm 0,70$ мгО₂/дм³. Отмечалось среднегодовое максимальное значение в 2013 г. ($37,1$ мгО₂/дм³ $\pm 1,14$), а минимальное – в 2019 г. ($11,30$ мгО₂/дм³ $\pm 0,80$). Найденные показатели БПК₅ превышали значения уста-

новленных потребностей для водоемов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования практически в течение всего периода исследования. Для целей хозяйственно-бытового и культурного водопользования озерная вода соответствовала требованиям в августе 2010, апреле 2017–2019 гг., ноябре 2020 г. и июне 2021 г., имела значение, равное или меньше

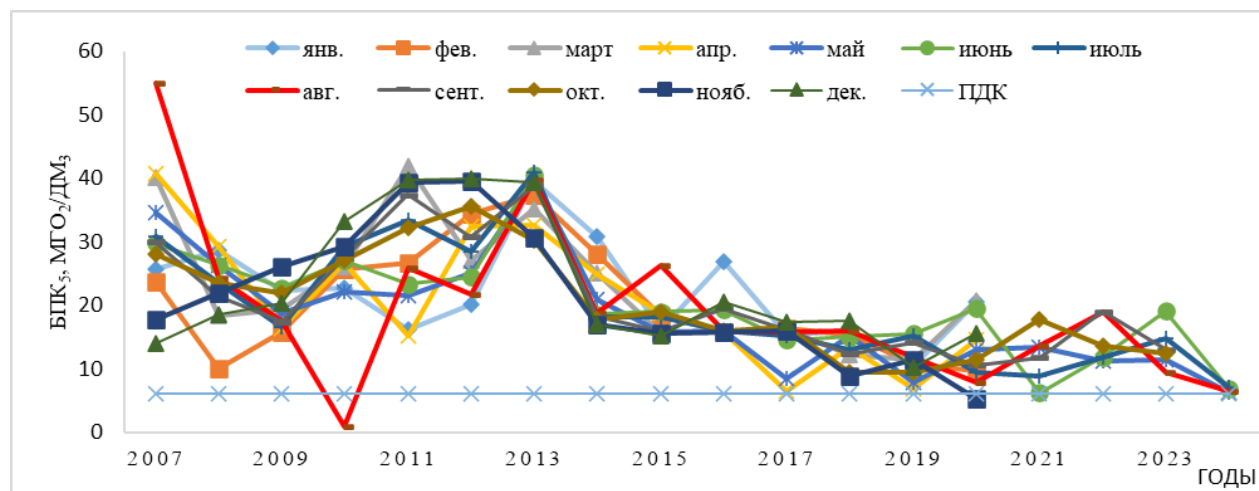
6,00 мгО₂/дм³. В другие сезоны года этот показатель превышал норму, и в случае использования воды необходимо проводить мероприятия по очистке воды (рис. 4).

В августе 2007 г. наблюдалось максимальное значение БПК₅–55,00 мгО₂/л, но в августе

2010 г. был отмечен минимум – 0,97 мгО₂/л. На основании расчета среднегодовых показателей БПК₅, также как и ХПК (Cr), прослеживалась тенденция к постепенному их снижению с 2013 г, свидетельствующее об улучшении качества озерной воды.

Рисунок 4

Среднегодовые показатели БПК₅ в оз. Биликоль, 2007–2024 гг.



Примечание: составлено автором

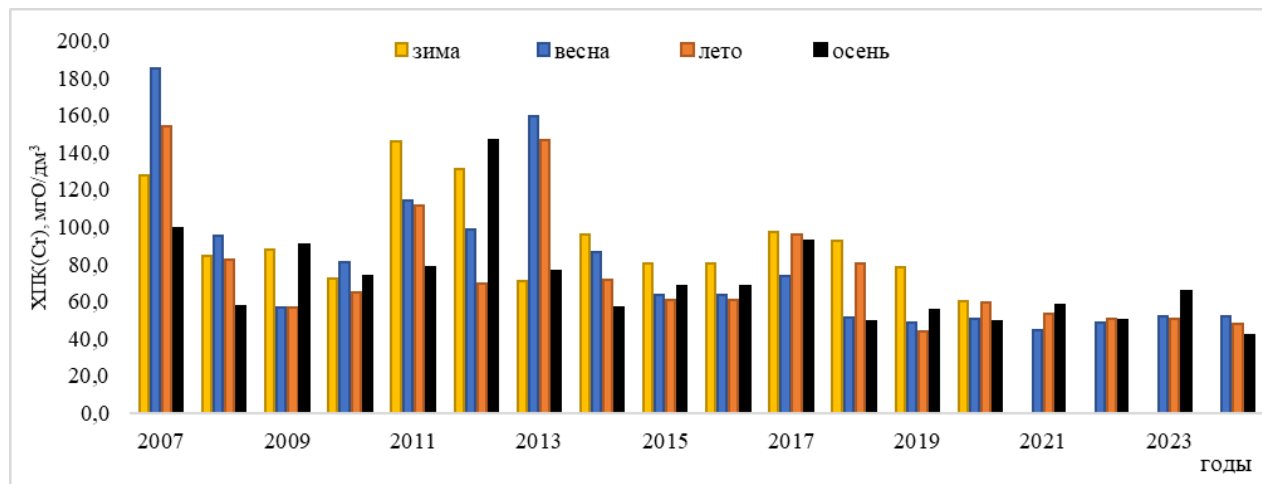
Наблюдающееся снижение среднегодовых значений показателей органических веществ (БПК₅, ХПК(Cr)) в летний период и их повышение весной, как правило, объясняется тем, что весной с водосборной площади озера тальми водами из почв вымывались органические соединения, которые поступали в водоём. В зимнее время их содержание обычно снижалось из-за понижения температуры воды и замедления процессов биохимического разложения органического вещества (Долматова и Гусева, 2005; Селезнев., 2024; Романова и Казангапова, 1991; Романова, 2007). Исследование величин БПК₅ и ХПК(Cr) в различные сезоны года позволило установить следующее. Показатели среднего сезонного ХПК(Cr) достигали максимальных значений в различные сезоны года: в 2007 г. зимой (127,6 мг/дм³), весной (185,3 мг/дм³) и летом (154), в 2011 г. зимой (146,0 мг/дм³), весной (113,8) и летом (111,3 мг/дм³), в 2012 г. зимой (130,7 мг/дм³) и осенью (146,33 мг/дм³), а также в 2013 г. весной (159,2) и летом (146,6) (рис. 5). В последующие годы, а именно в период 2020–

2023 гг. значения ХПК(Cr) заметно снизились, что свидетельствовало о некотором улучшении качества воды по этому показателю. Отметим, что в холодное время года 2021–2024 гг., отбор проб воды не производился. Не удалось выявить явно выраженной сезонной изменчивости показателя ХПК (Cr) в 2020–2023 гг.

По каталожным данным Казгидромета (2007–2024 гг.) установлено, что среди водоемов Жамбылской области только в озере Биликоль наблюдались заметные превышения показателей ХПК(Cr). Так, в оз. Алаколь (п. Кабанбай, 2016–2020 гг.) величина дихроматной окисляемости изменялась в пределах 9,0 – 50,2, оз. Сасыкколь (2016–2020 гг.) – 10,0–31,0, Тасоткельском водохранилище (2014–2023 гг.) – 23,3–31,7 мгО₂/дм³, причем максимальные значения обнаружены в весенне – летний период. Это объясняется постоянным антропогенным воздействием и поступлением загрязняющих веществ в оз. Биликоль, вследствие чего концентрация органических веществ независимо от сезона оставалась повышенной.

Рисунок 5

Сезонная изменчивость ХПК(Cr) в многолетнем цикле, 2007–2024 гг.

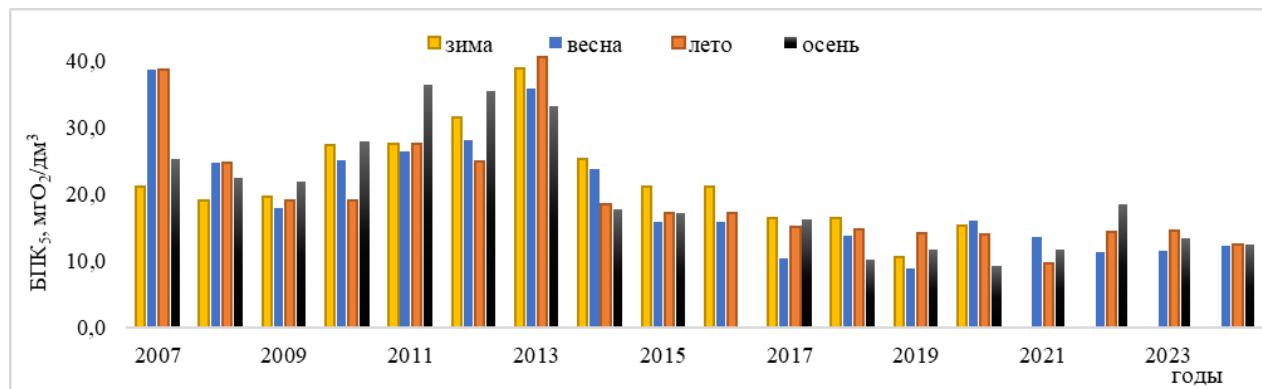


Примечание: составлено автором

Сезонная динамика биохимического потребления кислорода (БПК₅) в воде озера Биликоль выражена слабо. За весь исследуемый период минимумы были в холодное время года чаще: в декабре-феврале в 2007–2009 гг., 2011 г., 2014 г., 2018 г.; в августе 2010 г. В 2007, 2008, 2013 и 2020 гг. отмечены максимальные значения. Теоретически средние значения БПК₅ обычно повышаются от зимы к лету вследствие активизации биохимических процессов и увеличения количества органического вещества, а затем постепенно снижаются к зиме. Однако в рассматриваемом периоде наблюдений подобная зависимость была выражена не явно. Так, наибольшие сезон-

ные значения БПК₅ отмечались в 2007 году весной и летом по 38,53 мгО₂/дм³, осенью 2011 г. и 2012 г. – 36,33 и 35,33 мгО₂/дм³, соответственно. В 2013 году был максимум во все сезоны: зимой (38,8 мгО₂/дм³) и весной (35,9 мгО₂/дм³), летом (40,5 мгО₂/дм³) и осенний (33,2 мгО₂/дм³). Минимальные значения зафиксированы весной 2019 г. (8,7 мгО₂/дм³), летом 2021 года (9,6 мгО₂/дм³) и осенью 2020 года (9,15 мгО₂/дм³) (рис. 6).

Такая вариабельность БПК₅, вероятно, обусловлена нестабильным гидрологическим режимом озера, колебаниями уровня воды и различной интенсивностью поступления аллохтонных органических веществ в разные сезоны года.

Рисунок 6Сезонная изменчивость БПК₅ в многолетнем цикле, 2007–2024 гг.

Примечание: составлено автором

Выявлено, что годовая и сезонная динамика показателей химического (ХПК) и биохимического (БПК₅) потребления кислорода в воде озера Биликоль характеризовалась отсутствием ярко выраженной сезонной изменчивости. Изменения данных показателей в большинстве случаев не коррелировали с температурой воды, значениями pH, что указывало на преобладание антропогенных факторов над естественными сезонными процессами. Средние значения ХПК и БПК₅ значительно превышали нормативы, установленные для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях, что свидетельствовало о высоком уровне органического загрязнения водоёма.

Соотношение ХПК/БПК₅ за исследуемый период составляло в среднем $4,23 \pm 0,15$ (при норме не более 2,50), что указывало на высокое содержание трудно разлагаемых органических соединений, о значительной доле антропогенных загрязнителей промышленного происхождения, которые трудно поддаются биологическому разложению и могут быть токсичными (Василискова, Кондратенко 2025, Andrio et al., 2019, Живетина и др., 2021). Подобные значения характерны для загрязнённых вод, содержащих синтетические моющие средства и поверхностно-активные вещества. Такие воды требуют предварительной физико-химической обработки перед проведением биологических процессов очистки. Полученные результаты также показывают, что соотношение БПК₅/ХПК(Cr) сопоставимо с показателями, характерными для природных вод, обогащённых аллохтонными (внешнего происхождения) органическими веществами. Это указывало на доминирование в системе именно аллохтонного органического вещества, поступающего в озеро преимущественно с поверхностным стоком и притоками.

Заключение

Исследование позволило выявить особенности сезонной и межгодовой динамики органических веществ, оценённых по ХПК(Cr) и БПК₅, растворенному кислороду, а также оценить современное состояние озера Биликоль и тенденции его изменения. Режим и динамика показателей биологического и химического потребления кислорода воды оз. Биликоль зависит от сезона года, антропогенного воздействия прошлых лет и его гидрологических особенностей. Сезонная изменчивость определяется дополнительным поступлением органических веществ в озеро в

виде паводковых вод весной, а также постоянно протекающими внутриводоемными процессами в системе «вода-донные отложения».

Содержание растворённого кислорода в основном всегда превышало $6,0 \text{ мг/дм}^3$, что является благоприятным фактором для жизнедеятельности гидробионтов. За период исследования (2007–2024 гг) в воде оз. Биликоль пределы изменения показателя ХПК(Cr) варьировали от 11,5 до $284,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, при среднегодовой величине $84,8 \pm 4,45 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, а величины БПК₅ от 0,97 до $55,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ при среднегодовом значении $21,2 \pm 0,70 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Сезонная изменчивость показателей ХПК(Cr) и БПК₅ выражена слабо значительных различий между дождливым и сухим сезонами не наблюдалось.

Значения перманганатной окисляемости (ПО) для биликольской воды в большинстве случаев не выходили за пределы средних их значений для природных вод аридных зон ($5\text{--}10 \text{ мгO}/\text{л}$) и легкоокисляющиеся органические вещества подвержены сезонным и годовым колебаниям.

Среднее соотношение ХПК(Cr)/БПК₅ составило 4,23, что указывало на присутствие в воде органических соединений, плохо поддающихся биологическому разложению. Явно выраженной закономерности величин ХПК(Cr) и БПК₅ в многолетнем цикле в различные сезоны года выявить не удалось. Однако прослеживается тенденция к постепенному снижению этой величины с 2013 г., обусловленная увеличением санитарных попусков воды в Биликоль с более низким содержанием органических веществ и усиливающимися внутриводоемными процессами, приводящими к самоочищению. Несмотря на это качество воды Биликоля по показателям ХПК(Cr) и БПК₅ не соответствует нормативным требованиям, установленным для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях.

Благодарность

Мы выражаем признательность РГП «Казгидромет» за поддержку в предоставлении гидрохимических данных.

Исследование выполнено в рамках проекта BR24993060 «Разработка информационной системы для ведения кадастра диких животных Западного Тянь-Шаня с целью их сохранения и устойчивого использования». Проект поддержан Министерством науки и высшего образования Комитетом науки Республики Казахстан.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

- Aguilar-Torrejón, J. A., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C. E., Rodríguez-Torres, I., & Torres-Blancas, T. (2023). Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and TOC in water—An overview through time. *SN Applied Sciences*, 5(4), 118. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05318-7>
- Alexander, V., Nova, S., & Burmana, A. D. (2024). Inlet diverters and oil collectors in distillation columns for reducing COD and BOD5 in biodiesel plants. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100908. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100908>
- Алекин, О. А. (1970). Основы гидрохимии. Гидрометеиздат.
- Алимкулов, С. А., Турсунова, А. А., & Сапарова, А. А. (2021). Ресурсы речного стока Казахстана в условиях будущих климатических и антропогенных изменений. *Гидрометеорология и экология*, (1), 59–67. <https://cyberleninka.ru/article/n/resursy-rechnogo-stoka-kazahstana-v-usloviyah-buduschih-klimaticheskikh-i-antropogennyh-izmeneniy>
- Амиргалиев, Н. А., Мадиебеков, А. С., Мұсақұлызы, А., Исмуханова, Л. Т., Кулбекова, Р. А., & Жәди, А. □. (2018). Оценка качества вод по гидрохимическим параметрам. *География и водные ресурсы*, (2), 77–85. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-vod-po-gidroximicheskim-parametram>
- Болатхан, К., Акмуханова, Н. Р., Садвакасова, А. К., Бауенова, М. О., & Заядан, Б. К. (2016). Продуцируемые цианобактериями токсины в период цветения воды озера Биликоль. *Eurasian Journal of Ecology*, 47(2), 14–22.
- Василискова, А. В., Кондратенко, С. В. (2025) Вариабельность химических показателей фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов г. Калининграда, *Вестник Камчатского государственного технического университета*, 74, 116–126.
- ГОСТ РК 51592-2003. (2003). Общие требования к отбору проб.
- Государственный водный кадастр Республики Казахстан. (2007–2024). Поверхностные воды суши. Каталогные данные. Казгидромет.
- Гусева, Т. В. (2002). Гидрохимические показатели состава окружающей среды. Социально-экологический союз.
- Dai, A., Qian, T., Trenberth, K. E., & Milliman, J. D. (2009). Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. *Journal of Climate*, 22(10), 2773–2792. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>
- Dedkov, Y., Elizarova, O., & Kel'ina, S. (2000). Dichromate method for the determination of chemical oxygen demand. *Journal of Analytical Chemistry*, 55(8), 777–778. <https://doi.org/10.1007/BF02757915>
- Долматова, Л. А., & Гусева, М. А. (2005). Сезонная изменчивость содержания органических веществ в воде и донных отложениях р. Барнаулки. *Известия АлмГУ*, (3), 17–20. <https://cyberleninka.ru/article/n/sezonnaya-izmenchivost-soderzhaniya-organicheskikh-veschestv-v-vode-i-donnyh-otlozheniyah-r-barnaulki>
- Дүйсенбеков, С. Л., Куатбаев, А. Т., Назарбекова, С. Т., Таирова, С. К., Жаниязов, Ж. А., Калимбетова, А. Т., & Нармуратова, Ж. (2016). Общая характеристика и классификация природных кормовых угодий Бериккаринского сельского округа Жамбылской области. *Eurasian Journal of Ecology*, 41(2), 69–73.
- Живетина, А. В., Нохрин, Д. Ю., Дерхо, М. А., & Мухамедьярова, Л. Г. (2021). Сезонные особенности химического состава и качества воды в водохранилище руслового типа. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*, 7(73), 1.
- Заядан, Б. К., Акмуханова, Н. Р., Садвакасова, А. К., Кирбаева, Д. К., Болатхан, К., Бауенова, М. О., & Сейілбек, С. Н. (2015). Изучение качественного и количественного состава альгофлоры оз. Биликоль. *Experimental Biology*, 65(3), 196–202.
- Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. (2007–2024). Казгидромет.
- Li, J., Luo, G., He, L., Xu, J., & Lyu, J. (2018). Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: A review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(1), 47–65. <https://doi.org/10.1080/10408347.2017.1370670>
- Министр водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан. (2025). Единая система классификации качества воды в водных объектах (Приказ № 111-НҚ от 4 июня 2025 года). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/G25MA000111>
- Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. (2016). Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ № 552 от 13 декабря 2016 г.).
- Nicolaidis, C., & Vyrides, I. (2014). Closing the water cycle for industrial laundries: An operational performance and technoeconomic evaluation of a full-scale membrane bioreactor system. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.001>
- Никаноров, А. М. (2001). Гидрохимия (2-е изд.). Гидрометеиздат.
- Правительство Республики Казахстан. (2023). Обновленный национальный вклад Республики Казахстан в глобальное реагирование на изменение климата (Постановление № 313 от 19 апреля 2023 года). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313>
- Рельеф Казахстана. (1991). Пояснительная записка к геоморфологической карте Казахской ССР масштаба 1:1500000. Фылым.
- Романова, С.М. (2007). Характеристика гидрохимического режима канала Ертис-Караганда. *Гидрометеорология и экология*, (4), 63–73.
- Романова, С. М., & Казангапова, Н. Б. (1991). Органические вещества воды озера Балхаш. В *Экологические проблемы Казахстана* (с. 139–143).

Rudaru, D. G., Lucaciu, I. E., & Fulgheci, A. M. (2022). Correlation between BOD5 and COD–biodegradability indicator of wastewater. *Romanian Journal of Ecology & Environmental Chemistry*, 4(2), 80–86.

СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. Санитарноэпидемиологические правила и нормы» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

Сейтбаев, К. Ж., Базарбаева, Ж. М., Решетова, О. А., & Бектурганов, Б. Б. (2012). Гистологическое изучение жабр и органов желудочно-кишечного тракта судака, обитающего в озере Биликоль. *Eurasian Journal of Ecology*, 35(3), 202–208.

Сейтбаев, К. Ж., Жанилова, А.Т., Момбаева, Б.К. (2014г). Состав ихтиофауны и пути её формирования в водоёмах Жамбылской области. https://www.rusnauka.com/3_ANR_2014/Biologia/7_157221.doc.html

Селезнев, В. А. (2024). Особенности сезонной изменчивости интегральных показателей содержания растворенных органических веществ. *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле*, (50), 126–140. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sezonnoy-izmenchivosti-integralnyh-pokazateley-soderzhaniya-rastvorenyh-organicheskikh-veschestv-v-usloviyah-massovogo>

Семенов, А. Д. (1977). *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши*. Гидрометеиздат.

Середин, В. А. (2019). Изучение биоразнообразия флоры и фауны озера Биликоль. *Евразийский Союз Ученых*, (9–3), 8–10.

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

Tengrinews. (n.d.). Озеро Жамбылской области повторит судьбу Аральского моря. https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/ozero-jambylskoj-oblasti-povtorit-sudbu-aralskogo-morya-429787/

Турданова, М., Муздыбаева, К., Мухтаров, У., Асанбаева, А., & Қожабекова, Z. (2025). Эколого-географические проблемы развития урбосистем Жамбылской области. *Journal of Geography and Environmental Management*, 75(4), 47–56. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v75.i4.4>

Ho, K. C., Teow, Y. H., Sum, J. Y., Ng, Z. J., & Mohammad, A. W. (2021). Water pathways through the ages: Integrated laundry wastewater treatment for pollution prevention. *Science of the Total Environment*, 760, 143966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143966>

Чередниченко, А. В. (2009). Климат Казахстана как отклик на глобальное изменение климата. *Гидрометеорология и экология*, (4), 7–20.

References

Aguilar-Torrejón, J. A., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C. E., Rodríguez-Torres, I., & Torres-Blancas, T. (2023). Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and TOC in water—An overview through time. *SN Applied Sciences*, 5(4), 118. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05318-7>

Alexander, V., Nova, S., & Burmana, A. D. (2024). Inlet diverters and oil collectors in distillation columns for reducing COD and BOD5 in biodiesel plants. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100908. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100908>

Alekin, O. A. (1970). *Osnovy gidrokhimii*. Gidrometeoizdat.

Alimkulov, S. A., Tursunova, A. A., & Saparova, A. A. (2021). Resursy rechnogo stoka Kazakhstana v usloviyakh budushchikh klimaticheskikh i antropogennykh izmeneniy [Water runoff resources of Kazakhstan under future climatic and anthropogenic changes]. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*, (1), 59–67. <https://cyberleninka.ru/article/n/resursy-rechnogo-stoka-kazakhstana-v-usloviyakh-buduschih-klimaticheskikh-i-antropogennykh-izmeneniy>

Amirgaliev, N. A., Madibekov, A. S., Mussakulkyzy, A., Ismukhanova, L. T., Kulbekova, R. A., & Zhadi, A. O. (2018). Assessment of water quality based on hydrochemical parameters. *Geography and Natural Resources*, (2), 77–85. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-vod-ozer-kazakhstana-po-gidrohimicheskim-parametram>

Bolatkhon, K., Akmukhanova, N. R., Sadvakasova, A. K., Bauyenova, M. O., & Zayadan, B. K. (2016). Cyanobacterial toxins produced during the blooming period of Lake Bilikol. *Eurasian Journal of Ecology*, 47(2), 14–22.

Cherednichenko, A. V. (2009). Klimat Kazakhstana kak otklik na global'noe izmenenie klimata [Climate of Kazakhstan as a response to global climate change]. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*, (4), 7–20.

GOST RK 51592-2003. (2003). General requirements for sampling.

Government of the Republic of Kazakhstan. (2023). *Updated nationally determined contribution of the Republic of Kazakhstan to the global response to climate change* (Resolution No. 313, April 19, 2023). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000313>

Dai, A., Qian, T., Trenberth, K. E., & Milliman, J. D. (2009). Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. *Journal of Climate*, 22(10), 2773–2792. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2592.1>

State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. (2007–2024). Surface waters of land: Catalog data. Kazhydromet.

Guseva, T. V. (2002). *Hydrochemical indicators of environmental composition*. Social-Ecological Union.

Dedkov, Y., Elizarova, O., & Kel'ina, S. (2000). Dichromate method for the determination of chemical oxygen demand. *Journal of Analytical Chemistry*, 55(8), 777–778. <https://doi.org/10.1007/BF02757915>

- Dolmatova, L. A., & Guseva, M. A. (2005). Seasonal variability of organic matter content in water and bottom sediments of the Barnaulka River. *Izvestiya Altai State University*, (3), 17–20. <https://cyberleninka.ru/article/n/sezonnaya-izmenchivost-soderzhaniya-organicheskikh-veschestv-v-vode-i-donnyh-otlozheniyah-r-barnaulki>
- Duisenbekov, S. L., Kuatbayev, A. T., Nazarbekova, S. T., Tairova, S. K., Zhanyazov, Z. A., Kalimbetova, A. T., & Narmuratova, Z. (2016). General characteristics and classification of natural forage lands of the Berikkarin rural district of Zhambyl region. *Eurasian Journal of Ecology*, 41(2), 69–73.
- Zayadan, B. K., Akmuhanova, N. R., Sadvakasova, A. K., Kirbayeva, D. K., Bolatkhan, K., Bauyenova, M. O., & Seilbek, S. N. (2015). Study of qualitative and quantitative composition of algoflora of Lake Bilikol. *Experimental Biology*, 65(3), 196–202.
- Information bulletin on the state of the environment. (2007–2024). Kazhydromet
- Ho, K. C., Teow, Y. H., Sum, J. Y., Ng, Z. J., & Mohammad, A. W. (2021). Water pathways through the ages: Integrated laundry wastewater treatment for pollution prevention. *Science of the Total Environment*, 760, 143966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143966>
- Li, J., Luo, G., He, L., Xu, J., & Lyu, J. (2018). Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: A review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(1), 47–65. <https://doi.org/10.1080/10408347.2017.1370670>
- Ministry of Agriculture of the Russian Federation. (2016). On approval of water quality standards for fisheries water bodies (Order No. 552 of December 13, 2016).
- Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan. (2025). *Unified system for water quality classification in water bodies* (Order No. 111-NQ, June 4, 2025). Retrieved from <https://adilet.zan.kz/rus/docs/G25MA000111>
- Nicolaidis, C., & Vyrides, I. (2014). Closing the water cycle for industrial laundries: An operational performance and techno-economic evaluation of a full-scale membrane bioreactor system. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.001>
- Nikanorov, A. M. (2001). *Hydrochemistry* (2nd ed.). Gidrometeoizdat.
- Relief of Kazakhstan. (1991). Explanatory note to the geomorphological map of the Kazakh SSR (scale 1:1,500,000). Gylym.
- Romanova, S. M. (2007). Characteristics of the hydrochemical regime of the Irtysh–Karaganda canal. *Hydrometeorology and Ecology*, (4), 63–73.
- Romanova, S. M., & Kazangapova, N. B. (1991). Organic matter of Lake Balkhash water. In *Ecological problems of Kazakhstan* (pp. 139–143).
- Rudaru, D. G., Lucaci, I. E., & Fulgheci, A. M. (2022). Correlation between BOD5 and COD—Biodegradability indicator of wastewater. *Romanian Journal of Ecology & Environmental Chemistry*, 4(2), 80–86.
- SanPiN 2.1.4.1175-02. Hygienic requirements for water quality of non-centralized water supply. <http://www.consultant.ru>
- Seitbayev, K. Z., Bazarbayeva, Z. M., Reshetova, O. A., & Bekturganov, B. B. (2012). Histological study of gills and gastrointestinal organs of pike-perch from Lake Bilikol. *Eurasian Journal of Ecology*, 35(3), 202–208.
- Seitbayev, K. Z., Zhanilova, A. T., & Mombayeva, B. K. (2014). Composition of ichthyofauna and its formation in water bodies of Zhambyl region. https://www.rusnauka.com/3_ANR_2014/Biologia/7_157221.doc.html
- Seleznev, V. A. (2024). Features of seasonal variability of integral indicators of dissolved organic matter. *Proceedings of Irkutsk State University. Earth Sciences Series*, (50), 126–140. <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sezonnoy-izmenchivosti-integralnyh-pokazateley-soderzhaniya-rastvorenykh-organicheskikh-veschestv-v-usloviyah-massovogo>
- Semenov, A. D. (1977). *Guide to chemical analysis of surface waters*. Gidrometeoizdat.
- Seredin, V. A. (2019). Study of biodiversity of flora and fauna of Lake Bilikol. *Eurasian Union of Scientists*, (9–3), 8–10.
- Tengrinews. (n.d.). Lake in Zhambyl region may repeat the fate of the Aral Sea. https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/ozero-jambylskoy-oblasti-povtorit-sudbu-aralskogo-morya-429787/
- Turdanova, M., Muzdybayeva, K., Mukhtarov, U., Asanbayeva, A., & Kozhabekova, Z. (2025). Ecological and geographical problems of urban systems development in Zhambyl region. *Journal of Geography and Environmental Management*, 75(4), 47–56. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v75.i4.4>
- Vasiliskova, A. V., & Kondratenko, S. V. (2025). Variability of chemical indicators of filtration waters from the municipal solid waste landfill of Kaliningrad. *Vestnik Kamchatskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 74, 116–126.
- Zhivetina, A. V., Nokhrin, D. Yu., Derkho, M. A., & Mukhamedyarova, L. G. (2021). Seasonal features of the chemical composition and water quality in a river-type reservoir. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 7(73).

Сведения об авторах:

- София М. Романова – доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: sofiyarom@mail.ru).
- Айзада С. Серикова – младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).
- Рабат Е. Махмудова – младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Information about the authors:

Sofiya Romanova – doctor of geographical sciences, leading researcher of the laboratory of hydrobiology and ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sofiyarom@mail.ru).

Aizada Serikova – Junior researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).

Rabat Makhmutova – Junior researcher at the laboratory of hydrobiology and ecotoxicology, «Institute of Zoology» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Авторлар туралы мәлімет:

София М. Романова – география ғылымдарының докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидро-биология және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: sofiyarom@mail.ru).

Айзада С. Серікова – ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: aizada.serikova@zool.kz).

Рабат Е. Махмұтова – ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК гидробиология және экотоксикология зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: rabat.makhutova@zool.kz).

Поступила: 15 января 2026 года

Принята: 25 мая 2026 года