

Научная статья
УДК 504.064:502.48:504.45
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2026-1-63-76>
EDN DLIJIT

**Оценка состояния водоемов
природного парка регионального значения
«Волго-Ахтубинское междуречье»
по гидрохимическим показателям**

Михаил Юрьевич Карapun[✉], Елена Витальевна Кривоколяско

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, karapun.m@gmail.com[✉]*

Аннотация. Статья посвящена оценке состояния водоемов разного типа природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье», расположенного в Астраханской области, по гидрохимическим показателям. Целью исследования являлось определение уровня загрязнения водоемов путем расчета индекса химического загрязнения *CJ* методом баварского подхода. Исследование проводилось в июле 2019 г. на 10 станциях: 7 озер, 1 ерик и 2 реки (Ахтуба и Волга). Приоритетными показателями были выбраны такие гидрохимические параметры, как температура воды, водородный показатель pH, минерализация, электрическая проводимость, содержание нитрат-иона, катион аммония, фосфат-иона, растворенный кислород и биохимическое потребление кислорода БПК₅. Полученные результаты показали, что исследованные водоемы имели температуру в диапазоне от 21,2 до 25,1 °С, являлись преимущественно слабощелочными (pH 7,5–8,5), отдельные водоемы (озера Сазанье, Курнистое) имели повышенные значения pH, превышающие нормы для рыбохозяйственных целей. Минерализация воды варьировалась от 166 до 303 мг/л, что позволило отнести водоемы к группе α-гипогалинных пресных вод. Электропроводность колебалась от 259,38 до 473,44 мкСм/см. Уровень растворенного кислорода (% насыщения) в большинстве водоемов имел нормальные значения, при этом по показателю БПК₅ изученные объекты имели превышение ПДК (2,1 мгО₂/л) в 1,4–2,0 раза. Биогенные элементы, представленные нитратами NO₃⁻, аммоний-ионами NH₄⁺ и фосфатами PO₄⁻³, находились в пределах нормы. Рассчитанный индекс *CJ* продемонстрировал значительную дифференциацию состояний водоемов: большинство относится ко второму классу качества («риск»), отдельные водоемы (озеро Сазанье и ерик Ульяновки) принадлежат третьему классу («кризис»).

Ключевые слова: гидрохимические показатели, гидроэкологическое состояния, Волго-Ахтубинское междуречье, индекс химического загрязнения *CJ*, качество вод

Для цитирования: Карapun М. Ю., Кривоколяско Е. В. Оценка состояния водоемов природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье» по гидрохимическим показателям // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2026. № 1. С. 63–76. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2026-1-63-76>. EDN DLIJIT.

Original article

**Assessment of the state of reservoirs
of the Volga-Akhtuba interfluvial Regional significance natural park
by hydrochemical indicators**

Mikhail Yu. Karapun[✉], Elena V. Krivokolasco

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, karapun.m@gmail.com[✉]*

Abstract. The article is devoted to assessing the state of reservoirs of various types of the Volga-Akhtuba Interfluvial Nature Park, located in the Astrakhan region, according to hydrochemical indicators. The purpose of the study was to determine the level of pollution of water bodies by calculating the chemical pollution index *CJ* using the Bavarian ap-

proach. The study was conducted in July 2019 at 10 stations: 7 lakes, 1 erik and 2 rivers (Akhtuba and Volga). Hydrochemical parameters such as water temperature, hydrogen index pH, mineralization, electrical conductivity, nitrate ion content, ammonium cation, phosphate ion, dissolved oxygen and biochemical oxygen consumption BPK_5 were selected as priority indicators. The results showed that the studied reservoirs had temperatures in the range from 21.2 to 25.1 °C, were predominantly slightly alkaline (pH 7.5-8.5), individual reservoirs (Lakes Carp, Curly) had elevated pH values exceeding the norms for fishery purposes. Water mineralization varies from 166 to 303 mg/l, which allowed the reservoirs to be classified as α -hypohaline freshwater. The electrical conductivity ranges from 259.38 to 473.44 $\mu\text{cm/cm}$. The level of dissolved oxygen (% saturation) in most reservoirs had normal values, while in terms of BPK_5 , the studied objects exceeded the maximum permissible concentration (2.1 mgO_2/l) by 1.4–2.0 times. Biogenic elements represented by nitrate NO_3^- , ammonium ions NH_4^+ and phosphate PO_4^{3-} were in the normal range. The calculated CJ index demonstrated a significant differentiation of the conditions of reservoirs: most belong to the second class of quality (“risk”), individual reservoirs (lakes Carp and erik Ulyankin) belong to the third class (“crisis”).

Keywords: hydrochemical indicators, hydroecological conditions, Volga-Akhtuba interfluve, chemical pollution index CJ , water quality

For citation: Karapun M. Yu., Krivokolosko E. V. Assessment of the state of reservoirs of the Volga-Akhtuba interfluve Regional significance natural park by hydrochemical indicators. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2026;1:63-76. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2026-1-63-76>. EDN DLLIJT.

Введение

Природный парк регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье» характеризуется уникально сформированной гидрологической системой и значительным гидробиоценозом, флорой и фауной, выполняя функции сохранения ключевых элементов природной среды и обеспечения устойчивого развития сопредельных регионов [1, 2]. Гидроэкологические системы данного объекта выполняют важнейшую экологическую функцию поддержания устойчивости региональной экосистемы [3], непосредственно влияя на качество жизнедеятельности населения и социальную стабильность экономического пространства. Однако изменения климата приводят к изменениям в распределении водных ресурсов бассейна реки Волги, что особенно заметно в периоды засухи с 2006 по 2019 гг. Это вызывает сокращение притока воды в Волго-Ахтубинском междуречье и пойме в том числе, угрожая существованию ее хрупких экосистем и приводя к серьезному экологическому кризису [4–6].

Проведение мониторинга современного состояния водных объектов и оценки «здоровья» водных экосистем, в т. ч. и природных парков, имеет первостепенное значение для оперативной идентификации потенциальных угроз и разработки комплексных мероприятий по охране водных ресурсов России [7]. Особое внимание уделяется исследованию гидрохимического состава водной среды, поскольку показатели содержания загрязняющих веществ позволяют объективно оценить степень деградации водных ресурсов и своевременно предупреждать риски ухудшения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и нарушения экологического равновесия экосистем [8].

Экологическая безопасность территории Волго-Ахтубинского междуречья находится под угрозой в связи с активным развитием промышленности

в бассейне рек Волги и Ахтубы. Антропогенные факторы оказывают негативное влияние на состояние экосистем, вызывая структурные изменения видового разнообразия и нарушение естественного функционирования природных сообществ, что создает угрозу утраты ценнейших биогеоценозов региона.

Одним из наиболее распространенных методов анализа гидрохимического состояния водоемов является расчет интегрального показателя (баварским методом) индекса химического загрязнения или качества вод CJ , который количественно характеризует концентрационные уровни опасных примесей относительно установленных нормативных показателей представлением полученной комбинации результатов в виде одного параметра [9, 10] и способствует быстрой диагностике степени угрозы антропогенного воздействия на акватории.

Целью исследования являлось изучение гидрохимии водных объектов Волго-Ахтубинского междуречья, количественное определение уровней загрязнений посредством расчета индекса химического загрязнения.

Материалы и методы

В работе были использованы результаты гидрохимических исследований водоемов уникальной водно-экологической системы – природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье», расположенного в Ахтубинском и Черныярском районах Астраханской области (рис. 1), которые были получены кафедрой «Гидробиология и общая экология» Астраханского государственного технического университета в июле 2019 г. на 10 станциях (7 озер, 1 эрик и 2 реки Ахтуба и Волга) в ходе реализации комплексного экологического мониторингового проекта, направленного на оценку текущего состояния природных водоемов региона.

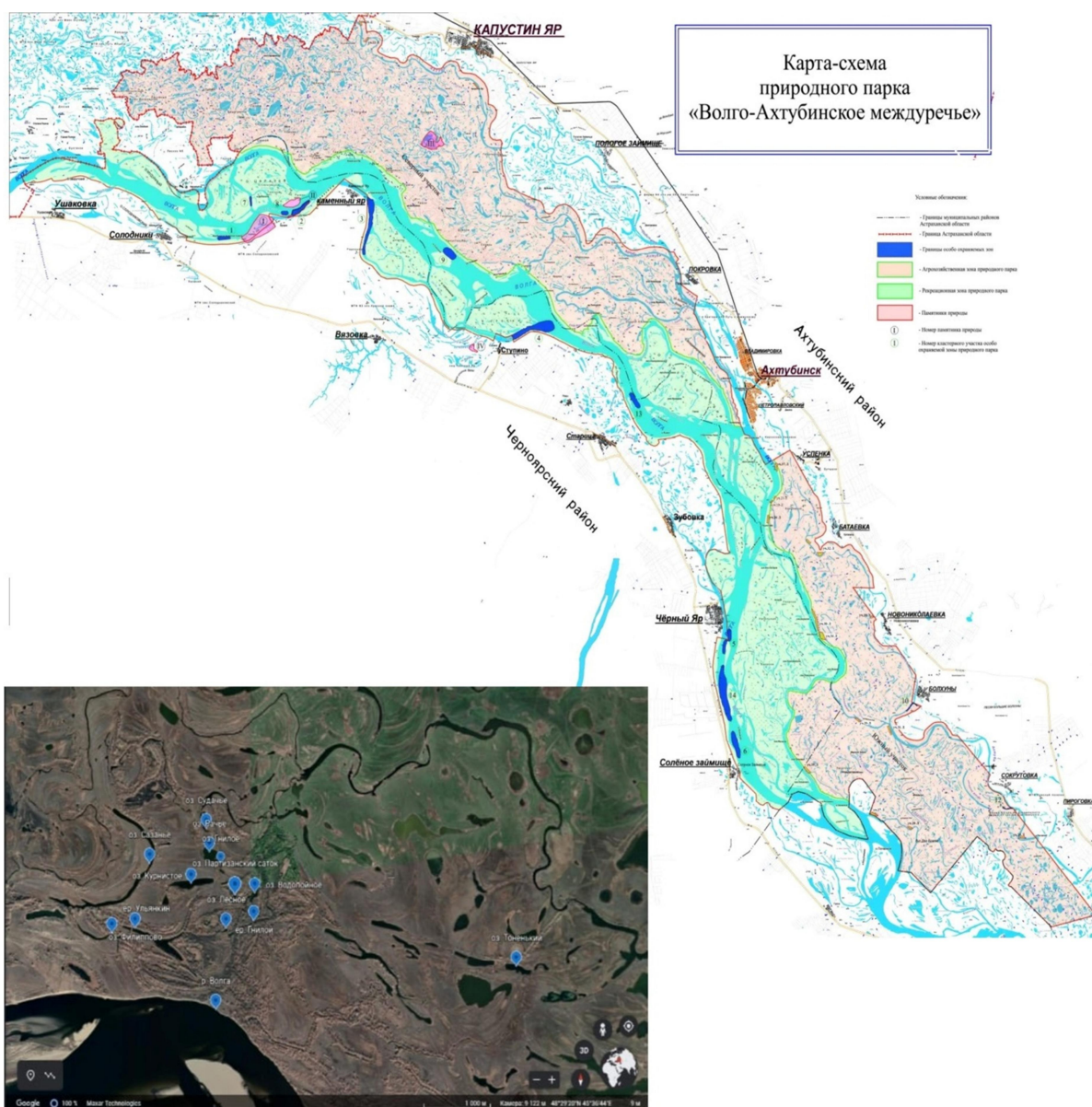


Рис. 1. Карта-схема района исследования

Fig. 1. Map-diagram of the study area

В качестве приоритетных показателей были выбраны следующие характерные параметры, согласно РД 52.24.643-2002: температура воды $t_{\text{вод}}$, водородный показатель pH, минерализация μ , электрическая проводимость λ , растворенный кислород O_2 , биохимическое потребление кислорода БПК₅, нитратный, аммонийный азот, фосфаты. Отбор проб воды и гидрохимические анализы выполнялись, согласно стандартных методик [11–15].

Расчет мультипликативного химического индекса осуществлялся с помощью формулы:

$$CJ = \prod_{i=1}^n q_i^{W_i} = q_1^{W_1} \cdot q_2^{W_2} \cdot \dots \cdot q_n^{W_n},$$

где CJ – химический индекс, который представляет собой безразмерное значение непрерывной шкалы качества воды от 0 (худшее) до 100 (лучшее); n – число параметров; q_i – подиндекс для i -го параметра (безразмерное значение между 0 и 100, являющееся функцией i -го параметра); W_i – вес i -го параметра (табл. 1, число между 0 и 1, причем сумма весов равна 1).

Таблица 1

Table 1

Параметры, используемые для расчета химического индекса, и их относительный вес
The parameters used to calculate the chemical index and their relative weight

Параметр	Вес W
Электрическая проводимость, мкСм/см	0,07
Температура воды, °С	0,08
Водородный показатель pH	0,10
PO_4^{3-} , мг/дм ³	0,10
NO_3^- , мг/дм ³	0,10
NH_4^+ , мг/дм ³	0,15
Биохимическое потребление кислорода БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	0,20
Растворенный кислород, % насыщения	0,20

Для каждого параметра находилось значение подиндекса q , получаемое по аналитически определенному параметру в данной пробе с помощью

оцифрованных градуировочных графиков, на основе которых выявлены аналитические зависимости между q_i и параметрами (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Аналитические зависимости между подиндексами и гидрохимическими показателями
Analytical relationships between sub-indexes and hydrochemical indicators

Параметр	Формула
Электрическая проводимость, мкСм/см	$q = -0,1351\lambda + 125,1$
Температура воды, °С	$q = 0,128t^3 - 8,456t^2 + 173,4t - 1\,036$
Водородный показатель, ед. pH	$q = -25,32(pH)^2 + 365,5pH - 1\,219,6$
PO_4^{3-} , мг/дм ³	$q = -8,18 \cdot [PO_4^{3-}] + 101,4$
NO_3^- , мг/дм ³	$q = -2,51 \cdot [NO_3^-] + 94,37$
NH_4^+ , мг/дм ³	$q = -62,41 \cdot [NH_4^+] + 96,69$
Биохимическое потребление кислорода БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	$q = -8,61 \cdot [БПК_5] + 106,06$
Растворенный кислород, % насыщения	$q = 1,14 \cdot [\%O_2] - 12,06$

Для диагностики степени угрозы антропогенного воздействия использовалась разработанная классификационная система оценки качества водных объектов на основе модели «разломанного стерж-

ня» [16–18] с учетом того, что величина CJ варьируется от 0 до 100 ($0 \leq CJ \leq 100$) и число классов качества вод равно 6 ($n = 6$) (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Градация качества поверхностных вод*

Gradation of surface water quality

Значение индекса CJ	Характеристика качества воды, согласно значения индекса	Класс качества воды	Общая оценка гидроэкологического состояния
83,00–100,0	От отсутствия до легкой	1	Норма
73,00–83,00	Легкая	2	Риск
56,00–73,00	Средняя	3	Кризис
44,00–56,00	Критическая	4	Бедствие
27,00–44,00	Сильная	5	
17,00–27,00	Очень сильная	6	Катастрофа
17,00–0,00	Избыточная		

* Составлено по [19, 20].

Статистическую обработку данных проводили общепринятыми методиками с использованием

пакета Microsoft Excel 2007.

Результаты и обсуждение

Природный парк регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье» располагается в районе умеренно сухой и теплой континентальной Восточно-Европейской климатической области (резко континентальный климат). Эта область характеризуется ярко выраженной амплитудой годовых и суточных колебаний температурных показателей (24–34 °С) и уровня влажности вследствие своего геофизического положения.

На момент исследования была установлена высокая стабильность среднесуточных значений температуры окружающей среды, проявляющуюся в слабовыраженных внутрисуточных и межсуточных флуктуациях. Средняя дневная температура составила 29,04 °С, что подтверждает наличие высоких температурных режимов с минимальной динамикой остывания в ночное время суток. Амплитуда колебания температур варьировалась в диапазоне от 23 до 31 °С, демонстрируя типичные черты сухого и солнечного лета данного региона.

Барометрическое давление отличалось значительным постоянством, с небольшими отклонениями от средней величины, составляющей 752,5 мм рт. ст. Минимально зафиксированный уровень составил 751 мм рт. ст., максимальные значения достигли отметки в 755 мм рт. ст., что соответствует общепринятым нормам атмосферных давлений для равнинных территорий летом и обеспечивает сохранение устойчивого состояния погоды без значительных изменений. При этом средняя скорость ветра находилась в интервале от 3,0 до 6,0 м/с, среднее арифметическое значение которого составляло 4,2 м/с. Указанные параметры демонстрируют умеренные ветровые характеристики, оказывающие положительное воздействие на процесс диспергирования загрязнений и поддержание общего равновесия атмосферы.

Гидрологическая обстановка в районе исследования характеризовалась умеренной степенью водности и относительной стабильностью водного режима реки Волги в июле 2019 г. (рис. 2).

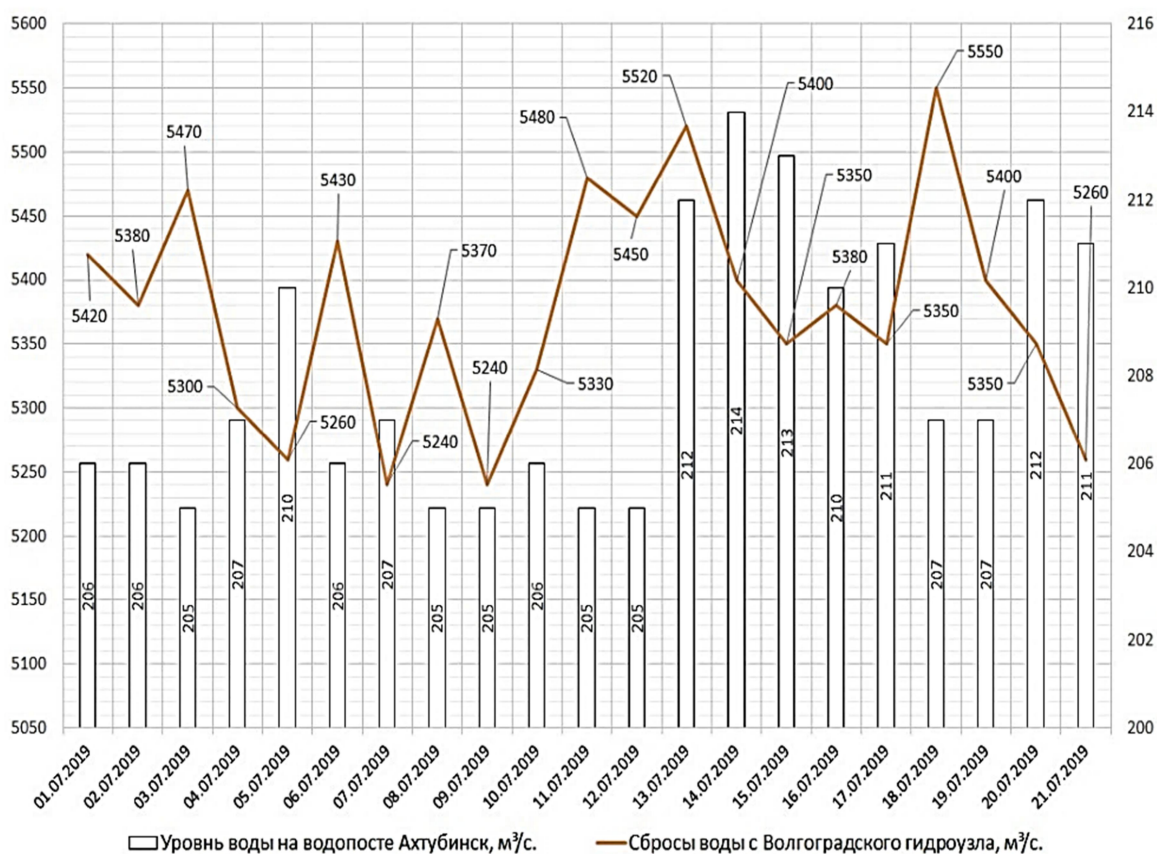


Рис. 2. Сравнительная динамика уровня воды на водопосте Ахтубинск и сброса ее с Волгоградского гидроузла в период исследования водоемов природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье»

Fig. 2. Comparative dynamics of the water level at the Akhtubinsk watering post and its discharge from the Volgograd hydroelectric complex during the study of reservoirs of the Volga-Akhtuba interfluvial Regional significance nature park

Согласно данным А. Ю. Овчарова с соавторами [5], произошедшее половодье 2019 г. в период

с 21 апреля по 13 мая (продолжительность 23 дня), привело к пику высокой воды в период с 3 по 9 мая

и максимальному расходу воды с отметкой 24 000–25 000 м³/с, что неблагоприятно сказалось на состоянии ихтиофауны (мальки не успели развиваться из икры) Волго-Ахтубинской поймы, в которую входит природный парк.

В период исследования (1–21 июля) среднее значение уровня воды составляло около 209,1 м³/с, а средний объем сброса воды – 5 373,3 м³/с. Наиболее высокие уровни наблюдались в середине периода (около 211–214 м³/с), а минимальные значения зафиксированы ближе к началу периода (205–206 м³/с). Средняя амплитуда колебаний воды была незначительной и составляла порядка ±4 м³/с относительно среднего значения, тогда как объемы сброса были подвержены большим изменениям.

Наибольший объем сброса наблюдался в конце первой половины периода исследования (до 5 550 м³/с). Как видно из рис. 2, происходили небольшие колебания, однако общая тенденция оставалась стабиль-

ной. При оценке связи между уровнем воды и объемом сброса можно наблюдать слабую положительную связь ($\rho_{\text{корр}} \approx +0,2$).

Температурный режим выступает фундаментальным эколого-физиологическим фактором функционирования гидробиоценозов, детерминирующим оптимальные условия обитания гидробионтов и контролирующим протекание ключевых процессов в водной среде [21]. Согласно проведенным исследованиям, было установлено, что температура воды находилась в диапазоне от 21,2 до 25,1 °С при среднем значении 22,84 °С. Температура большинства водоемов составляла около средней отметки, однако выделялись три водных объекта с наиболее высокими значениями: ерик Ульяновки (25,1 °С), озеро Рачье (24,9 °С) и озеро Сазанье (24,5 °С). Самые низкие показатели зарегистрированы для озер Курнистое (21,2 °С), Водопойное (21,4 °С) и Судочье (21,6 °С) (рис. 3).

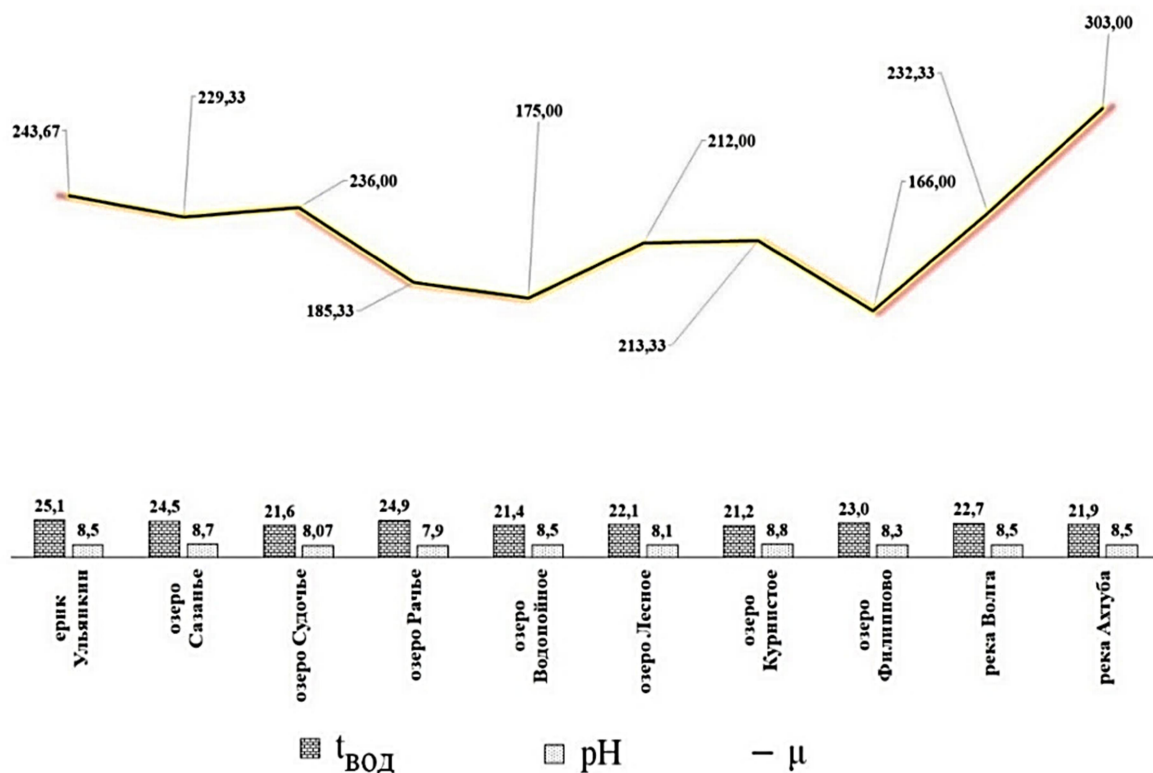


Рис. 3. Физико-химические параметры воды исследуемых водоемов природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье»: температурный режим $t_{\text{вод}}$, °С, концентрация ионов водорода pH, ед., минерализация μ , мг/л

Fig. 3. Physico-chemical parameters of the water in the studied reservoirs of the Volga-Akhtuba interfluvial Regional significance nature park: temperature range t_{wat} , °С, concentration of hydrogen ions, pH, units, mineralization μ , mg/l

Кроме этого, в результате анализа распределения температур было выявлено, что водоемы озерного типа имели среднюю температуру, равную 22,8 °С. Для водоемов речного типа (реки Волга и Ахтуба) было установлено, что их температуры были ниже

среднего значения для всех водоемов. Самая высокая температура зафиксирована в реке Волге (22,7 °С), самая низкая – в реке Ахтубе (21,9 °С). В водоеме еричного типа (ерик Ульяновки) было зафиксирована самая высокая температура (25,1 °С).

В результате физико-химического анализа было установлено, что исследуемые водоемы в большей степени являлись слабощелочными (рН 7,5–8,5), и в меньшей степени щелочные (рН 8,5–9,5).

На двух водоемах – озерах Сазанье (рН 8,7) и Курнистое (рН 8,8), отмечено превышение величины рН (рН 6,5–8,5) для рыбохозяйственного назначения и объектов зон рекреации. Этот факт может быть объяснен тем, что в суточной динамике в поверхностных водах значение рН воды может изменяться от 8,3 ед. в раннее утреннее время ($\tau \approx 06 : 00$) до значения 9,3 ед. в вечернее время суток ($\tau \approx 18 : 00$) [22].

Минерализация (или соленость) μ воды играет ключевую роль в функционировании водных экосистем, определяя условия обитания организмов и устойчивость гидробиоценозов. Анализ полученных данных по минерализации показал умеренную вариабельность среди рассматриваемых водоемов. Наибольшее значение отмечено в реке Ахтубе (303,0 мг/л), что, вероятно, связано с особенностями бассейна реки, наличием минеральных источников или влиянием антропогенных факторов. Минимальные показатели были характерны для озер Лесное (212,0 мг/л), Рачье (185,3 мг/л),

Водопойное (175,0 мг/л) и Филиппово (166,0 мг/л), что может свидетельствовать о высокой степени самоочистки природных экосистем этих водоемов или низком уровне растворимых солей в грунтовых водах. Согласно классификации Оксийок [23], изученные водоемы по минерализации относятся к α -гипогалинным пресным водам.

Электрическая проводимость λ – это удобный суммарный индикаторный показатель антропогенного воздействия на природные воды [24, 25]. В ходе проведенного мониторинга водных объектов, включающих как поверхностные проточные источники (реки), так и замкнутые акватории (озера), был установлен существенный диапазон варьирования электрической проводимости – от наименьшего значения (259,38 $\mu\text{См/см}$, наблюдаемого в озере Филиппово) до наибольшего (473,44 $\mu\text{См/см}$, наблюдаемого в реке Ахтубе), при этом среднее арифметическое значение составило 346,5 $\mu\text{См/см}$, что подтверждается превалярованием водоемов с умеренно выраженным уровнем минерализации. Большинство водоемов имеют значения близкие к среднему, однако разброс достаточно велик, что объясняется разнообразием условий водоемов (рис. 4).

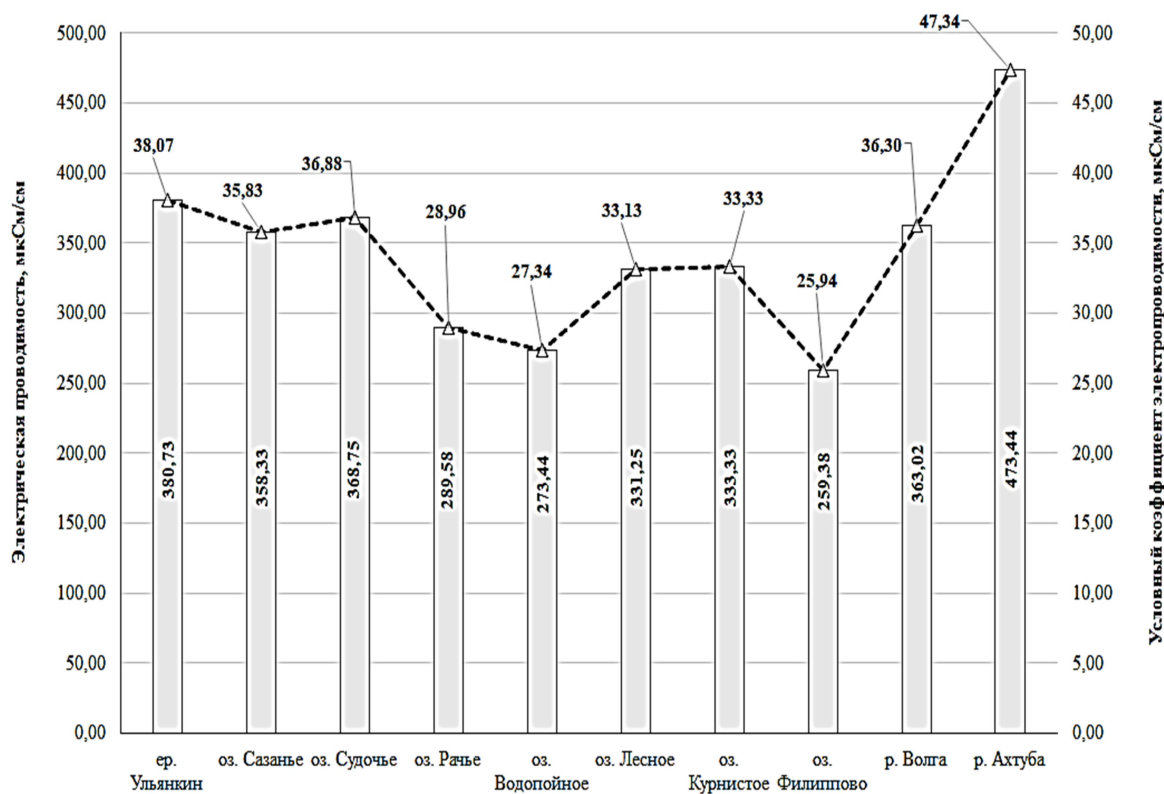


Рис. 4. Диаграмма изменения электрической проводимости воды исследуемых водоемов природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье»

Fig. 4. Diagram of changes in the electrical conductivity of water in the studied reservoirs of the Volga-Akhtuba interfluvial Regional significance nature park

Как известно, растворенный кислород играет ключевую роль в поддержании биологического равновесия в водных экосистемах. Его концентрация определяет условия обитания гидробионтов, влияет на процессы метаболизма, размножения и выживания их. При недостаточном насыщении кислородом в гидробиоценозах наблюдается гибель гидробионтов, нарушение естественного круговорота веществ, снижение качества воды и ухудшение условий среды обитания, при этом и избыточное содержание кислорода также негативно сказывается на экоси-

стеме, вызывая стрессовые реакции живых организмов и изменение химического состава воды.

Так, по результатам измерений растворенного кислорода (% насыщения), было установлено, что большинство водоемов демонстрирует высокие уровни насыщенности O_2 , близкие к норме (около 100 %). Полученные значения в пределах от 85,85 % (озеро Сазанье) до 106,35 % (озеро Филиппово) (рис. 5), при этом среднее значение для водоемов составляло 98,36 % насыщения.

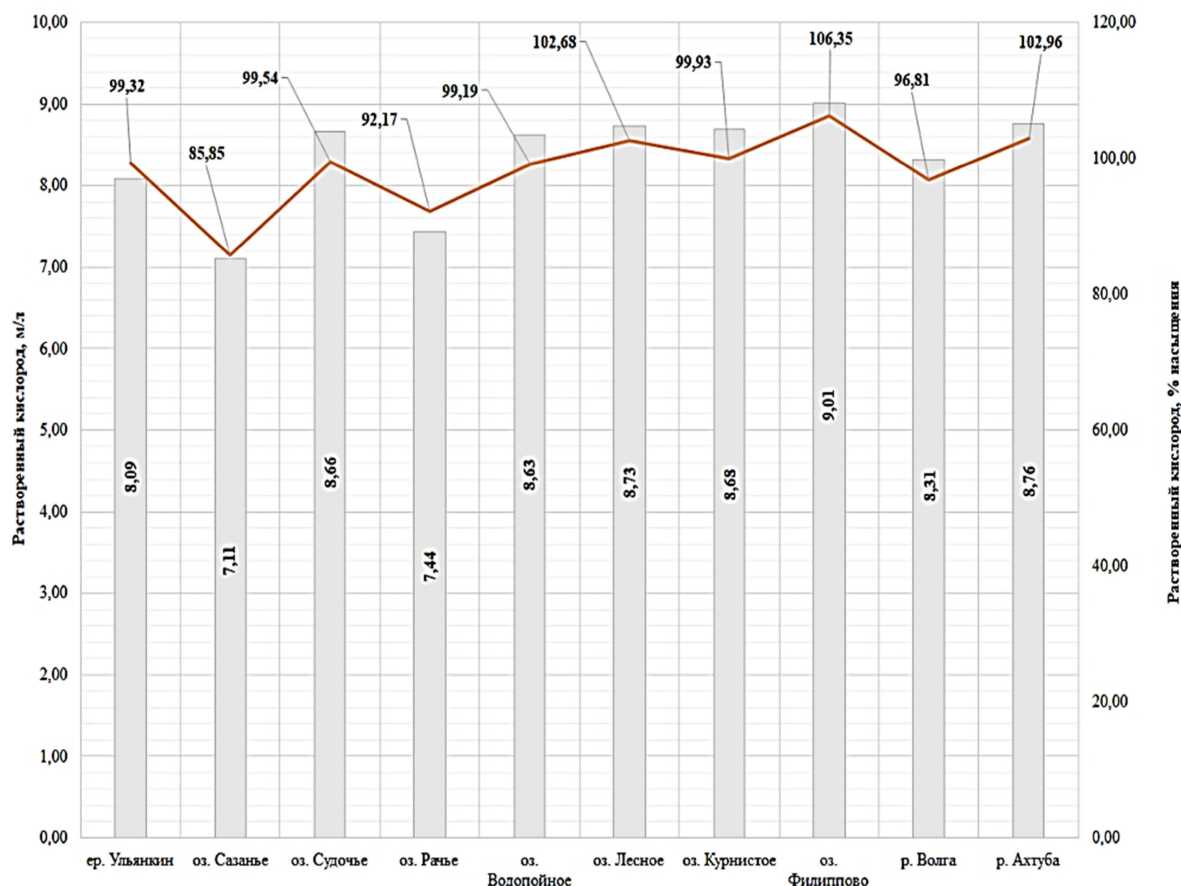


Рис. 5. Показатели уровня растворенного кислорода в водоемах различного типа природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье»

Fig. 5. Indicators of dissolved oxygen levels in various types of reservoirs Volga-Akhtuba interfluve Regional significance nature park

Однако выделяются два водных объекта с аномально высокими показателями – озеро Лесное (102,68 %) и озеро Филиппово (106,35 %), что свидетельствует о возможных биохимических процессах, происходящих в воде, таких как интенсивное размножение фитопланктона, высокая активность микроорганизмов или влияние органических веществ. Биохимическое потребление кислорода БПК₅ – это показатель, характеризующий количество кислорода, необходимое для окисления органических веществ микроорганизмами. Проведенный анализ позволил установить, что значения

БПК₅ находились в отношении от 3,03 мг O_2 /л (озеро Судочье) до 4,30 мг O_2 /л (озеро Сазанье) (рис. 6).

Этот диапазон отражает различную степень органической нагрузки на водоемы. Органические вещества, попадающие в воду, служат источником питания для различных организмов, способствующих снижению концентрации растворенного кислорода, что в свою очередь негативно сказывается на водных организмах различных трофических уровней и всей экосистемы в целом. При этом среднее значение для водоемов составляло 3,58 мг O_2 /л.

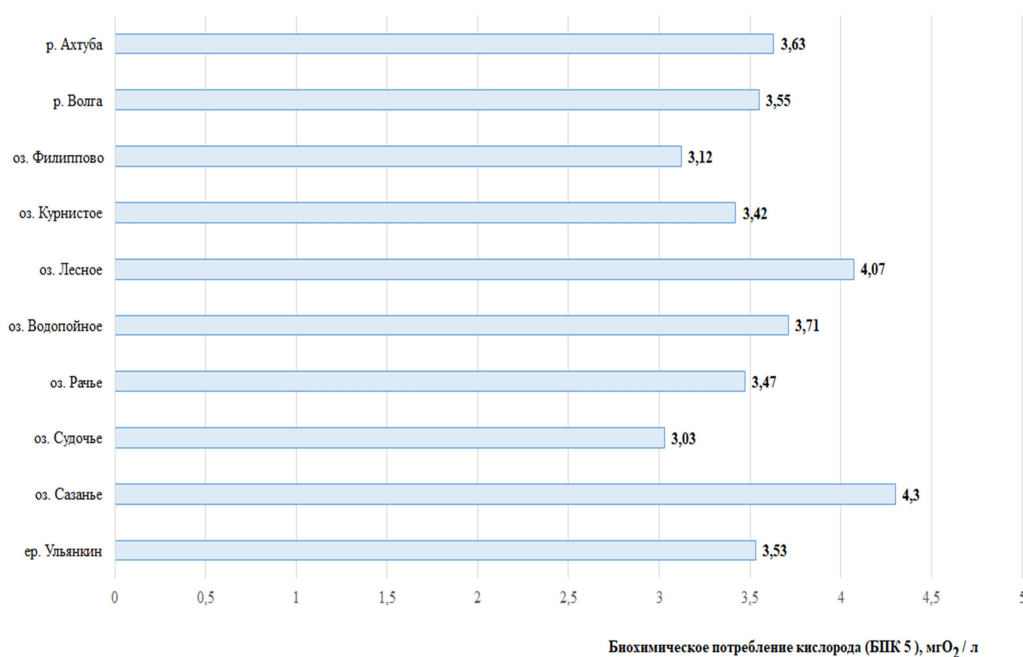


Рис. 6. Биохимическое потребление кислорода БПК₅, мгО₂/л в водоемах различного типа природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье»

Fig. 6. Biochemical oxygen consumption of BPK₅, mgO₂/l in reservoirs of various types Volga-Akhtuba interfluvial Regional significance nature park

На основе полученных данных, исследованные водоемы можно условно разделить на три группы:

1) низкий уровень загрязнения (до 3,1 мгО₂/л) – озеро Судочье (3,03 мгО₂/л) и озеро Филиппово (3,12 мгО₂/л). Эти объекты имеют наиболее благоприятную экологическую обстановку, поскольку содержание органических соединений минимально, и водная среда способна самостоятельно справляться с нагрузкой;

2) средний уровень загрязнения (интервал 3,4–3,8 мгО₂/л) – озеро Курнистое (3,42 мгО₂/л), озеро Рачье (3,47 мгО₂/л), ерик Ульяновин (3,53 мгО₂/л), река Волга (3,55 мгО₂/л), река Ахтуба (3,63 мгО₂/л) и озеро Водопойное (3,71 мгО₂/л);

3) высокий уровень загрязнения (более 4 мгО₂/л) – озеро Лесное (4,07 мгО₂/л) и озеро Сазанье (4,3 мгО₂/л). Высокий уровень БПК₅ свидетельствует о значительных поступлениях органических веществ, что создает угрозу состоянию биоразнообразия и качеству воды.

Все рассмотренные водоемы показывают превышение предельно допустимых концентраций (ПДК = 2,1 мгО₂/л) по БПК₅ от 1,4 (озера Судочье и Филиппово) до 2,0 раза (озера Сазанье).

Биогенные элементы, представленные нитратами NO₃⁻, аммонийным азотом NH₄⁺ и фосфатами PO₄⁻³, играют ключевую роль в функционировании водных экосистем. Эти вещества являются основными источниками питательных элементов для фитопланктона и макрофитов, определяющих продук-

тивность водоема и качество воды. Их концентрация оказывает значительное влияние на процессы эвтрофирования, развитие водорослевых сообществ и формирование кислородного режима.

Минимальная концентрация NO₃⁻ была зарегистрирована в воде озера Рачье (2,65 мг/л) и является самой низкой среди всех обследованных водоемов. Максимальная же концентрация отмечена в озере Филиппово (3,94 мг/л). Средняя концентрация нитратов по выборке составила примерно 3,2 мг/л, что свидетельствует о низком уровне загрязнения азотсодержащими соединениями большинства водоемов. Наиболее низкие показатели характерны для удаленных лесных водоемов (озера Рачье и Водопойное), тогда как повышенное содержание отмечено в озерах Сазанье, Судочье и Филиппово, вероятно, связанных с деятельностью сельского хозяйства либо бытовыми источниками загрязнений.

Аммонийный азот NH₄⁺ представляет собой форму органического азота, возникающую вследствие разложения органических соединений и продуктов жизнедеятельности. Он поступает в водоемы из естественных и искусственных источников. Оптимальные концентрации аммонийного азота для пресноводных водоемов составляют 0,5 мг/л. Превышение этого уровня сигнализирует о возможном нарушении экосистемы и угрозе гидробионтам.

Обстановка по аммонийному азоту в большинстве водоемов характеризовалась удовлетворительным качеством воды (рис. 7).

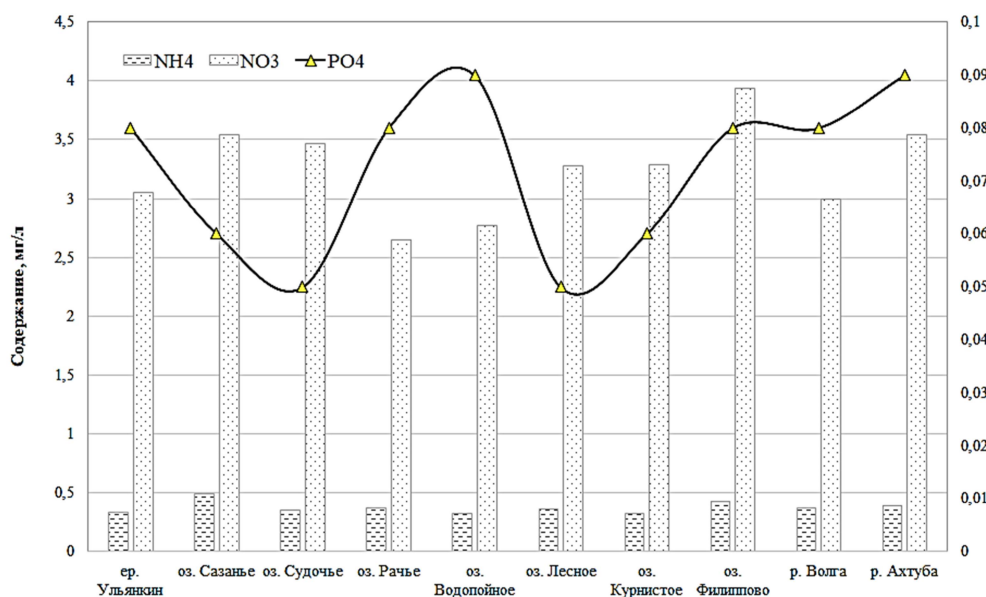


Рис. 7. Содержание нитрата NO₃⁻, аммонийного азота NH₄⁺ и фосфата PO₄⁻³ в водоемах различного типа природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье»

Fig. 7. The content of nitrate NO₃⁻, ammonium nitrogen NH₄⁺ and phosphate PO₄⁻³ in various types of water bodies of the Volga-Akhtuba interfluvial Regional significance nature park

Концентрация NH₄⁺ находилась в отношении от 0,32 до 0,49 мг/л при среднем значении 0,37 мг/л. Особого внимания заслуживали озера Сазанье (0,49 мг/л) и Филиппово (0,43 мг/л), где отмечается повышенное содержание NH₄⁺.

Концентрация фосфатов PO₄⁻³ на момент исследования варьировалась от 0,05 до 0,09 мг/л со средней концентрацией 0,07 мг/л. Минимальная концентрация зафиксирована в озерах Судочье

и Лесное, составляя всего лишь 0,05 мг/л, максимальная наблюдалась в озере Водопойное и реке Ахтуба, где значение достигает 0,09 мг/л. Большинство водных объектов имели концентрации около среднего значения (около 0,06–0,08 мг/л).

На основе полученных данных по гидрохимическим параметрам были рассчитаны значения химического индекса *CJ*, что позволило оценить качество воды в водных объектах (рис. 8).



Рис. 8. Диаграмма значений мультипликативного химического индекса *CJ*

Fig. 8. Diagram of the values of the multiplicative chemical index *CJ*

Как видно из рис. 8, большинство водоемов демонстрирует удовлетворительные показатели качества воды: среднее значение индекса *CJ* исследуемых водоемов составляло 77,46. Однако некоторые

водоемы требуют особого внимания – озеро Сазанье (*CJ* = 65,63) и ерик Ульяновин (*CJ* = 70,68), имевшие статус гидроэкологического состояния – «кризис» (3 класс качества воды) (рис. 9).

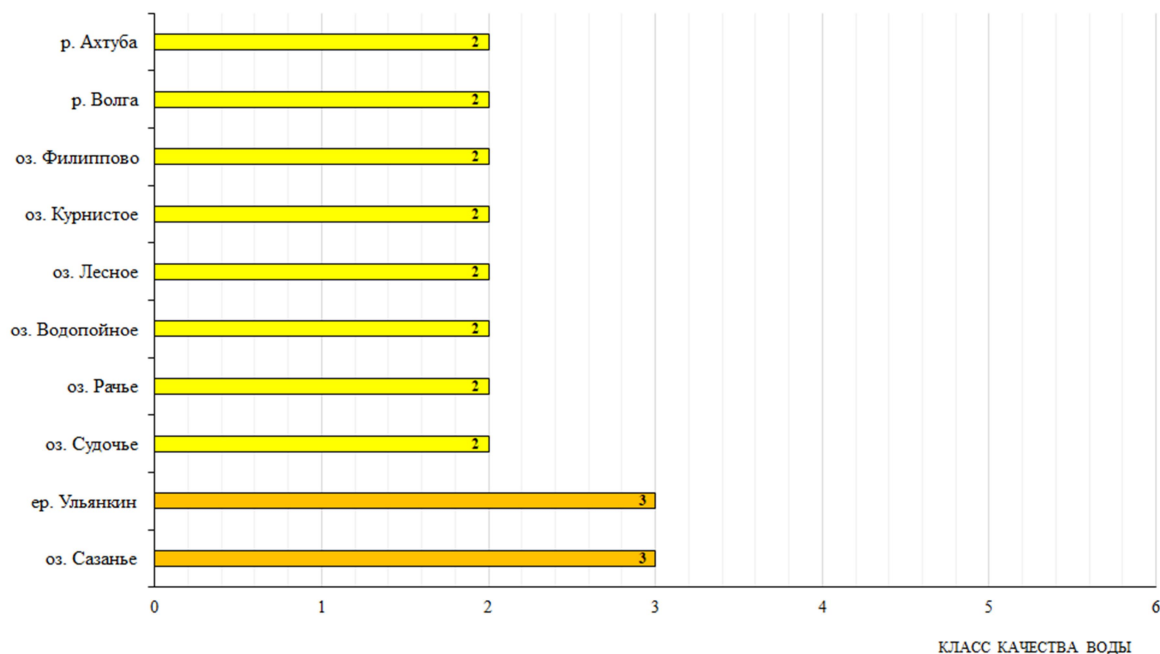


Рис. 9. Распределение классов качества воды в водоемах различного типа природного парка регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье», согласно значению индекса *CJ*

Fig. 9. Distribution of water quality classes in reservoirs of various types Volga-Akhtuba interfluvial Regional significance nature park, according to the value of the *CJ* index

Озера Рачье (73,76), Курнистое (76,87), Филиппово (79,98), Водопойное (80,30), Лесное (80,56), Судочье (82,71), реки Ахтуба (77,46) и Волга (76,63) имеют средние значения *CJ*, что соответствует удовлетворительному качеству воды (статус гидроэкологического состояния – «риск» (2 класс качества воды)).

На основании проведенного анализа установлено, что преобладающая доля (80 %) водных объектов характеризуется слабым уровнем загрязнения (категория «легкая»). Исключением являются гидрологические объекты (20 %) – ерик Ульяновин и озеро Сазанье, демонстрирующие признаки среднезагрязненной категории водного ресурса («средняя»).

Заключение

Проведенные гидрогеоэкологическое исследование водных объектов особо охраняемого природного комплекса регионального значения «Волго-Ахтубинское междуречье» показал значительные различия в уровнях загрязненности и качестве воды. Анализ физико-химических характеристик выявил следующую картину: водные объекты характеризуются умеренной степенью минерализа-

ции, температурными параметрами и концентрациями растворенного кислорода, адекватными естественным условиям рассматриваемого региона. Значительные вариации электропроводности свидетельствуют о комплексном воздействии как естественных факторов, так и, вероятнее всего, антропогенных процессов.

Установлены относительно невысокие концентрации соединений азота и фосфора, что свидетельствует о слабом техногенном выбросе. Повышение предельных значений зафиксировано лишь фрагментарно, главным образом в небольших водоемах близ населенных территорий.

Расчет индекс *CJ* показал значительный разброс состояния исследуемых акваторий, варьирующийся от фоновых значений до уровней, соответствующих критическим ситуациям. Большинство водоемов отнесены ко 2 классу качества («риск»), характеризующимся незначительным превышением нормативных величин содержания химических веществ. Отдельные природные резервуары (озеро Сазанье и ерик Ульяновин) соответствуют 3 классу («кризис») с проявляющимися симптомами умеренного загрязнения.

Основными факторами риска в исследуемом районе являются поступление органических веществ за счет естественного происхождения (гетеротрофное разложение биомассы высших растений, эксскреторная активность фаунистических ор-

ганизмов), антропогенного (выпас крупного рогатого скота и других парнокопытных) и усиление процессов абразии береговых линий водоемов и донных отложений.

Список источников

1. Бирюкова М. Г., Юрченко В. В., Карапун М. Ю., Знобищев А. А. Сравнительная характеристика гидробиоценозов Волго-Ахтубинского междуречья по показателям биоразнообразия и сапробности // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: Рыбное хозяйство. 2017. № 2. С. 26–32.
2. Морозова Л. А., Медведева А. Э., Савин М. В. Правовой режим системы особо охраняемых природных территорий Астраханской области // Конфликт природопользования: роль в эволюции ноосферы: материалы междунард. науч.-практ. конф. (Астрахань, 15–16 мая 2019 г.). Астрахань: ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», 2019. С. 15–18.
3. Календжян Т. В. Региональные особенности климата астраханской области // Современные проблемы географии: межвуз. сб. науч. тр. (Астрахань, 01 января–31 декабря 2019 г.). Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2019. С. 132–135.
4. Барабанов А.Т. Роль прогноза весеннего стока в бассейне Волги в решении проблемы экологической безопасности Волго-Ахтубинской поймы // Науч.-агрон. журн. 2019. № 4 (107). С. 4–7.
5. Овчарова А. Ю., Лобойко В. Ф., Лобойко А. В. Гидрологический режим Нижней Волги за последние годы // Строительство и природообустройство: проблемы и решения: материалы всерос. науч.-практ. конф., посвящается 40-летию факультета строительства и природообустройства (Благовещенск, 06 ноября 2019 г.). Благовещенск: Дальневосточ. гос. аграр. ун-т, 2019. С. 169–173.
6. Науметов Р. Р., Морозова Л. А. Факторы, влияющие на состояние ООПТ Астраханской области // Современные научно-исследовательские решения в условиях технологических и цифровых новаций: материалы ХLI Всерос. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону, 03 декабря 2021 г.). Ростов н/Д.: Юж. ун-т (ИУБиП), 2021. С. 46–50.
7. Моисеенко Т. И. Водная экотоксикология в решении задач оценки качества вод и «здоровья» экосистем // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тез. докл. междунард. науч. конф., посвящен. 150-летию Севастопол. биолог. станции – Ин-та биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий» (Севастополь, 13–18 сентября 2021 г.). Севастополь: ФГБУН Фед. исслед. центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», 2021. С. 38–39.
8. Плетнева Л. А., Плетнев А. Л., Леева М. А. Методы и модели прогнозирования качества поверхностных вод: монография. М.: Мос. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ), 2020. 126 с.
9. Кимстач В. А. Классификация качества поверхностных вод в странах Европейского экономического сообщества. СПб.: Гидрометеониздат, 1993. 48 с.
10. Семин В. А. Основы рационального водопользования и охраны водной среды: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2001. С. 38–77.
11. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Метод. указания. Ростов н/Д., 2002. 49 с.
12. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к обороту воды. М.: Стандартинформ, 2008. 45 с.
13. НДП 10.1:2:3:3.131-2016. Методика определения биохимического потребления кислорода после 5 дней инкубации (БПК5) в пробах питьевых, природных и сточных вод амперометрическим методом. М., 2016. 19 с.
14. Порфирьева А. В., Зиятдинова Г. К., Медянцева Э. П. и др. Гидрохимический анализ: учеб. пособие. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. 88 с.
15. Кайгородова И. А., Дзюба Е. В., Федорова Л. И., Саловаров В. О. Введение в гидробиологию: учеб. пособие. Молодежный: Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского, 2019. Ч. 3. 152 с.
16. Мостеллер Ф. Пятьдесят занимательных вероятностных задач с решениями. М.: Наука, 1971. 104 с.
17. Фрумин Г. Т., Фетисова Ю. А. Трансграничные водные объекты. Проблема оценки качества воды // Материалы V Междунард. науч.-практ. конф. (27–28 октября 2016 г.). СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2016. С. 569–571.
18. Фетисова Ю. А., Фрумин Г. Т. Динамика качества воды трансграничного Чудского озера // Тр. Карел. науч. центра Рос. акад. наук. 2017. № 10. С. 38–44.
19. Заславская М. Б., Ерина О. Н., Ефимова Л. Е. Сопоставление эффективности параметризации качества речных вод различными методами в условиях значительного антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 30–37.
20. Ерина О. Н., Ефимова Л. Е., Заславская М. Б. Сопоставление эффективности параметризации качества речных вод Норильского гидрологического района различными методами // Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунард. участием (Томск, 16–19 октября 2017 г.). Томск: Нац. иссл. Том. гос. ун-т, 2017. Т. 1. С. 487–491.
21. Бедулина Д. С. Влияние температурного фактора на биохимические и клеточные механизмы резистентности у байкальских и палеарктических амфипод: дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2009. 153 с.
22. Васюков А. Е., Бланк А. Б. Химические аспекты экологической безопасности поверхностных водных объектов. Харьков: Ин-т монокристаллов, 2007. 255 с.
23. Оксенок О. П., Жукин В. Н., Брагинский Л. П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.

24. Шауб Ю. Б., Шауб С. К. Электрометрия для экологических и биофизических исследований. М.: Наука, 1992. 193 с.

25. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справ. материалы / под ред. Т. В. Гусевой. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. 192 с.

References

1. Biryukova M. G., Yurchenko V. V., Karapun M. Yu., Znobishchev A. A. Sravnitel'naya karakteristika gidrobiocenozov Volgo-Ahtubinskogo mezhdurech'ya po pokazatelyam bioraznoobraziya i saprobnosti [Comparative characteristics of the hydrobiocenoses of the Volga-Akhtuba interfluvial in terms of biodiversity and saprobicity]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo*, 2017, no. 2, pp. 26-32.

2. Morozova L. A., Medvedeva A. Eh., Savin M. V. Pravovoj rezhim sistemy osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij Astrahanskoj oblasti [Legal regime of the system of specially protected natural territories of the Astrakhan region]. *Konflikt prirodopol'zovaniya: rol' v ehvolucii noosfery: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Astrahan', 15-16 maya 2019 g.)*. Astrahan', FGBOU VO «Astrahanskij gosudarstvennyj universitet», 2019. Pp. 15-18.

3. Kalendzhyan T. V. Regional'nye osobennosti klimata astrahanskoj oblasti [Regional climate features of the Astrakhan region]. *Sovremennye problemy geografii: mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov (Astrahan', 01 yanvarya-31 dekabrja 2019 g.)*. Astrahan', Izdatel'skij dom «Astrahanskij universitet», 2019. Pp. 132-135.

4. Barabanov A.T. Rol' prognoza vesennego stoka v bassejne Volgi v reshenii problemy ehkologicheskoy bezopasnosti Volgo-Ahtubinskoy pojmy [The role of spring runoff forecast in the Volga basin in solving the problem of environmental safety of the Volga-Akhtuba floodplain]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal*, 2019, no. 4 (107), pp. 4-7.

5. Ovcharova A. Yu., Lobjko V. F., Lobjko A. V. Gidrologicheskij rezhim Nizhnej Volgi za poslednie gody [Hydrological regime of the Lower Volga in recent years]. *Stroitel'stvo i prirodobustrojstvo: problemy i resheniya: materialy vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchaetsya 40-letiyu fakul'teta stroitel'stva i prirodobustrojstva (Blagoveshchensk, 06 noyabrja 2019 g.)*. Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2019. Pp. 169-173.

6. Naumetov R. R., Morozova L. A. Faktory, vliyayushchie na sostoyanie OOPT Astrahanskoj oblasti [Factors affecting the state of protected areas in the Astrakhan region]. *Sovremennye nauchno-issledovatel'skie resheniya v usloviyah tehnologicheskikh i cifrovnyh novacij: materialy XLI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Rostov-na-Donu, 03 dekabrja 2021 g.)*. Rostov-na-Donu, Yuzhnyj universitet (IUBiP), 2021. Pp. 46-50.

7. Moiseenko T. I. Vodnaya ehkotsikologiya v reshenii zadach ocenki kachestva vod i «zdorov'ya» ehkosistem [Aquatic ecotoxicology in solving the problems of assessing water quality and the "health" of ecosystems]. *Izuchenie vodnyh i nazemnyh ehkosistem: istoriya i sovremennost': tezisy dokladov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchyonnoj 150-letiyu Sevastopol'skoj biologicheskoy stancii – Instituta biologii yuzhnyh morej imeni A. O. Kovalevskogo i 45-letiyu NIS «Professor Vodyanickij» (Sevastopol', 13-18 sentyabrja 2021 g.)*. Sevastopol', FGBUN Federal'nyj issledovatel'skij centr «Institut biologii yuzhnyh

morej imeni A. O. Kovalevskogo RAN», 2021. Pp. 38-39.

8. Pletneva L. A., Pletnev A. L., Leeva M. A. *Metody i modeli prognozirovaniya kachestva poverhnostnyh vod: monografiya* [Methods and models for predicting surface water quality: monograph]. Moscow, Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj gosudarstvennyj tehnikeskij universitet (MADI), 2020. 126 p.

9. Kimstach V. A. *Klassifikaciya kachestva poverhnostnyh vod v stranah Evropejskogo ehkonomicheskogo soobshchestva* [Classification of surface water quality in the countries of the European Economic Community]. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1993. 48 p.

10. Semin V. A. *Osnovy racional'nogo vodopol'zovaniya i ohrany vodnoj sredy: ucheb. posobie* [Fundamentals of rational water use and protection of the aquatic environment: a textbook]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2001. Pp. 38-77.

11. RD 52.24.643-2002. *Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryaznenosti poverhnostnyh vod po gidrohichimicheskim pokazatelyam. Metodicheskie ukazaniya* [RD 52.24.643-2002. A method of comprehensive assessment of the degree of contamination of surface waters by hydrochemical indicators. Methodological guidelines]. Rostov-na-Donu, 2002. 49 p.

12. GOST R 51592-2000. *Voda. Obshchie trebovaniya k otboru vody* [ISS R 51592-2000. Water. General requirements for water extraction]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 45 p.

13. NDP 10.1:2:3:3.131-2016. *Metodika opredeleniya biohichimicheskogo potrebleniya kisloroda posle 5 dnej inkubacii (BPK5) v probah pit'evykh, prirodnyh i stochnyh vod amperometricheskim metodom* [NDP 10.1:2:3:3.131-2016. The method of determination of biochemical oxygen consumption after 5 days of incubation (BPK5) in samples of drinking, natural and waste waters by the amperometric method]. Moscow, 2016. 19 p.

14. Porfir'eva A. V., Ziyatdinova G. K., Medyanceva Eh. P. i dr. *Gidrohichimicheskij analiz: uchebnoe posobie* [Hydrochemical analysis: a textbook]. Kazan', Izdatelstvo Kazanskogo universiteta, 2018. 88 p.

15. Kajgorodova I. A., Dzyuba E. V., Fedorova L. I., Salovarov V. O. *Vvedenie v gidrobiologiyu: uchebnoe posobie* [Introduction to Hydrobiology: a textbook]. Molodezhnyj, Irkutskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. A. A. Ezhevskogo, 2019, ch. 3. 152 p.

16. Mosteller F. *Pyat'desyat zanimatel'nyh veroyatnostnyh zadach s resheniyami* [Fifty entertaining probabilistic problems with solutions]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 104 p.

17. Frumin G. T., Fetisova Yu. A. *Transgranichnye vodnye ob'ekty. Problema ocenki kachestva vody* [Transboundary water bodies. The problem of water quality assessment]. *Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (27-28 oktyabrja 2016 g.)*. Saint Petersburg, Izdatelstvo RGPU im. A. I. Gercena, 2016. Pp. 569-571.

18. Fetisova Yu. A., Frumin G. T. *Dinamika kachestva vody transgranichnogo Chudskogo ozera* [Dynamics of the water quality of the transboundary Lake Peipis]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2017,

no. 10, pp. 38-44.

19. Zaslavskaya M. B., Erina O. N., Efimova L. E. Sopotavlenie ehffektivnosti parametrizacii kachestva rechnyh vod razlichnymi metodami v usloviyah znachitel'nogo antropogennogo vozdejstviya [Comparison of the effectiveness of parameterization of river water quality by various methods under conditions of significant anthropogenic impact]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2019, no. 2, pp. 30-37.

20. Erina O. N., Efimova L. E., Zaslavskaya M. B. Sopotavlenie ehffektivnosti parametrizacii kachestva rechnyh vod Noril'skogo gidrologicheskogo rajona razlichnymi metodami [Comparison of the effectiveness of parameterization of river water quality in the Norilsk hydrological region by various methods]. *Sovremennye problemy geografii i geologii: k 100-letiyu otkrytiya estestvennogo otdeleniya v Tomskom gosudarstvennom universitete: materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Tomsk, 16–19 oktyabrya 2017 g.)*. Tomsk, Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij gosudarstvennyj universitet, 2017, vol. 1. Pp. 487-491.

21. Bedulina D. S. *Vliyaniye temperaturnogo faktora na biohimicheskie i kletochnye mehanizmy rezistentnosti u bajkal'skih i palearkticheskikh amfipod: dis. ... kand. biol. nauk* [The influence of the temperature factor on the biochemical and cellular mechanisms of resistance in Baikal and Palearctic amphipods: dissertation ... Candidate of Biological Sciences]. Irkutsk, 2009. 153 p.

22. Vasyukov A. E., Blank A. B. *Himicheskie aspekty ehkologicheskoy bezopasnosti poverhnostnykh vodnykh ob'ektov* [Chemical aspects of environmental safety of surface water bodies]. Har'kov, Institut monokristallov, 2007. 255 p.

23. Oksiyuk O. P., Zhukinskij V. N., Braginskij L. P. i dr. Kompleksnaya ehkologicheskaya klassifikaciya kachestva poverhnostnykh vod sushi [Comprehensive ecological classification of land surface water quality]. *Gidrobiologicheskij zhurnal*, 1993, vol. 29, no. 4, pp. 62-76.

24. Shaub Yu. B., Shaub S. K. *Ehlektrometriya dlya ehkologicheskikh i biofizicheskikh issledovaniy* [Electrometry for environmental and biophysical research]. Moscow, Nauka Publ., 1992. 193 p.

25. *Gidrohimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchej sredy: spravochnye materialy* [Hydrochemical indicators of the environment: reference materials]. Pod redakciej T. V. Gusevoj. Moscow, FORUM: INFRA-M Publ., 2007. 192 p.

Статья поступила в редакцию 03.02.2026; одобрена после рецензирования 05.03.2026; принята к публикации 24.03.2026

The article was submitted 03.02.2026; approved after reviewing 05.03.2026; accepted for publication 24.03.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Юрьевич Карapun – ассистент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; karapun.m@gmail.com

Mikhail Yu. Karapun – Lecturer of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; karapun.m@gmail.com

Елена Витальевна Кривоколяско – магистр кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; karapun.m@gmail.com

Elena V. Krivokolyasko – Master's Course Student of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; karapun.m@gmail.com

