

Научная статья
УДК 556.1(282.247.344)(450)
EDN: EKKIP

Межгодовые изменения гидрохимических показателей реки Черной с 2019 по 2024 год (Севастополь, Юго-Западный Крым)

Ю. А. Петрова *, Н. А. Мильчакова, Ю. А. Гаврилова

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия

* e-mail: juliacosac@gmail.ru

Аннотация

Целью исследования является оценка качества вод р. Черной на основе межгодовых изменений гидрохимических параметров и особенностей их пространственного распределения за 2019–2024 гг., а также разработка на основе полученных данных научно-практических рекомендаций по улучшению состояния водного объекта. Проанализированы данные мониторинга 36 нормируемых и ненормируемых гидрохимических показателей, включая биогенные, органические и неорганические вещества, тяжелые металлы и пестициды, в пяти пунктах наблюдений в верхнем, среднем и нижнем течении р. Черной. Материал собран в ходе государственного мониторинга по программе «Экология и охрана окружающей среды города Севастополя». Отбор проб проводили один раз в сезон. Гидрохимический анализ проведен для 120 проб по стандартным методикам. Выявлены значительные пространственные различия содержания нормируемых и ненормируемых показателей, показано, что концентрация некоторых биогенных элементов, хлоридов, сульфатов и металлов (Fe, Cu) в нижнем течении более чем в четыре раза превышает нормативные значения для водных объектов. Содержание Ca, Mn и Mg резко менялось в течение всего периода наблюдений с превышением предельно допустимых нормативов вдвое и более. К 2024 г. отмечен рост содержания взвешенных веществ, биогенных элементов (NH_4^+ , Si) и химического потребления кислорода, тогда как на всех участках наблюдений к 2024 г. содержание фенолов (с 2021 г.) и нефтепродуктов (с 2023 г.) снизилось, а концентрации хлорорганических пестицидов, никеля, хрома шестивалентного и нитратов были ниже ПДК и слабо варьировали по годам и районам. В устьевой части р. Черной зафиксировано незначительное улучшение качества воды по содержанию фенолов. Несмотря на улучшение по органическим показателям, превышение ПДК по тяжелым металлам и биогенным элементам требует продолжения мониторинга и принятия мер: инвентаризации источников, внедрения фильтрующих полос из тростника и усиления биоиндикационного контроля.

Ключевые слова: мониторинг водных объектов, гидрохимические показатели, загрязняющие вещества, качество вод, река Черная, Севастополь

© Петрова Ю. А., Мильчакова Н. А., Гаврилова Ю. А., 2026



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148–4).

Для цитирования: Петрова Ю. А., Мильчакова Н. А., Гаврилова Ю. А. Межгодовые изменения гидрохимических показателей реки Черной с 2019 по 2024 год (Севастополь, Юго-Западный Крым) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2026. № 3. С. 93–109. EDN ЕККИР.

Interannual Changes in the Hydrochemical Parameters of the Chernaya River from 2019 to 2024 (Sevastopol, Southwestern Crimea)

J. A. Petrova *, N. A. Milchakova, J. A. Gavrilova

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

** e-mail: juliacosac@gmail.ru*

Abstract

The study aims to assess the quality of the Chernaya River waters by analysing interannual changes and spatial distribution of hydrochemical parameters for 2019–2024, and to develop evidence-based scientific and practical recommendations for improving the condition of the water body. The article analyses the monitoring data of the Chernaya River for standardised and non-standardised 36 hydrochemical parameters, including nutrients, organic and inorganic substances, heavy metals and pesticides, at five observation points in its upper, middle and lower reaches. The material was collected during state monitoring under the Ecology and Environmental Protection of the City of Sevastopol program. Sampling was carried out once per season. A hydrochemical analysis was performed on 120 samples using standard methods. We found significant spatial differences in the content of standardised and non-standardised indicators. It was shown that the concentration of certain nutrients, chlorides, sulfates and metals (Fe, Cu) in the lower reaches exceeded the standard values for water bodies by more than four times. The content of Ca, Mn, and Mg varied sharply throughout the observation period, exceeding the maximum permissible levels by twofold or more. In 2024, an increase was observed in the content of suspended solids, nutrients (NH_4^+ , Si), and chemical oxygen demand, while at all monitoring sites, by 2024, the content of phenols (since 2021) and petroleum products (since 2023) had decreased, whereas the concentrations of organochlorine pesticides, nickel, hexavalent chromium, and nitrates were below the maximum permissible concentrations and varied little across years and regions. In the estuarine part of the Chernaya River, a slight improvement in water quality was recorded in terms of phenol content. Despite the improvement in organic indicators, the exceeding of the maximum permissible concentrations for heavy metals and nutrients requires continued monitoring and the implementation of measures: inventory of sources, introduction of reed filter strips and strengthening of bioindication monitoring.

Keywords: monitoring of water bodies, hydrochemical indicators, pollutants, spatial dynamics, water quality, Chernaya River, Sevastopol city

Acknowledgements: This work was carried out under IBSS state research assignment “Biodiversity as the basis for the sustainable functioning of marine ecosystems, criteria and scientific principles for its conservation” (no. 124022400148–4).

For citation: Petrova, J.A., Milchakova, N.A. and Gavrilova, J.A., 2026. Interannual Changes in the Hydrochemical Parameters of the Chernaya River from 2019 to 2024 (Sevastopol, Southwestern Crimea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 93–109.

Введение

Качество пресных вод, проблемы водоснабжения и охрана водных объектов относятся к глобальным экологическим задачам, которые включены в перечень Целей устойчивого развития Генеральной ассамблеи ООН¹⁾ и в Министерскую декларацию 10-го Всемирного водного форума²⁾. В программе развития Российской Федерации по достижению задач Целей устойчивого развития³⁾ национальными целевыми показателями на период до 2030 года сформирован перечень мероприятий по сохранению качества пресных вод, включающий мониторинг водных объектов^{1), 3)}. Для города федерального значения Севастополя такая задача имеет не только природоохранное, но и социально-экономическое значение. Регион относится к маловодообеспеченным и засушливым, при этом в последние десятилетия водопотребление в нем значительно возросло из-за интенсификации хозяйственной и рекреационной деятельности, увеличения численности населения. Основным источником питьевого водоснабжения города была и остается р. Черная. Для этого водного объекта реализуется широкий спектр мероприятий в рамках государственных экологических программ, в том числе федерального значения – «Вода России» и «Чистые берега»⁴⁾, направленных на сохранение качества вод, снижение объемов сброса неочищенных или слабоочищенных стоков и обеспечение рационального водопользования.

Первые исследования по оценке качества вод р. Черной были проведены М. А. Галаджиевой⁵⁾ и Г. М. Гасовским [1, 2] на организмах-индикаторах еще в начале XX в. С 1980-х гг. мониторинг гидрохимических показателей и экологического состояния реки проводился Центром по гидрометеорологии в Автономной Республике Крым, а с 2015 г. – Федеральным государственным бюджетным учреждением «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). С 1980 по 2008 г.

¹⁾ URL: <https://www.ungeneva.org/ru/about/topics/sustainable-development-goals> (дата обращения: 20.06.2025).

²⁾ 10-й Всемирный водный форум «Вода для общего процветания»: сборник. Ташкент, 2024. С. 53. URL: <https://www.cawater-info.net/library/rus/10wwf-ru.pdf> (дата обращения: 20.06.2025).

³⁾ Указ Президента Российской Федерации от 24.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» <https://rspp.ru/activity/social/nacionalnye-celi-razvitiya-Rossii/> (дата обращения: 20.06.2025).

⁴⁾ Ежегодный государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2024 год. Севастополь, 2025. URL: <https://spn.sev.gov.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchey-sredy-goroda-sevastopolya/> (дата обращения: 30.07.2025)

⁵⁾ Галаджиева М. А. Материалы к фауне Protozoa пресных вод окрестностей Севастополя // Труды Крымского научно-исследовательского института / Под ред. И. И. Пузанова. Симферополь: Крым. гос. изд-во, 1927. Т. 1, вып. 2. С. 106–117.

качество вод р. Черной определяли по 29 показателям, включая различные органические и неорганические загрязняющие вещества, и растворенные газы [3, 4], а с 2015 по 2024 г. – по 22 параметрам с учетом данных о расходе пресных вод⁴⁾. За весь период наблюдений наибольший объем данных был собран для гидрологического поста у с. Хмельницкого, в 2 км от устья реки⁴⁾. Эпизодически исследования русла реки выполняли на четырех створах [5, 6], в основном на пункте наблюдения (ПН) в с. Хмельницком, устье р. Черной и на участках некоторых ее притоков – на р. Байдарке и р. Уркусте [4, 6, 7].

Обобщение данных о качестве вод р. Черной за 1980–2015 гг. по 16 гидрохимическим показателям выявило значительное повышение концентрации фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ, нефтепродуктов и тяжелых металлов (ТМ), особенно в последнее десятилетие [4, 7]. Так, с 2016 по 2019 г. у гидропоста с. Хмельницкого обнаружено превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) нитритов, фенолов и ТМ [3, 7, 8,]. На других гидропостах по данным сезонных наблюдений с 2010 по 2023 г. также было зарегистрировано увеличение концентрации нитратов и кремниевой кислоты [6]. При этом тенденция к повышению содержания нитритов и аммонийного азота выявлена и для осредненных значений, а по всему течению реки зафиксировано превышение норматива по NH_4^+ для рыбохозяйственных объектов [5].

С учетом высокой экосистемной, природоохранной и социально-экономической значимости р. Черной, значительного роста объемов водопотребления и водоотведения, а также возросших рисков загрязнения из-за интенсификации хозяйственной деятельности в 2021 г. была разработана программа регулярного мониторинга вод и донных отложений в рамках государственной программы «Экология и охрана окружающей среды города Севастополя»⁶⁾. С 2015 г. государственный мониторинг экологического состояния вод р. Черной осуществляется по 38 показателям, а с 2020 г. – по 43 в пяти ПН в верхнем, среднем и нижнем течении. В 2019–2024 гг. оценку качества вод во всех ПН проводили по сезонам, что позволило подготовить обширную базу данных, хотя и без учета хронических и кратковременных загрязнений⁷⁾.

Поскольку техногенное воздействие городской среды оказывает существенное влияние на экологическое состояние р. Черной, актуальность проводимых исследований не вызывает сомнений.

Цель работы – на основе межгодовых изменений 36 гидрохимических показателей и особенностей их пространственного распределения за 2019–2024 гг. оценить качество вод р. Черной в верхнем, среднем и нижнем ее течении и разработать научно-практические рекомендации по улучшению состояния водного объекта.

⁶⁾ Об утверждении государственной программы города Севастополя «Экология и охрана окружающей среды города Севастополя»: постановление Правительства Севастополя от 20.12.2021 № 660-ПП : опубл. 21 декабря 2021 года. URL: <https://sev.gov.ru/docs/253/163582/> (дата обращения: 11.08.2025).

⁷⁾ Доклад о состоянии и об охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2024 году. URL: https://meco.rk.gov.ru/uploads/meco/container/2025/07/16/2025-07-16-15-31-21_2024.pdf (дата обращения: 18.08.2026).

Материалы и методы

Характеристика района исследования

Река Черная, протяженность которой составляет 35 км, относится к основным рекам северо-западного склона Крымских гор и входит в тройку самых крупных рек Севастополя⁴⁾. Водоток берет начало в Байдарской котловине из Скельского источника и впадает в Черное море [9], площадь водосборного бассейна реки составляет 669 км², его средняя высота – 395 м [10], основное питание обеспечивается Скельским источником (дебет 40–220 л/с) и атмосферными осадками⁴⁾. Гидрографическая сеть представлена 11 притоками (реки Узунджа, Боса, Бага Нижняя, Бага Верхняя, Уркуста, Ай-Тодорка, Сухая Речка, Байдарка, Уппа, Арманка, Календа) с общей площадью водосбора 287.02 км², а также Чернореченским водохранилищем (площадь водосбора $S = 6.04$ км², объем $V = 64$ млн м³)⁴⁾. Ширина водоохранной зоны реки составляет 100 м⁸⁾, в ее границах расположены особо охраняемые природные территории (ООПТ), земли сельских населенных пунктов, их канализационные очистные сооружения и сельскохозяйственные угодья.

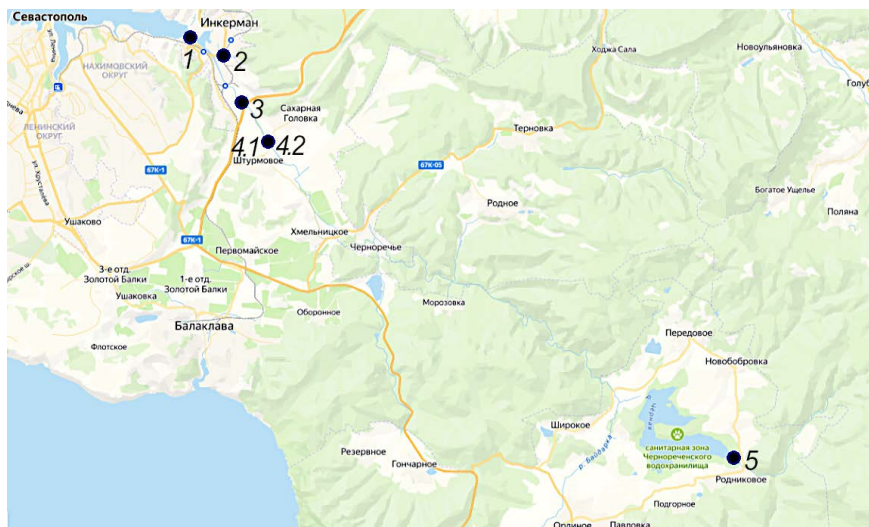
Река Черная является единственным полноводным и непересыхающим водотоком Севастополя. Значительная часть ее русла (7.5 км) находится в границах государственного природного ландшафтного заказника регионального значения «Байдарский», на территории которого находится Чернореченский каньон^{4), 7)}. Несмотря на то, что многие виды хозяйственной деятельности на территории заказника, крупнейшего в сети ООПТ Севастополя, запрещены или ограничены, источниками загрязнения реки служат производственные, сельскохозяйственные и другие объекты, расположенные вблизи его границ. По данным 2024 г., в русло р. Черной поступило до 2.23 млн м³ воды, из которых одна треть относилась к транзитным водам из Кадыковского карьера (0.78 млн м³), а основная часть (две трети) – к сточным водам с канализационных очистных сооружений ГУПС «Водоканал»⁴⁾. Кроме этого, р. Черная относится к наиболее паводкоопасным рекам [11], а сток со всего водосборного бассейна в период паводка может значительно ухудшить качество вод из-за поступления различных загрязняющих веществ [11–13].

Отбор проб и методы исследования

Территориальная система мониторинга качества воды р. Черной представлена пятью ПН (рис. 1): ПН-1 – г. Инкерман, ПН-2 – пос. Зеленая Горка (сброс сточных вод), ПН-3 – пос. Октябрьский (сброс сточных вод), ПН-4.1 (створ 1), ПН-4.2 (створ 2) – пос. Сахарная Головка (фоновый и контрольный участки), ПН-5 – с. Родниковое (ООПТ «Государственный природный ландшафтный заказник регионального значения „Байдарский“»).

Пробы для оценки качества вод р. Черной отбирали в рамках государственного мониторинга поверхностных водных объектов с 2019 по 2024 г.

⁸⁾ Об утверждении Положения о государственном ландшафтном заказнике регионального значения „Байдарский“ : постановление Правительства Севастополя от 29.04.2016 № 408–ПП. URL: <https://docs.cntd.ru/document/438883181?ysclid=mtiqivyg5882718582> (дата обращения: 18.08.2026).



Р и с . 1. Карта-схема участков пунктов наблюдений на р.Черной (кружками обозначены пункты наблюдения и их номера). Источник карты: URL: <https://map.ru/pkk/sevastopol> (дата обращения: 28.08.2026)

Fig. 1. Map of observation points at the Chernaya River (the dots denote observation points and their numbers). The map is adopted from: <https://map.ru/pkk/sevastopol> (Accessed: 28 August 2026)

по программе «Экология и охрана окружающей среды города Севастополя» один раз в сезон в пяти ПН в соответствии с ГОСТ Р 59024–2020.

Гидрохимический анализ проведен для 120 проб, определяли 43 параметра, в том числе содержание растворенных газов (3) и биогенных веществ (12), органолептических показателей (6), органических (10) и неорганических (12) соединений. К нормируемым относилось 25 показателей, к ненормируемым – 18. Исследования проб проводили в испытательных лабораториях ООО «РусИнтеКо», ООО Фирма «ЭкоСвет» и ООО «Биопотенциал».

В настоящей работе мы проанализировали данные по 36 гидрохимическим показателям. В их числе нормируемые: содержание растворенного кислорода (O_2), биологическое потребление кислорода за пять суток ($БПК_5$), химическое потребление кислорода (ХПК), взвешенные вещества, биогенные элементы (кремний Si , нитриты NO_2^- , нитраты NO_3^- , аммонийный азот NH_4^+ , азот общий $N_{общ.}$, фосфаты PO_4^{3-}), ионы основного солевого состава (сульфаты SO_4^{2-} , диоксид углерода CO_2 , хлориды Cl^-), макроэлементы (Mg , Ca , Na и K суммарно), микроэлементы и тяжелые металлы (Fe , Cu , Zn , Ni , Mn , Cr^{6+}), а также ненормируемые: pH, насыщение кислородом O_2 (%) и концентрация гидрокарбонатов HCO_3^- . Помимо этого, определяли концентрацию органических загрязняющих веществ, включая нефтепродукты, фенолы, анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ) и хлорорганические пестициды (α -, β -, γ -ГХЦГ, ДДТ, ДДД, ДДЭ, ГХБ).

Для оценки качества вод р. Черной проводили сравнительный анализ полученных данных и нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения согласно приказу Минсельхоза № 552 от 13.12.2016⁹⁾, СанПиН 1.2.3685–21¹⁰⁾.

Для статистического анализа использовали пакет программного обеспечения PAST 4.0 и Microsoft Excel.

Результаты

Межгодовая динамика нормируемых гидрохимических показателей

Концентрация растворенного кислорода с 2019 по 2024 г. во всех ПН варьировала незначительно – от 6.82 до 8.3 мг/дм³ (при нормативе 6.0 мг/дм³).

Содержание взвешенных веществ в верхнем течении реки (ПН-5 Родниковое) с 2019 по 2024 г. находилось в диапазоне нормативных значений (2.8–23.9 мг/дм³), на других участках оно было выше в 1.2–1.9 раз (27.1–46.12 мг/дм³) (рис. 2, а). Максимальные значения наблюдались в среднем и нижнем течении реки в 2023 и 2024 гг.

Содержание биогенных элементов за исследуемый период превышало ПДК в большинстве ПН. Так, в 2024 г. максимальное содержание NH_4^+ в ПН-4.1 Сахарная Головка достигало 0.685 мг/дм³ при ПДК 0.5 мг/дм³ (превышение в 1.4 раза) (рис. 2, b). Единичный пик концентрации NO_2^- наблюдался в ПН-3 Октябрьский (0.48 мг/дм³ при ПДК 0.08 мг/дм³) в 2021 г., к 2024 г. значение снизилось до 0.0025 мг/дм³. Содержание NO_3^- варьировало в пределах ПДК (40 мг/дм³) от 0.447 до 4.26 мг/дм³ в 2021 и 2023 гг. соответственно⁷⁾, наибольшие значения зафиксированы в среднем течении реки в ПН-3 Октябрьский.

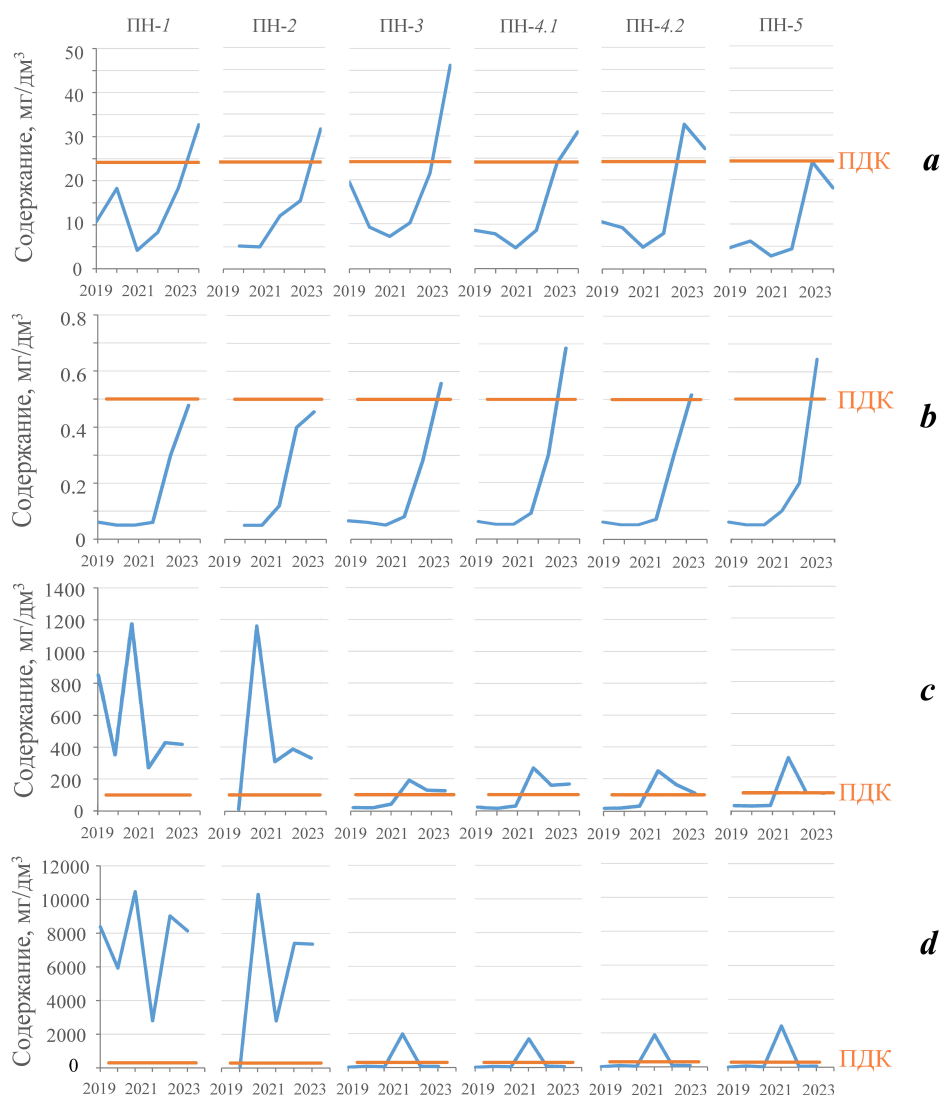
Высокие значения концентрации SO_4^{2-} (11–1174 мг/дм³ при ПДК 100 мг/дм³) и Cl^- (17–10467 мг/дм³ при ПДК 300 мг/дм³) выявлены во всех ПН (рис. 2, c, d), при этом в нижнем течении реки в ПН-1 Инкерман превышение ПДК этих показателей отмечалось в течение всего периода наблюдений.

БПК₅ весь период исследований на всех участках мониторинга, за исключением ПН-4.2 Сахарная Головка в 2019 г. (2.0 мг O_2 /дм³) и ПН-5 Родниковое в 2021 г. (2.1 мг O_2 /дм³), превышало нормативы (2.1 мг O_2 /дм³), составляя 2.7–5.82 мг O_2 /дм³. Максимальные значения БПК₅ (более чем в 1.9 раза выше нормы) зафиксированы в 2023 и 2024 гг. в ПН-4.1 Сахарная Головка и ПН-3 Октябрьский.

Значения pH во всех ПН находились в диапазоне естественной вариации (от 7.69–8.35 до 7.3–7.7) с 2019 до 2024 г., тогда как ХПК возросло с 4.5–5.9 мг/дм³ в 2019–2022 гг. до 78.5–98.5 мг/дм³ в 2023 и 2024 гг., превысив нормативное значение более чем в 2.6 раза.

⁹⁾ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Минсельхоза РФ от 13.12.2016 № 552. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 20.06.2025).

¹⁰⁾ Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21. URL: https://mru31.fmba.gov.ru/upload/iblock/56a/cj7i0jx6pyscza503n4t3zo3ljv79cyi/Postanovlenie-Glavnogo-gosudarstvennogo-sanitarnogo-vracha-RF_-2-ot-28.01.2021.pdf (дата обращения: 20.06.2025).

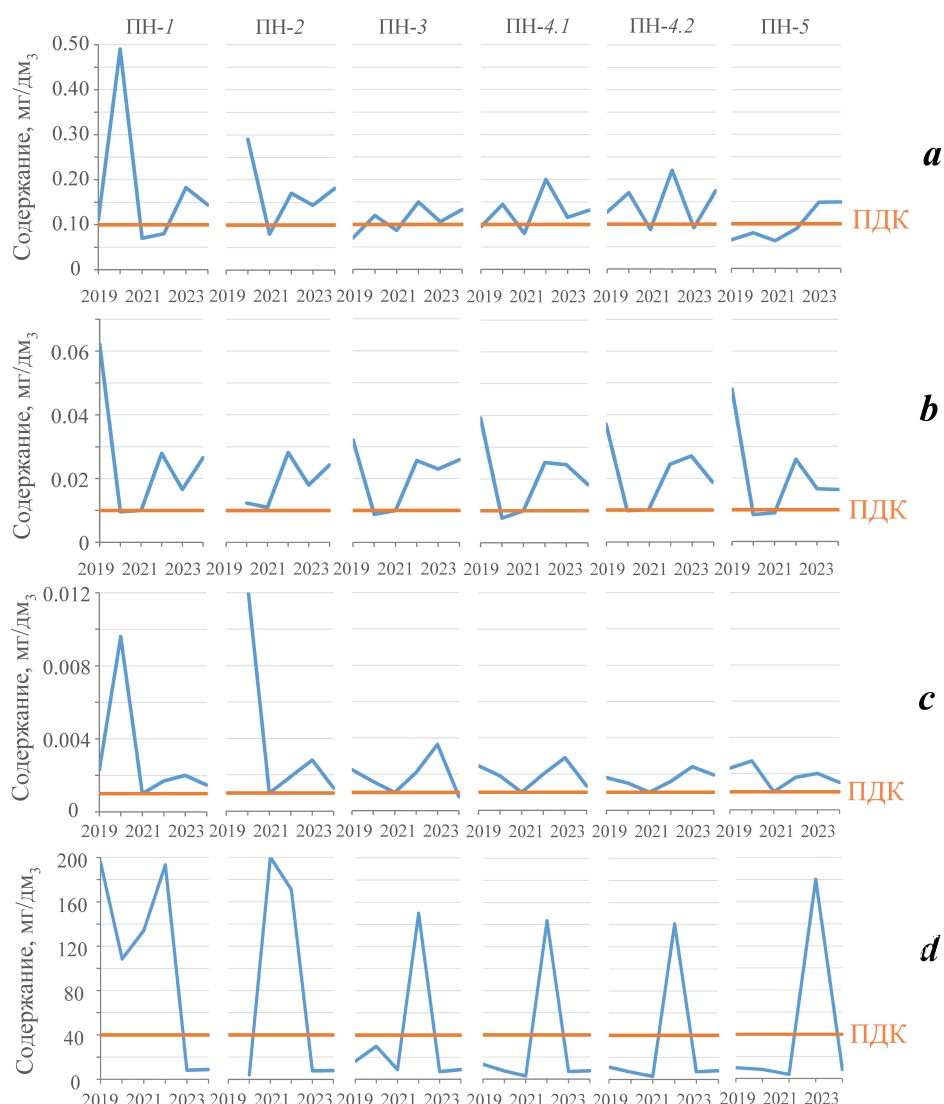


Р и с . 2. Динамика содержания взвешенных веществ (а), NH_4^+ (b), SO_4^{2-} (c), Cl^- (d) в водах р. Черной в 2019–2024 гг.

Fig. 2. Content dynamics of solids (a), NH_4^+ (b), SO_4^{2-} (c), Cl^- (d) in the Chernaya River water in 2019–2024

Концентрации микроэлементов, в том числе некоторых ТМ, характеризовались значительной межгодовой изменчивостью, выявлено превышение ПДК с 2019 по 2024 г. Сверхнормативная концентрация Mn (от 0.0166 до 0.0282 мг/дм³ при ПДК 0.001 мг/дм³) отмечалась во всех ПН с 2022 по 2024 г. с максимумом в ПН-1 Инкерман в 2019 г. (0.062 мг/дм³).

Содержание Fe (0.11–0.49 мг/дм³ при ПДК 0.1 мг/дм³) и Cu (0.00147–0.0096 мг/дм³ при ПДК 0.001 мг/дм³) в ПН-1 Инкерман также превышало ПДК в течение всего периода наблюдений, кроме 2021 и 2022 г. (рис. 3, а, б).



Р и с . 3 . Межгодовое содержание Fe (a), Mn (b), Cu (c), Mg (d) в воде р. Черной в 2019–2024 гг.

Fig. 3. Interannual content of Fe (a), Mn (b), Cu (c), Mg (d) in the Chernaya River water in 2019–2024

Концентрации Cr и Ni ($< 0.01 \text{ мг/дм}^3$) находились в пределах нормативов на всех участках.

Концентрация Mg в 2022 г. на всех участках превышала ПДК (40 мг/дм^3) более чем втрое ($140.7\text{--}193.4 \text{ мг/дм}^3$), а в 2023 и 2024 гг. снизилась более чем на порядок (до $6.88\text{--}11.2 \text{ мг/дм}^3$) (рис. 3, c, d). Сверхнормативная концентрация Ca в 2022 г. также наблюдалась во всех ПН ($213.3\text{--}423.3 \text{ мг/дм}^3$ при ПДК 180 мг/дм^3), в ПН-1 Инкерман и ПН-2 Зеленая Горка с 2021 по 2024 г. зафиксировано превышение его ПДК более чем в 1.6 раза.

Среди органических загрязняющих веществ наибольшая концентрация выявлена у фенолов ($0.0021\text{--}0.0029\text{ мг/дм}^3$ при ПДК 0.001 мг/дм^3) во всех ПН в 2019 и 2020 гг. (рис. 4, *a*). С 2021 по 2024 г. наблюдалось значительное снижение среднегодового содержания фенолов (до 0.0002 мг/дм^3) с минимумом в ПН-5 Родниковое в 2023 г.

Содержание нефтепродуктов в течение всего периода наблюдений во всех ПН было незначительным: в 2019 и 2020 гг. оно не превышало 0.02 мг/дм^3 . В 2022 г. отмечено его повсеместное незначительное повышение до $0.058\text{--}0.074\text{ мг/дм}^3$ (ПДК 0.05 мг/дм^3), за исключением ПН-2 Зеленая Горка; в 2023–2024 гг. значения варьировали от 0.0165 до 0.0268 мг/дм^3 (рис. 4, *b*). Содержание АПАВ в среднем и нижнем течении реки в 2022 г. повышалось до $0.09\text{--}0.21\text{ мг/дм}^3$ (ПДК 0.1 мг/дм^3), к 2024 г. значения этого показателя снизились вдвое, за исключением ПН-1 Инкерман, где превышение ПДК сохранялось (рис. 4, *c*). Концентрация хлорорганических пестицидов во всех ПН была ниже ПДК в течение всего периода наблюдений.

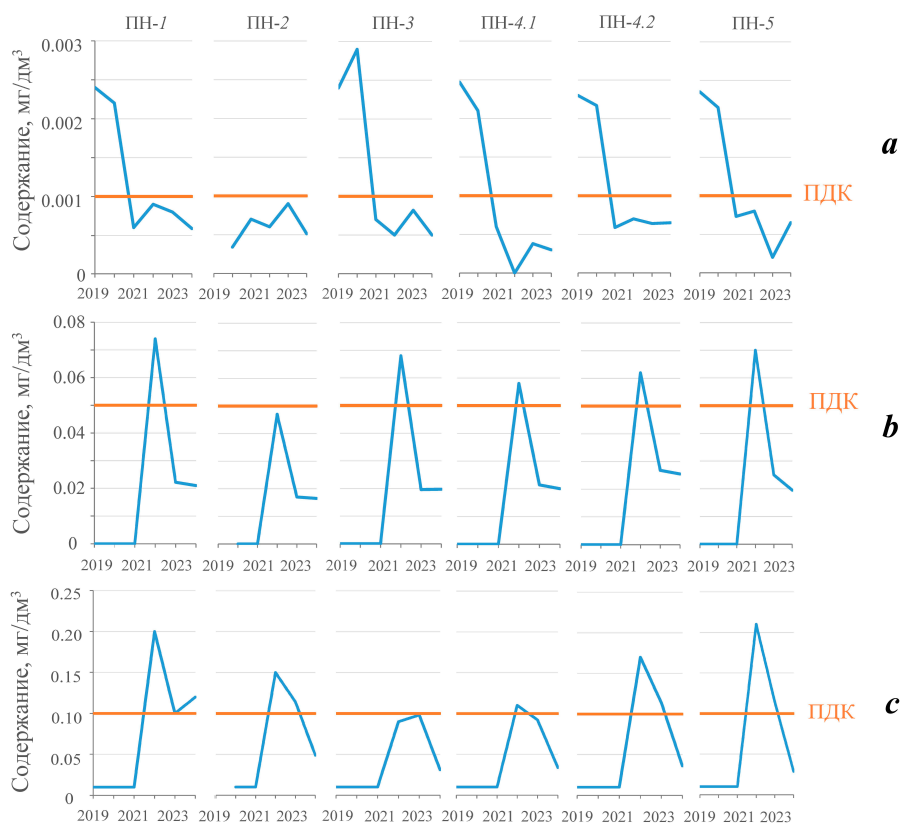


Рис. 4. Динамика содержания фенолов (*a*), нефтепродуктов (*b*), АПАВ (*c*) в воде р. Черной в 2019–2024 гг.

Fig. 4. Content dynamics of phenols (*a*), petroleum products (*b*), AASS (*c*) in the Chernaya River water in 2019–2024

Межгодовая динамика содержания ненормируемых показателей воды

Содержание HCO_3^- за период наблюдений изменялось в диапазоне 53–128,8 мг/дм³ с максимумом в ПН-4.2 Сахарная Головка в 2022 г. Содержание CO_2 и $\text{N}_{\text{общ}}$ не превышало 1 мг/дм³.

Суммарное содержание Na^+ и K^+ было максимальным во всех ПН в 2020 г. (518–10 489 мг/дм³), минимальным – в 2019 г. (0.064–0.127 мг/дм³). В нижнем течении реки в 2021 г. значения этого показателя варьировали в диапазоне 5906–6646 мг/дм³, а верхнем и среднем – 21.5–31.5 мг/дм³. В последующие годы во всех ПН суммарное содержание Na^+ и K^+ составляло 26–38.75 мг/дм³.

Средние за 2019–2024 гг. значения гидрохимических показателей р. Черной, определяющих качество вод, представлены в таблице.

Средние значения показателей качества воды р. Черной в 2019–2024 гг.

Average values of the Chernaya River water quality indicators in 2019–2024

Показатель / Indicator	Пункт наблюдения / Observation point				
	ПН-1 / OP-1	ПН-2 / OP-2	ПН-3 / OP-3	ПН-4* / OP-4*	ПН-5 / OP-5
pH	7.5	7.38	7.69	7.66	7.4
Растворенный кислород, мг/дм ³ / Dissolved oxygen, mg/dm ³	7.6	7.58	7.63	7.65	7.58
Взвешенные вещества, мг/дм ³ / Suspended matter, mg/dm ³	15.4	13.84	18.93	14	10
Нефтепродукты, мг/дм ³ / Petroleum products, mg/dm ³	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³ / BOD ₅ , mgO ₂ /dm ³	3.77	3.56	3.89	3.4	3.5
ХПК, мг/дм ³ / COD, mg/dm ³	39.16	44.26	38.29	37.2	34.86
АПАВ, мг/дм ³ / Anionic surfactants, mg/dm ³	0.075	0.066	0.04	0.044	0.064
Насыщение кислородом, % / Oxygen saturation, %	93.6	63.2	74.9	75.39	73.6
Сульфаты, мг/дм ³ / Sulfates, mg/dm ³	582.8	439	86.89	108.6	96.16
Хлориды, мг/дм ³ / Chlorides, mg/dm ³	7456	5593	375	323	449
Нитраты, мг/дм ³ / Nitrates, mg/dm ³	1.5	1.67	2.19	1.95	1.77
Нитриты, мг/дм ³ / Nitrites, mg/dm ³	0.053	0.016	0.031	0.024	0.026
Ионы аммония, мг/дм ³ / Ammonium ions, mg/dm ³	0.16	0.215	0.182	0.2	0.184

Окончание таблицы / Table (concluded)

Показатель / Indicator	Пункт наблюдения / Observation point				
	ПН-1 / OP-1	ПН-2 / OP-2	ПН-3 / OP-3	ПН-4 * / OP-4 *	ПН-5 / OP-5
Диоксид углерода, мг/дм ³ / Carbon dioxide, mg/dm ³	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5
Фосфаты, мг/дм ³ / Phosphates, mg/dm ³	0.054	0.055	0.086	0.078	0.059
Гидрокарбонаты, мг/дм ³ / Hydrocarbonates, mg/dm ³	279.0	270.7	233.6	175.8	264.6
Фенолы, мг/дм ³ / Phenols, mg/dm ³	0.0012	0.0006	0.0013	0.0009	0.001
Кальций, мг/дм ³ / Calcium, mg/dm ³	512	360	100	94	93
Магний, мг/дм ³ / Magnesium, mg/dm ³	108	78	37	30	37
Натрий и калий (суммарно), мг/дм ³ / Sodium and potassium (in total), mg/dm ³	4778	1454	147	127	121
Железо общее, мг/дм ³ / Total iron, mg/dm ³	0.179	0.173	0.110	0.128	0.098
Марганец, мг/дм ³ / Manganese, mg/dm ³	0.025	0.015	0.020	0.020	0.020
Медь, мг/дм ³ / Copper, mg/dm ³	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
Цинк, мг/дм ³ / Zinc, mg/dm ³	0.036	0.0154	0.010	0.01	0.0124
Хром (VI), мг/дм ³ / Chrome (VI), mg/dm ³	0.005	0.005	0.005	0.01	0.005
Никель, мг/дм ³ / Nickel, mg/dm ³	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Азот общий, мг/дм ³ / Total nitrogen, mg/dm ³	1.69	0.92	1.00	0.90	1.00
Фосфор, мг/дм ³ / Phosphorus, mg/dm ³	0.040	0.005	0.050	0.025	0.025
Кремний, мг/дм ³ / Silicon, mg/dm ³	3.00	3.69	2.67	2.77	2.83
Пестициды (α-, β-, γ-ГХЦГ, ДДТ, ДДД, ДДЭ, ГХБ) / Pesticides (α-, β-, γ-HCH, DDT, DDD, DDE, HCB)	< 0.00001	< 0.00001	< 0.00001	< 0.00001	< 0.00001

* Приведены средние значения для ПН-4 (створ 1 и створ 2).

* For OP-4, mean values are given (site 1 and site 2).

Для нижнего течения р. Черной (ПН-1, ПН-2) характерно повышенное содержание хлоридов, сульфатов, кальция, магния, натрия и калия суммарно, по сравнению с верхним и средним (таблица). Концентрация NO_2^- в нижнем течении реки была вдвое выше, чем в верховьях, а содержание NO_3^- достигало максимума в среднем течении реки (таблица), что свидетельствует о хроническом загрязнении (смыв с ливневыми стоками).

Содержание фосфатов во всех ПН в р. Черной ниже ПДК для мезотрофных водоемов⁷⁾ (таблица).

Повышение концентрации некоторых ТМ (Mn, Fe, Cu, Zn) наблюдалось от верхнего течения (ПН-5 Родниковое) к нижнему (ПН-1 Инкерман).

Средние значения содержания Cr^{6+} , Ni, нефтепродуктов и пестицидов находились в границах ПДК на всех участках мониторинга. За 2019–2024 гг. среднее значение ХПК было на порядок больше, чем БПК₅ (таблица). Это, вероятно, связано с присутствием трудно разлагаемых органических соединений растительного происхождения. Показательно, что высокое содержание растворенного кислорода (от 7.58–7.65 мг/дм³) обуславливает биохимическое равновесие и нормальное функционирование биоты р. Черной.

Обсуждение

По результатам мониторинга качества вод р. Черной в 2019–2024 гг. выявлено превышение ПДК ряда гидрохимических показателей, таких как содержание ТМ (кроме Ni^{2+} и Cr^{6+}), биогенных элементов, фенолов, ХПК, хлоридов и сульфатов (см. рис. 2, 4).

В течение всего периода наблюдений отмечены разовые или периодические скачки концентрации Mn, Fe, Mg, и Cu, взвешенных веществ, превышающие нормативы для рыбохозяйственных водных объектов (см. рис. 2, 3), что, возможно, связано с интенсивным размывом берегов, эрозией и смывом удобрений с сельскохозяйственных полей. Высокое содержание Mg и Ca в водах р. Черной в 2022 г., превышающее ПДК (см. рис. 3), оказалось сопоставимым с данными за 1989–2008 гг. [3], что может быть результатом специфических гидрохимических условий в зоне смешения речных и морских вод, учитывая отсутствие в районе ПН-1 Инкерман и ПН-2 Зеленая Горка горнодобывающих и химических предприятий.

Превышение норматива ХПК и сверхнормативные концентрации Cl^- , SO_4^{2-} (см. рис. 2) наблюдались ежегодно. Зафиксированы пики концентраций фенолов, АПАВ и нефтепродуктов, превышающие ПДК для рыбохозяйственных водных объектов (см. рис. 4). С 2019 по 2024 г. отмечено повышение содержания биогенных элементов NH_4^+ и Si.

Следует отметить, что выявленное нами увеличение концентрации биогенных веществ в верхнем и нижнем течении р. Черной сопоставимо с результатами других исследователей за 2012–2023 гг. [5, 6]. По-видимому, высокая концентрация загрязняющих веществ в р. Черной связана с их поступлением с сельскохозяйственных угодий, расположенных в основном вдоль среднего течения реки (в том числе в прибрежной и водоохранной зонах), а также хозяйственными стоками промышленных предприятий. Кроме того, источниками загрязнения служат приток морских вод во время штормовых нагонов

в устьевой зоне, выпуски централизованных и локальных канализационных очистных сооружений и ливневые стоки [3, 5, 6]. Тем не менее на всех участках реки мы выявили снижение содержания Cu , АПАВ и нефтепродуктов с 2019 по 2024 г.

Анализ пространственного распределения некоторых гидрохимических показателей выявил довольно высокие концентрации хлоридов, сульфатов и ТМ, а также превышение БПК₅ и ХПК в устьевой зоне р. Черной (ПН-1, -2, см. рис. 2, 3) по сравнению с другими участками (ПН-3, -4, -5). При этом высокое содержание сульфатов и хлоридов, превышающее ПДК, оказалось сопоставимым с данными за 1989–2008 гг. [3]. Возможно, это связано с высоким содержанием органических веществ в воде из-за поступления недостаточно очищенных или неочищенных сточных вод и природных осадков.

В целом исследователи отмечали ухудшение качества вод р. Черной в 2012–2023 гг. и связывали его с поступлением в русло некоторых загрязняющих веществ от ее притоков [5, 6].

Анализ данных мониторинга 2019–2024 гг. показал некоторое ухудшение качества вод р. Черной. Основной причиной является поступление в русло значительных объемов недостаточно очищенных производственных сточных вод с предприятий, а также неочищенных хозяйственно-бытовых вод от неорганизованных источников водоотведения. Ситуация усугубилась ограничением контрольных (надзорных) мероприятий⁴⁾. Незначительное увеличение содержания АПАВ, фенолов, нефтепродуктов и некоторых металлов связано с их накоплением на водосборной площади реки в межень и последующим смывом с интенсивным ливневым стоком, а также во время кратковременных экстремальных паводков (июнь 2021 г., июнь и декабрь 2022 г.)⁴⁾.

Тем не менее в нижнем течении реки и устьевой части зафиксировано снижение концентрации фенолов до уровня ниже ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения⁹⁾. Это свидетельствует о некотором улучшении качества вод по этому показателю в сравнении с данными за 1980–2020 гг. [8, 14]. Кроме того, отмечено уменьшение концентраций нитритов и нитратов, которые оказались ниже нормативов⁷⁾ по сравнению с 2015–2020 гг. [5, 11].

На всех пунктах наблюдений выявлены низкие концентрации хлорорганических и других пестицидов, не превышающие ПДК, что соответствует данным за 1980–2015 гг. и 2020 г. [14, 15]. Стабильное содержание кислорода на разных участках реки оказалось сходным с данными 2015 г. [11].

Сравнительный анализ межгодовых изменений гидрохимических показателей р. Черной с данными о других крупнейших водотоках Крыма и водных объектах рыбохозяйственного назначения за 2022–2024 гг. выявил сходную тенденцию к повышению ХПК^{5), 6)}. По-видимому, это связано с вымыванием из почв водосборного бассейна стойких органических соединений и поступлением биогенных веществ, металлов и иных загрязняющих веществ в составе недостаточно очищенных сточных вод канализационных очистных сооружений.

На основе проведенных исследований и анализа опубликованных данных за 2019–2024 гг.⁴⁾ установлено некоторое снижение качества вод р. Черной – основного источника питьевого водоснабжения г. Севастополя. Это требует принятия комплексных мер и проведения водоохранных мероприятий.

В первую очередь к ним относятся ограничение или запрет на размещение неорганизованных мест отдыха в водоохранной зоне реки и повышение требований к экологической экспертизе при строительстве капитальных объектов в этой зоне. По нашему мнению, включение в систему мониторинга качества вод биоиндикационных исследований с применением видов-индикаторов из представителей прибрежной водной растительности, таких как тростник южный (*Phragmites australis*), позволит не только повысить оценку качества среды, но и разработать научно-обоснованные рекомендации по снижению негативного воздействия на водный объект.

Заключение

Анализ межгодовой динамики качества вод р. Черной по 36 нормируемым и ненормируемым гидрохимическим показателям за 2019–2024 гг. выявил их значительное варьирование в пяти ПН, которые располагались в верхнем, среднем и нижнем течении реки.

Проанализирована изменчивость содержания элементов основного солевого состава вод реки (Cl^- , SO_4^{2-} Ca, Mg), биогенных элементов (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Si) и микроэлементов, включая некоторые ТМ (Fe, Cu, Mn, Ni и Cr^{6+}). Оценена динамика ряда органических загрязняющих веществ (фенолы, нефтепродукты, хлорорганические пестициды, АПАВ).

Наибольшая степень загрязнения вод р. Черной выявлена в нижнем течении, что напрямую связано с поступлением в водоток недостаточно очищенных производственных сточных вод, органических соединений и тяжелых металлов с интенсивными ливневыми стоками с водосборного бассейна, во время экстремальных паводков, а также с загрязненными водами притоков.

За исследуемый период содержание Fe и Cu возросло более чем в четыре раза, концентрация Mn превышала ПДК и более чем на порядок. Кроме того, выявлены повышенные концентрации Ca и Mg, взвешенных веществ, Cl^- , SO_4^{2-} и NH_4^+ . Межгодовые изменения содержания NO_3^- , Ni и Cr^{6+} были незначительными. Концентрация органических загрязняющих веществ во всех ПН снизилась к 2024 г., концентрация фенолов стала ниже ПДК с 2021 г., а нефтепродуктов – с 2023 г.

Ненормируемые гидрохимические показатели варьировали в меньшей степени, чем нормируемые: pH снизился до нейтральных значений, концентрация Si и показатели ХПК возросли более чем вдвое, а суммарное содержание Na и K снизилось на два порядка к 2021 г., незначительно изменяясь в последующие годы.

Таким образом, качество вод р. Черной по 36 гидрохимическим показателям за указанный период можно считать удовлетворительным, особенно в отношении органических загрязняющих веществ. Превышение содержания отмечено только для некоторых тяжелых металлов и биогенных элементов, в основном в нижнем течении реки и в ее устье.

Поскольку р. Черная является основным поверхностным источником водообеспечения Севастополя, мониторинг качества ее вод остается приоритетной задачей. Для повышения эффективности контроля рекомендуется:

- провести инвентаризацию источников загрязнения;

- разработать комплекс мер, направленных на снижение объемов поступающих неочищенных сточных вод;
- внедрить фильтрующие полосы из тростника для осаждения взвесей и поглощения загрязняющих веществ;
- дополнить мониторинг вод биоиндикационными исследованиями с использованием видов-индикаторов прибрежной водной растительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гасовський Г. М.* Практичне значення інфузорій та історія їх дослідження на Україні // Збірник праць Зоологічного музею. Київ : Наукова думка, 1960. Вип. 29. С. 58–89.
2. *Довгаль И. В., Петрова Ю. А.* Свободноживущие инфузории (Ciliophora) пресных водоемов Крымского полуострова (состояние изученности и новые находки) // Биоразнообразие и устойчивое развитие. 2023. Т. 8, № 2. С. 13–25. EDN BGQFEW.
3. *Миньковская Р. Я., Ингеров А. В.* Гидрохимическая характеристика рек Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2010. № 22. С. 281–295. EDN WTBINH.
4. *Вержевская Л. В., Миньковская Р. Я.* Структура и динамика антропогенной нагрузки на прибрежную зону Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 92–106. EDN XGZGZL. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-2-92-106>
5. *Мыслина М. А., Вареник А. В., Тарасевич Д. В.* Динамика концентрации биогенных элементов в водах реки Черной (Крымский полуостров) в 2015–2020 годах // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 3. С. 438–449. EDN UGRJUT.
6. *Кондратьев С. И.* Гидрохимическая структура реки Черной (Крым) в 2012–2023 годах // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 4. С. 27–38. EDN OVGMMMS.
7. *Грузинов В. М., Дьяков Н. Н., Мезенцева И. В., Мальченко Ю. А. и др.* Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района // Океанология. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590. EDN VEOVBV. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
8. *Табунщик В. А., Тимченко З. В., Чернов Я. И.* Загрязнение воды в реках северо-западного склона Крымских гор (на примере бассейнов рек Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек и Черная) // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2024. Т. 10, № 1. С. 202–217. EDN JLIZMQ.
9. *Олиферов А. Н., Тимченко З. В.* Реки и озера Крыма. Симферополь : ДОЛЯ, 2005. 214 с.
10. *Прокопов Г. А.* Пресноводная фауна бассейна р. Черной // Вопросы развития Крыма. Вып. 15. Проблемы инвентаризации крымской биоты. Симферополь : Таврия-плюс, 2003. С. 151–174.
11. *Совга Е. Е., Хмара Т. В.* Влияние стока реки Черной в периоды паводка и межени на экологическое состояние кутовой части акватории Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 1. С. 31–40. EDN NNGSDX. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2020-1-31-40>
12. *Миньковская Р. Я., Демидов А. Н., Наривончик С. В.* Влияние стока реки Черной (Севастопольский регион) на устьевое взморье во время паводков // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2024. Т. 6, № 2. С. 138–156. EDN XCUXSV. <https://doi.org/10.34753/HS.2024.6.2.138>

13. *Совга Е. Е., Хмара Т. В.* Зимние паводки на реке Черная как источник поступления биогенных элементов в куттовую часть Севастопольской бухты // Моря России: фундаментальные и прикладные исследования. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. Севастополь : МГИ, 2019. С. 276–278. EDN KFXHRI.
14. *Миньковская Р. Я.* Оценка состояния морских устьев рек Севастопольского региона // Труды Государственного океанографического института. 2018. № 219. С. 152–173. EDN XSEMCT.
15. *Малахова Л. В., Егоров В. Н., Малахова Т. В., Лобко В. В. и др.* Содержание хлороорганических соединений в компонентах экосистемы реки Черной и оценка их выноса в Севастопольскую бухту в зимний сезон 2020 года // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. №. 5. С. 7–14. EDN IRQJBF. <https://doi.org/10.17513/mjpf.13061>

Поступила 28.12.2025 г.; одобрена после рецензирования 09.03.2026 г.; принята к публикации 30.06.2026 г.; опубликована 30.09.2026 г.

Об авторах:

Петрова Юлия Александровна, аспирант, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр-т Нахимова, д. 2), **ORCID ID: 0009-0008-4317-5931**, juliacosac@gmail.ru

Мильчакова Наталия Афанасьевна, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории фиторесурсов, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр-т Нахимова, д. 2), кандидат биологических наук, **SPIN-код: 9004-5654**, **ORCID ID: 0000-0001-5407-7706**, **ResearcherID: I-1280-2016**, nmilchakova@ibss-ras.ru

Гаврилова Юлия Анатольевна, аспирант, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (299011, Россия, г. Севастополь, пр-т Нахимова, д. 2), **ORCID ID: 0009-0004-1243-8912**, u.gavrilova@gs.sev.gov.ru

Заявленный вклад авторов:

Петрова Юлия Александровна – анализ результатов государственного мониторинга, подготовка текста статьи

Мильчакова Наталия Афанасьевна – постановка проблемы, анализ результатов, подготовка текста статьи

Гаврилова Юлия Анатольевна – анализ результатов государственного мониторинга, подготовка текста статьи

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.