

Гидролого-гидрохимический режим вод озера Донузлав (Западный Крым, Черное море) по результатам экспедиций 2019 года

В. И. Рябушко^{1*}, С. В. Щуров¹, Н. П. Ковригина¹,
А. И. Чепыженко²

¹ *Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия*

² *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

*e-mail: rabushko2006@yandex.ru

Аннотация

Промышленная добыча песка и сброс сточных вод относятся к основным антропогенным факторам, влияющим на состояние экосистемы озера Донузлав (Крым, Черное море). Добыча песка, прежде всего, существенно меняет рельеф дна и может стать причиной возникновения зон с дефицитом кислорода. В связи с этим в районах мидийно-устричных ферм, зонах добычи песка, грузового порта, а также в районе влияния выпуска КОС «Донузлав» необходимо продолжение мониторинговых гидрохимических и гидробиологических работ в современных условиях. Цель настоящей работы – исследование гидролого-гидрохимической структуры юго-западного района озера Донузлав, подверженного антропогенному влиянию и включающего зону промышленной добычи песка. В апреле, мае и сентябре 2019 г. проведены исследования гидролого-гидрохимической структуры вод озера, включающие измерения температуры, солености, а также определения содержания растворенного кислорода, биохимического потребления кислорода за пять суток (БПК₅), перманганатной окисляемости в щелочной среде, содержания кремния, минеральных и органических форм азота и фосфора. Показано, что распределение температуры и солености воды отличается большой пространственной неоднородностью. Материалы гидрохимических исследований свидетельствуют о высокой концентрации кислорода в воде; случаев дефицита кислорода за период исследований не обнаружено. Минимальные концентрации растворенного кислорода не снижались до значений предельно допустимых концентраций (ПДК). Все значения БПК₅ не превышали ПДК. Локальное антропогенное воздействие на воды озера заключается в повышении концентраций биогенных веществ, органического азота и фосфора, а также значений окисляемости в районе добычи песка, вблизи выпуска сточных вод КОС «Донузлав» и в районе порта.

Ключевые слова: гидролого-гидрохимическая структура, биогенные элементы, озеро Донузлав, Крым, Черное море

© Рябушко В. И., Щуров С. В., Ковригина Н. П., Чепыженко А. И., 2023



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 по темам государственных заданий: ФИЦ ИнБЮМ «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (номер гос. регистрации 121030300149-0) и ФГБУН ФИЦ МГИ «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей» (номер гос. регистрации 0555-2021-0005).

Для цитирования: Гидролого-гидрохимический режим озера Донузлав (Западный Крым, Черное море) по результатам экспедиций 2019 года / В. И. Рябушко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 1. С. 91–103. EDN WWDOFG. doi:10.29039/2413-5577-2023-1-91-103

Hydrological, Hydrochemical Conditions of Lake Donuzlav (Western Crimea, Black Sea) Based on the Results of Expeditions in 2019

**V. I. Ryabushko^{1*}, S. V. Shchurov¹, N. P. Kovrigina¹,
A. I. Chepyzhenko²**

¹ *A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia*

² *Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia*

**e-mail: rabushko2006@yandex.ru*

Abstract

Industrial sand extraction and wastewater discharge are among the main anthropogenic factors affecting the state of the ecosystem of Lake Donuzlav (Crimea, Black Sea). Sand mining primarily significantly changes the seabed and can cause the formation of an oxygen-deficient zone. In this regard, it is necessary to continue the up-to-date hydrochemical and hydrobiological monitoring in the areas of mussel-and-oyster farms, sand mining zones, cargo port, and in the area affected by the release of the Donuzlav sewerage treatment plant. The purpose of this work is to study the hydrological and hydrochemical structure of the southwestern region of Lake Donuzlav, which is subject to anthropogenic influence and includes a zone of industrial sand mining. In April, May and September 2019, studies of the hydrological and hydrochemical structure of lake waters were carried out, including measurements of temperature, salinity, content of dissolved oxygen, five-day biochemical oxygen demand (BOD₅), alkaline permanganate oxidizability, content of silicate, mineral and organic nitrogen and phosphorus. It is shown that the spatial distribution of water temperature and salinity is characterized by great heterogeneity and temporal variability. The hydrochemical studies indicate high oxygen supply in the lake; no cases of oxygen deficiency were detected during the research period. The minimum concentrations of dissolved oxygen did not drop to the minimum allowable levels. All BOD₅ values were below the maximum allowable levels. Local anthropogenic impact on the lake waters was registered in the increased concentrations of nutrients and oxidizability values in the sand mining areas, near the sewerage outlet, in the port area and in the area affected by the domestic wastewater release.

Key words: hydrological and hydrochemical structure, biogenic elements, Lake Donuzlav, Crimea, Black Sea

Acknowledgements: The work was performed under state assignment of IBSS of RAS “Research of control mechanisms for production processes in biotechnological complexes with the aim of developing scientific foundations for obtaining biologically active substances and technical products of marine genesis”, state registration no. 121030300149-0; and of MHI RAS “Complex interdisciplinary research of oceanologic processes, which determine functioning and evolution of the Black and Azov Sea coastal ecosystems”, state registration no. 08272019-0005.

For citation: Ryabushko, V.I., Shchurov, S.V., Kovrigina, N.P. and Chepyzhenko, A.I., 2023. Hydrological, Hydrochemical and Hydrobiological Conditions of Lake Donuzlav (Western Crimea, Black Sea) based on the Results of Expeditions in 2019. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 91–103. EDN WWDOFG. doi:10.29039/2413-5577-2023-1-91-103

Введение

Озеро Донузлав является уникальным полузакрытым техногенным морским заливом, расположенным на западном побережье Крыма. До 1961 г. озеро не имело связи с морем и было вторым по площади соленым озером в Крыму с высокими значениями солености (90–95 ЕПС), однако и в настоящее время сохраняется его традиционное название «озеро». Наиболее ранние подробные сведения о сформировавшейся гидрохимической структуре озера Донузлав и поле течений в нем приведены в работах [1, 2]. Промышленная добыча песка в озере началась в 1962 г. и продолжается в настоящее время. Разным аспектам воздействия этой деятельности на экосистему залива был посвящен ряд работ [3–6]. Добыча песка, прежде всего, существенно меняет рельеф дна и может стать причиной возникновения зон с дефицитом кислорода.

Результаты исследований, выполненных в озере Донузлав за последние годы (2015–2021 гг.), нашли отражение в монографии «Современные гидрометеорологический и гидрохимический режимы залива Донузлав», 2021 г., где основное внимание уделено гидролого-гидрохимическому режиму и динамике вод [7]. Анализ материалов, полученных по результатам экспедиций в 2018 г. [8], дает представление о современном состоянии гидролого-гидрохимической структуры залива. В этих работах показана необходимость проведения регулярных мониторинговых наблюдений за экологическим состоянием озера для предотвращения возможных последствий ведения хозяйственной деятельности для промышленного и рекреационного потенциала озера.

Цель настоящей работы – исследование гидролого-гидрохимической структуры юго-западного района озера Донузлав, подверженного антропогенному влиянию и включающего зону современной промышленной добычи песка. Основное внимание уделено результатам экспедиций 2019 г., полученным в районах добычи песка, грузового порта, мидийно-устричной фермы, а также в районе влияния хозяйственно-бытовых вод КОС «Донузлав».

Материал и методы

Исследования юго-западной части озера Донузлав проводили в апреле, мае и сентябре 2019 г. Всего выполнено три съемки, пробы отбирали на 51 станции (рис. 1) в поверхностном слое и у дна с помощью батометра БМ-48М. Температуру воды в апреле измеряли с помощью глубоководного

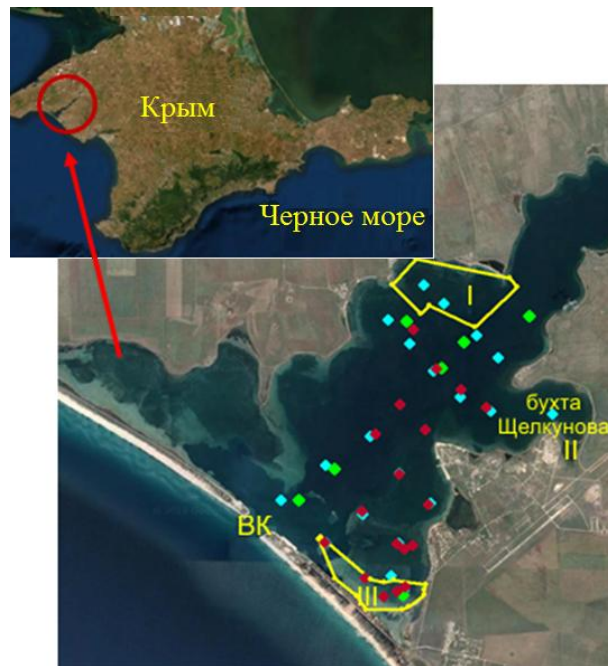


Рис . 1 . Схема отбора проб в озере Донузлав в 2019 г.: в апреле (зеленые квадраты), мае (голубые квадраты), сентябре (красные квадраты); I – мидийно-устричная ферма; II – сброс хозяйственно-бытовых вод; III – участок добычи песка; ВК – входной канал

Fig . 1 . Sampling scheme in Lake Donuzlav in 2019: April (green squares), May (blue squares), September (red squares); I – mussel-oyster farm; II – discharge of domestic water; III – sand production site; IC – input channel

опрокидывающегося термометра ТГ, а в мае и сентябре – при помощи оптического биофизического зондирующего комплекса «Кондор» (URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multit>). Отобрано 79 проб воды, в которых определяли соленость (электросолемер ГМ-65), водородный показатель рН, содержание растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода за пять суток (БПК₅), перманганатную окисляемость в щелочной среде, содержание кремния, а также минеральных и органических форм азота и фосфора.

Анализ проб проводили согласно нормативным документам¹⁾. Концентрацию растворенного кислорода в морской воде определяли йодометрическим методом Винклера. Диапазон концентраций составляет от 0.1 мл/дм³ до состояния насыщения, показатель погрешности методики выполнения измерений (МВИ) – 3.4 %. Определение содержания растворенного неорганического фосфора проводилось по методу Морфи и Райли. Диапазон

¹⁾ РД 52.24.420-2019, РД 52.24.383-2018, РД 52.24.380-2017, РД52.24.381-2017, РД 52.24.382-2019, РД 52.24.432-2018, РД 52.10.805-2013, РД 52.24.387-2019.

определений: $5 \div 1000$ мкг/дм³, МВИ – 4.6 %. Определение растворенного неорганического кремния проводили колориметрически методом Королева. Диапазон определения: $10 \div 2000$ мкг/дм³, МВИ: $5.8 \div 4.7$ %. Нитритный азот определяли по методу, основанному на образовании азокраски, при взаимодействии нитрита с сульфаниламидом солянокислым и альфа-нафтилэтилен-диамином. Диапазон определения: $0.5 \div 100$ мкг/дм³, МВИ: $18.0 \div 1.5$ %. Определение нитратного азота проводили после его восстановления на кадмиевых колонках до нитритного азота. Диапазон определения составлял: $5 \div 500$ мкг/дм³ при МВИ: $7 \div 2.7$ %. Аммонийный азот определяли с помощью модифицированного метода Сэджи – Солорзано. Диапазон определения концентраций аммонийного азота: $15 \div 1500$ мкг/дм³, МВИ: $11.4 \div 1.7$ %.

Результаты и обсуждение

Съемка 8 апреля 2019 г. Добыча песка во время съемки не осуществлялась. По данным МГС Евпатория (URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Евпатории) температура воздуха в первой декаде апреля утром опускалась до 6 °С и повышалась до 21 °С днем. В период наблюдений преобладал ветер восточных, северо-восточных направлений со скоростью 2–5 м/с.

Температура и соленость. Температура воды в поверхностном слое характеризовалась незначительной пространственной изменчивостью, менялась в диапазоне 10.6–10.8 °С, и лишь к 15 часам в мелководном районе добычи песка вода прогревалась до 12.6 °С. Температура воды незначительно понижалась с глубиной. Так, на станциях вдоль фарватера на глубинах более 10 м значение температуры воды составляло 9.6–10.0 °С. Значения солености поверхностного слоя воды менялись от 17.85 ЕПС в районе фермы до 18.05 ЕПС в районах добычи песка и входного канала. С глубиной соленость менялась незначительно.

Гидрохимические показатели. Исследования показали высокую концентрацию кислорода во всем исследуемом слое (выше 100 % насыщения) и достаточно равномерное его распределение по горизонтали. Минимальное содержание кислорода (100.4 %), отмеченное в придонном слое, было более чем в 2.5 раза выше ПДК (40 %) по нормативам качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения²⁾. БПК₅ и окисляемость в поверхностном слое имели низкие значения, которые изменялись в пределах 0.91–1.36 мгО₂/дм³ и 2.56–3.53 мгО₂/дм³ и были ниже ПДК (2.0 мгО₂/дм³ и 4.0 мгО₂/дм³) соответственно. По значениям БПК₅ и окисляемости исследуемую акваторию можно охарактеризовать как незагрязненную.

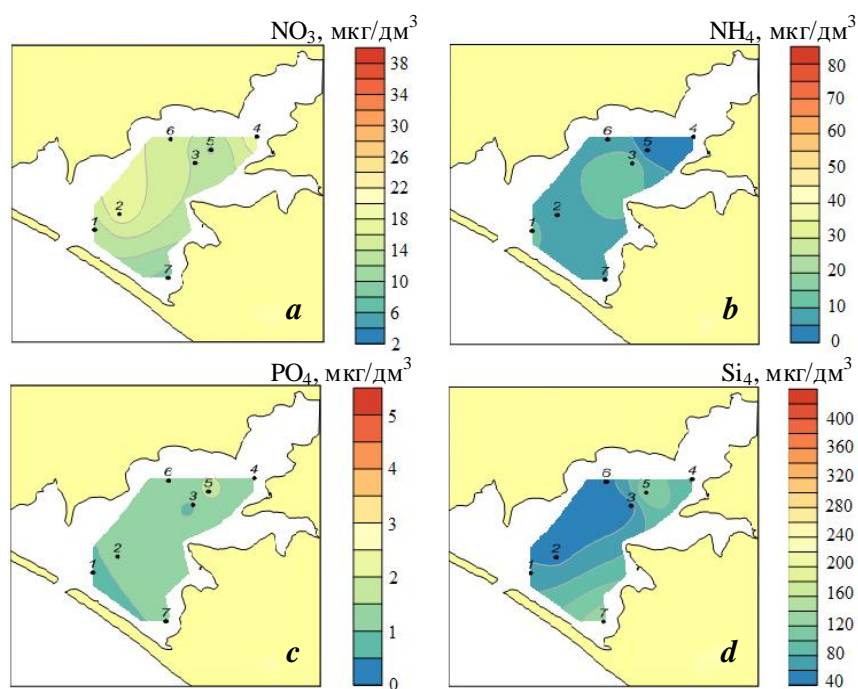
В районе добычи песка в придонном слое воды отмечено минимальное содержание кислорода и максимальное содержание органического фосфора и кремния. Концентрации минеральных форм азота и фосфора в поверхностном слое вод характеризовались следующими значениями: азот нитритный

²⁾ 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 Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552. URL: <http://agroportal2.garant.ru:81/document?id=71486774&byPara=1> (дата обращения: 11.03.2023).

и фосфор минеральный во всем слое не превышали ПДК (0.3–1.1 мкг/дм³ и 0.6–2.5 мкг/дм³). Концентрации азота нитратного изменялись от 9.2 и до 19.1 мкг/дм³, а азота аммонийного – от 0.6 и до 191.8 мкг/дм³. В районе расположения мидийно-устричной фермы отмечено снижение с глубиной значений концентрации нитратов и повышение концентраций азота аммонийного.

Распределение концентраций кремния, как и концентраций азота аммонийного, было неравномерным в поверхностном и придонном слоях (рис. 2). Пределы колебаний в поверхностном слое составляли 49.7–137.4 мкг/дм³, в придонном слое – от 38.4 до 130 мкг/дм³. Максимум концентрации кремния в придонном слое совпадал с максимальной концентрацией азота аммонийного (ст. 4), а максимальная концентрация кремния (137.4 мкг/дм³) в поверхностном слое отмечена в районе добычи песка.

Органические формы фосфора и азота определяли только в поверхностном слое воды, концентрации изменялись от 6.1 до 9.5 мкг/дм³ и от 875 до 1104 мкг/дм³ соответственно. На акватории фермы и в прилегающих к ней районах отмечено повышенное содержание азота органического, в районе добычи песка – максимальное содержание фосфора органического.



Р и с . 2 . Распределение концентраций биогенных элементов в поверхностном слое: нитратов (а), азота аммонийного, (b), фосфатов (c), кремния (d); апрель 2019 г. Цифрами обозначены станции

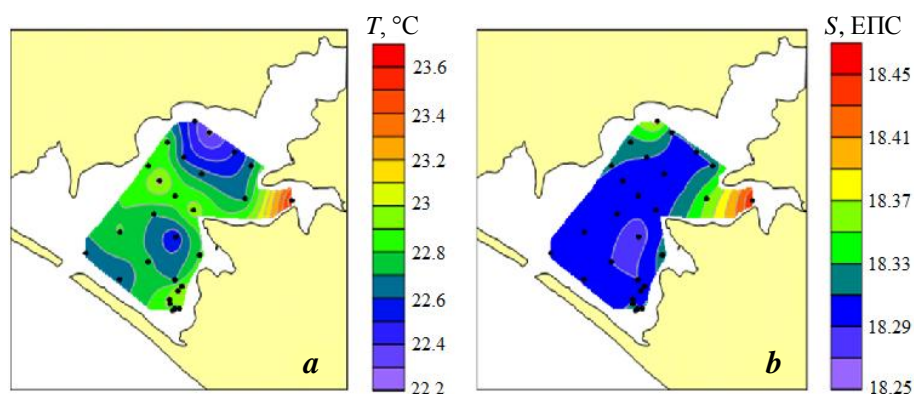
Fig. 2. Distribution of nutrient concentrations in the surface layer: nitrates (a), ammonium nitrogen (b), phosphates (c), silicon (d); April 2019. Numbers denote stations

Съемка 27 мая 2019 г. была проведена в период добычи песка. Съемке предшествовал (26 мая) ветер западного направления до 5–8 м/с (порывы до 10 м/с). Одновременно с отбором проб воды проведена съемка по учащенной схеме станций с помощью многопараметрического зонда-комплекса «КОНДОР». В результате съемки получены данные о температуре воды, а также параметры, характеризующие область распространения загрязнений. Это позволяло корректировать расположение точек отбора проб воды. Так, в районе добычи песка с глубинами менее 2 м, взмученная область была локализована и вытянута по ветру, ее горизонтальный масштаб – около 600 м [9].

Температура и соленость. В конце весеннего периода в озере происходил интенсивный прогрев вод и формирование термоклина. На мелководных участках исследуемой акватории глубиной до 4 м (в том числе и в районе добычи песка) стратификация температуры отсутствовала (рис. 3). Толща вод была однородной и прогретой до 22.9–23.3 °С. На станциях с глубинами более 8 м распределение температуры характеризовалось наличием верхнего квазиоднородного слоя толщиной 4–8 м с температурой 22.3–22.7 °С и слоя скачка толщиной 3–5 м с максимальным вертикальным градиентом 0.6 °С/м. Под слоем скачка на глубине 12–16 м температура была минимальной: 18.8–19.5 °С (рис. 4).

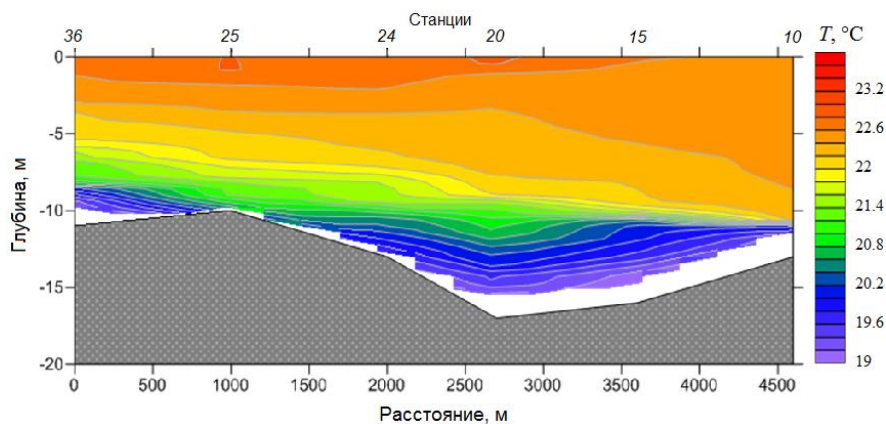
Соленость поверхностного слоя менялась в диапазоне 18.29–18.45 ЕПС, повышаясь в северо-восточном направлении и достигая максимума в мелководной бухте Щелкунова. На глубинах свыше 10 м на фарватере вертикальный градиент солености был незначительным и максимальные значения солености не превышали 18.32 ЕПС.

Гидрохимические показатели. Содержание *растворенного кислорода* характеризовалось высокими значениями. Так, в поверхностном слое его содержание доходило до 121.7 % насыщения при среднем значении, равном 109.7 %. В придонном слое насыщение кислородом было несколько ниже: среднее значение составляло 103.2 %, минимальное – 95.7 % (вблизи входного



Р и с . 3 . Распределение температуры (a) и солености (b) в поверхностном слое; май 2019 г. Точки – станции измерений

Fig . 3 . Distribution of temperature (a) and salinity (b) in the surface layer, May 2019. Points are station locations



Р и с 4 . Распределение температуры на разрезе вдоль фарватера; май 2019 г.

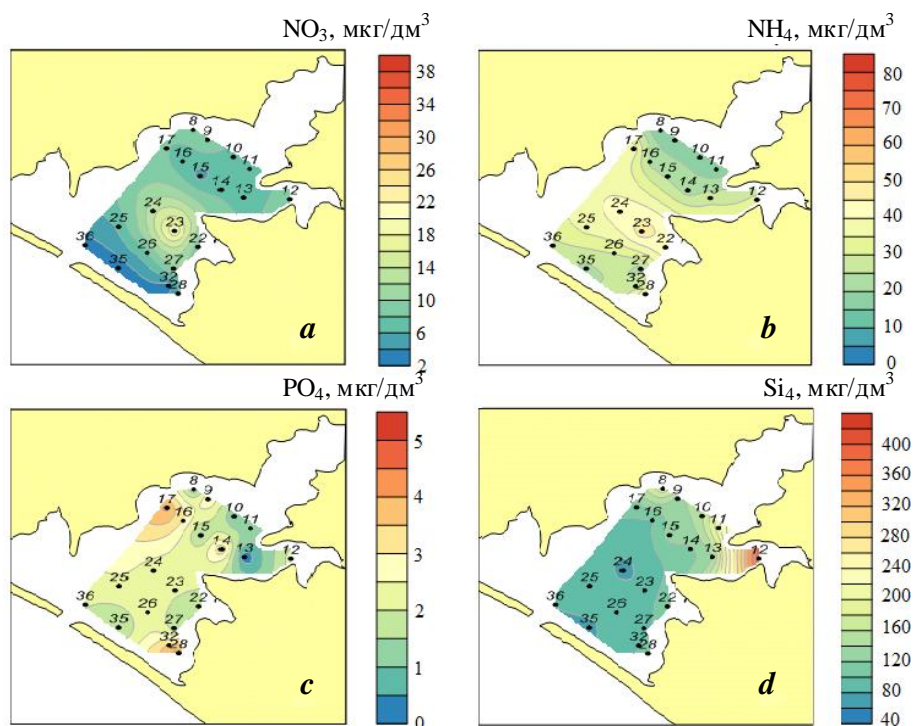
Fig . 4 . Temperature distribution at the channel transect; May 2019

канала). Кроме того, на ст. 10 и 15, расположенных по фарватеру, в придонном слое процент насыщения кислородом составлял 97.8 и 97.5 %.

БПК₅ имели низкие значения и характеризовались незначительной пространственной изменчивостью: они не превышали ПДК по рыбохозяйственным нормативам и изменялись в пределах от 1.12 до 1.97 мгО₂/дм³ при среднем для акватории значении, равном 1.54 мгО₂/дм³. Значения окисляемости, как и значения БПК₅, не превышали ПДК. Исключение составил только район добычи песка, где значение окисляемости равнялось 4.24 мгО/дм³ и превышало соответствующую ПДК на 0.24 мгО/дм³. В целом низкие значения БПК₅ и окисляемости, полученные во время съемки в мае, указывают на незначительную загрязненность исследованного района.

Концентрации минеральных форм азота и фосфора имели низкие значения и были равномерно распределены по акватории. Концентрации азота нитратного в поверхностном слое изменялись от 2.7 до 20.0 мкг/дм³ и азота аммонийного – от 8.9 до 48.4 мкг/дм³ при средних значениях, равных соответственно 8.1 и 26.2 мкг/дм³. Максимальные концентрации азота нитратного и аммонийного отмечены в районе добычи песка. Концентрации минерального фосфора, как и минерального азота, имели низкие значения (от 0.1 до 5.4 мкг/дм³) при среднем значении для поверхностного слоя, равном 2.2 мкг/дм³. Максимальное значение отмечено в районах устричной фермы и добычи песка.

Распределение концентраций минеральных форм азота, фосфора и кремния в поверхностном слое озера представлено на рис. 5. Концентрации фосфатов в мае превышали апрельские значения почти в два раза. Концентрации минеральных форм азота в поверхностном слое озера Донузлав в 2019 и 2018 гг. не различались. Распределение значений концентраций кремния во время съемки было неравномерным, пределы его колебаний в поверхностном слое составляли 44.1–409.8 мкг/дм³ при среднем значении, равном 111.3 мкг/дм³. Максимальное количество кремния обнаружено в районе влияния хозяйственно-бытового стока. Средние концентрации кремния в мае были почти в 1.5 раза выше апрельских. Значения концентраций органических форм



Р и с . 5 . Распределение концентраций биогенных элементов в поверхностном слое: нитратов (а), азота аммонийного (b), фосфатов (с), кремния (d); май 2019 г. Цифрами обозначены станции

Fig. 5. Distribution of concentrations of biogenic elements in the surface layer: nitrates (a), ammonium nitrogen (b), phosphates (c), silicon (d); May 2019. Numbers denote stations

азота и фосфора изменялись в поверхностном слое от 643 до 1426 мкг дм³ и от 11.4 до 20.1 мкг/дм³. В районе добычи песка наблюдали повышение содержания органических форм и азота, и фосфора.

Перманганатный метод определения окисляемости позволяет косвенно получить ориентировочную оценку содержания в воде растворенного органического вещества. Значение 0.34, по Скопинцеву³⁾, складывается из отношения кислорода окисляемости в слое 0–50 м (1.22 мг/дм³) к органическому углероду (3.6 мг/дм³). В среднем для слоя 0–50 м отношение равно 0.34. Используя значения полученной нами перманганатной окисляемости и коэффициента 0.34, мы рассчитали содержание растворенного органического углерода ($C_{\text{ров}}$) в поверхностном слое. Диапазон изменений $C_{\text{ров}}$ составил 8.09–12.47 мгС/дм³. Максимум зафиксирован в районе добычи песка (ст. 28), минимум – в районе мидийно-устричной фермы.

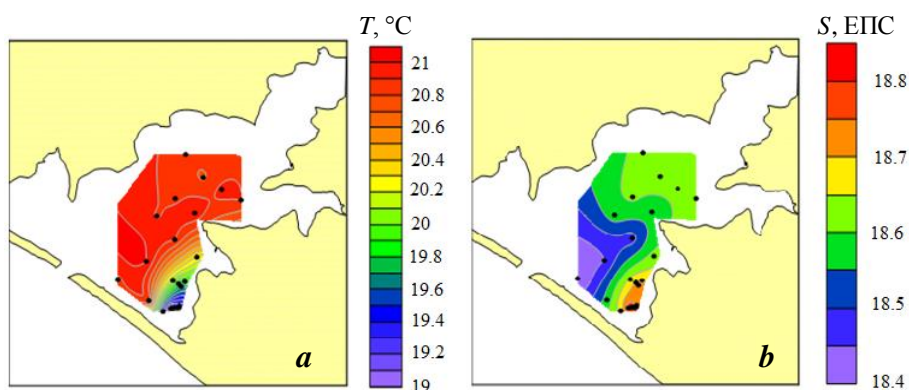
³⁾ Скопинцев Б. А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. Ленинград : Гидрометеиздат, 1975. 335 с.

Съемка 16 сентября 2019 г. По данным МГС Евпатория, температура воздуха 15–16 сентября изменялась от 13 до 23.8 °С. 15 сентября преобладал ветер северо-восточных направлений со скоростью 3–6 м/с, а в день работ поменялся на западный, юго-западный, скорость ветра составляла 3–5 м/с. Объемы добычи песка в этот день были снижены, сброс возвратных вод происходил непостоянно и с разной интенсивностью. Поэтому размеры области повышенной концентрации взвешенных веществ были менее значимы, чем 27 мая 2019 г. Пятно взвеси было вытянутым вдоль берега на северо-восток.

Температура и соленость. В сентябре начинается осеннее выхолаживание вод и выравнивание температуры по всей толще воды. Так, 15–16 сентября температура воздуха ночью опускалась до 13 °С, а днем повышалась до 24 °С. Локальный минимум температуры (19 °С) отмечен в районе добычи песка, на большей же части района исследований температура была около 21 °С (рис. 6). До глубины 17 м температура воды была почти однородной. Соленость менялась в диапазоне 18.4–18.8 ЕПС, повышаясь от входного канала к средней части озера. Максимальные значения солености (18.8 ЕПС) зафиксированы в мелководном районе добычи песка.

Гидрохимические показатели. Распределение кислорода на акватории в позднелетний сезон было достаточно равномерным. Его содержание в поверхностном слое воды изменялось от 89.9 до 108.7 % насыщения, а в придонном слое – от 89.9 до 108.7 %. Минимальные значения отмечены на границе района добычи песка с прилегающей акваторией; максимальные значения зафиксированы в районе фарватера.

Значения БПК₅ изменялись в поверхностном слое от 0.73 до 1.95 мг/дм³ и не превышали ПДК. Максимальное значение БПК₅ отмечено в районе добычи песка. Окисляемость изменялась от 3.29 до 5.37 мгО/дм³. Минимальное значение наблюдали в районе порта на глубине 9 м, а максимальное, превышающее ПДК на 1.37 мгО/дм³, – в поверхностном слое той же станции. В районе добычи песка значения окисляемости превышали ПДК в результате влияния сброса возвратных вод.

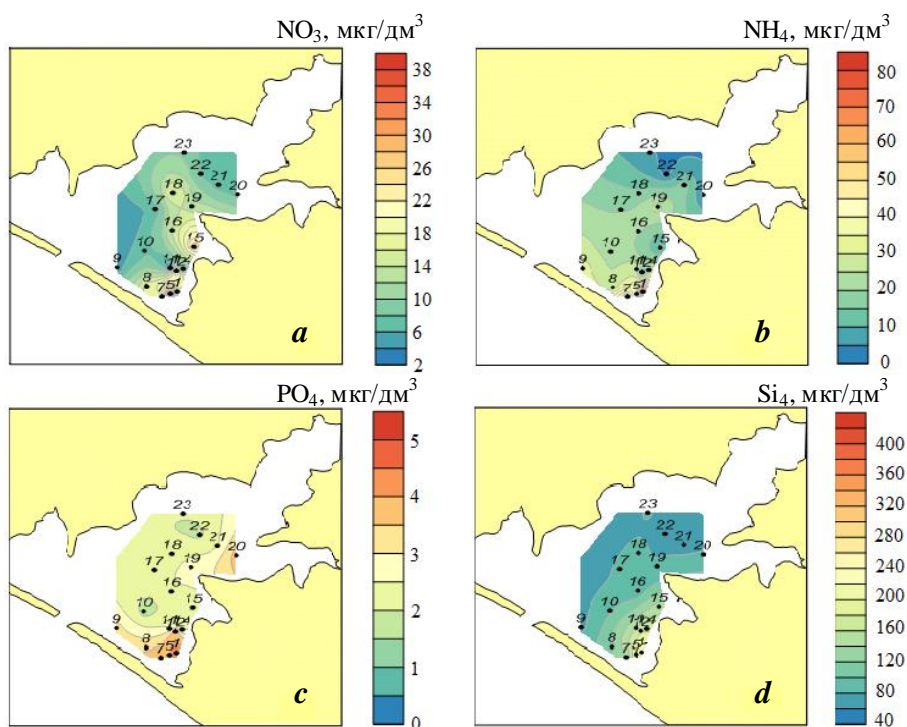


Р и с . 6 . Распределение температуры (а) и солености (b) в поверхностном слое; сентябрь 2019 г. Точки – станции измерений

Fig . 6 . Distribution of temperature (a) and salinity (b) in the surface layer September 2019. Points are station locations

Рассчитанное по окисляемости содержание $C_{\text{ров}}$ изменялось во время съемки от 9.68 до 15.79 мгС/дм³ и приближалось к диапазонам изменчивости значений $C_{\text{ров}}$, полученных в мае (8.09–12.47 мгС/дм³) на акватории озера До-нузлав.

Концентрации азота нитритного и фосфора минерального, как и в предыдущей съемке, имели низкие значения и равномерное распределение по площади (рис. 7). Концентрации азота нитритного в поверхностном и придонном слоях изменялись от 0.2 до 1.2 мкг/дм³, фосфора минерального – от 1.5 до 4.6 мкг/дм³. Распределение концентраций азота нитратного, азота аммонийного, а также кремния было неравномерно по площади и по вертикали. Максимальные значения концентрации нитратов (38.0 мкг/дм³) в поверхностном и придонных слоях (42.4 мкг/дм³) зафиксированы в районах порта и добычи песка. Концентрации азота нитратного на остальных станциях распределены достаточно равномерно, их средние значения составляли 13.4 мкг/дм³ в поверхностном и 12.6 мкг/дм³ в придонном слое. Концентрации азота аммонийного в поверхностном слое изменялись от 3.2 мкг/дм³ до 78.8 мкг/дм³ при среднем значении, равном 24.5 мкг/дм³. Максимальное значение концентрации азота аммонийного отмечено в поверхностном слое района добычи песка.



Р и с . 7 . Распределение концентраций биогенных элементов в поверхностном слое: нитратов (а), азота аммонийного (b), фосфатов (c), кремния (d); сентябрь 2019 г. Цифрами обозначены станции

F i g . 7 . Distribution of concentrations of biogenic elements in the surface layer: nitrates (a), ammonium nitrogen (b), phosphates (c), silicon (d); September 2019. Numbers denote stations

Распределение концентраций кремния в поверхностном слое изменялось от 73.3 до 211.5 мкг/дм³ при среднем значении, равном 119.7 мкг/дм³. Повышенные значения отмечены как в районе добычи песка (ст. 1, 5–8), так и в пятне взвеси, которое наблюдали до ст. 11–15. На остальной акватории зафиксированы низкие концентрации кремния.

Концентрации органического азота и органического фосфора на акватории распределялись следующим образом: в районах влияния сброса хозяйственно-бытовых вод КОС и добычи песка отмечены повышенные (от 1033 до 1297 мкг/дм³) концентрации органического азота. На остальной акватории значения были существенно ниже и изменялись от 703 до 885 мкг/дм³. Распределение концентраций фосфора органического было аналогично распределению концентраций азота органического: повышенные значения (от 18.6 до 30.9 мкг/дм³) наблюдали в тех же районах, где отмечено повышение содержания азота органического, а пониженные (от 17.6 до 26.9 мкг/дм³) – там, где наблюдали уменьшение содержания азота органического.

Заключение

Пространственное распределение термохалинных характеристик вод озера Донузлав отличается большой неоднородностью. Весной в озере происходит интенсивный прогрев воды и формирование термической стратификации. Во второй половине сентября начинается осеннее выхолаживание вод и вертикальное распределение температуры характеризуется однородностью по всей толще воды. Проведенные гидрохимические исследования свидетельствуют о высокой концентрации кислорода в водах озера. Минимальные концентрации растворенного кислорода не снижались до значений ПДК. Случаев дефицита кислорода за период исследований не обнаружено. Все значения БПК₅ были ниже ПДК. Антропогенное воздействие на озеро Донузлав в районах добычи песка, расположения порта и выпуска хозяйственно-бытовых сточных вод заключается в локальном повышении окисляемости и концентрации биогенных веществ, а также органического фосфора и азота. Максимальные значения концентраций минеральных и органических форм азота и фосфора отмечены в районе добычи песка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немировский М. С., Ковригина Н. П. Динамика вод озера Донузлав // Экология моря. 2000. Т. 51. С. 10–13. EDN UCAESN.
2. Ковригина Н. П., Немировский М. С. Гидрохимическая характеристика вод озера Донузлав по данным 1990–1997 гг. // Экология моря. 1999. Т. 48. С. 10–14. EDN XWPTJB.
3. Зуев Г. В., Болтачев А. Р. Влияние подводной добычи песка на экосистему лимана Донузлав // Экология моря. 1999. Т. 48. С. 5–9. EDN XWPTIR.
4. Влияние промышленной разработки месторождений песка на состояние экосистемы оз. Донузлав / Л. К. Себах [и др.] // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна : материалы II международной конференции. Керчь, 26–27 июня 2006 г. Керчь : ЮГНИРО, 2006. С. 71–79. URL: <https://aquadocs.org/handle/1834/9450> (дата обращения: 12.02.2023).
5. Состояние качества водной среды и донных отложений озера Донузлав в современный период / С. С. Жугайло [и др.] // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 1. С. 32–38. EDN VTMJOO. doi:10.47921/2619-1024_2018_1_1_32

6. *Иванютин Н. М.* Современное экологическое состояние озера Донузлав // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 3(79). С. 47–58. EDN FWRWYI. doi:10.23968/2305-3488.2019.24.3.47-58
7. Современные гидрологический и гидрохимический режимы залива Донузлав / под ред. Н. Н. Дьякова, В. В. Фомина. Севастополь, 2021. 464 с. EDN SYFWYC.
8. Гидролого-гидрохимические и гидробиологические исследования озера Донузлав (Западный Крым, Черное море) по результатам экспедиций 2018 года / В. И. Рябушко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 2. С. 80–93. EDN NNRDGA. doi:10.22449/2413-5577-2021-2-80-93
9. Контроль системы течений и полей концентрации общего взвешенного и растворенного органического веществ в озере Донузлав в мае 2019 года / П. Д. Ломакин [и др.] // Системы контроля окружающей среды. 2021. № 1. С. 87–94. EDN CTALSR. doi:10.33075/2220-5861-2021-1-87-94

Поступила 20.07.2022 г.; одобрена после рецензирования 10.10.2023 г.; принята к публикации 01.02.2023 г.; опубликована 24.03.2023 г.

Об авторах:

Рябушко Виталий Иванович, главный научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), доктор биологических наук, **ORCID ID: 0000-0001-5052-2024**, **Scopus Author ID: 7801673501**, **ResearcherID: H-4163-2014**, *rabushko2006@yandex.ru*

Щуров Сергей Вячеславович, научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), **ORCID ID: 0000-0002-8913-2637**, **Scopus Author ID: 57214992790**, **ResearcherID: AAC-9044-2022**, *skrimea@mail.ru*

Ковригина Неля Петровна, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-6734-8285**, **Scopus Author ID: 6507114864**, *maricultura@mail.ru*

Чепыженко Алексей Ильич, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, 2), кандидат технических наук, **ResearcherID: AAG-7929-2020**, **Scopus Author ID: 6504344211**, **IstinaResearcherID (IRID): 6647872**, *ecodevice@yandex.ru*

Заявленный вклад авторов:

Рябушко Виталий Иванович – постановка цели и задач комплексного исследования, редактирование рукописи

Щуров Сергей Вячеславович – организация и руководство экспедицией, гидрологические работы

Ковригина Неля Петровна – гидрохимические работы

Чепыженко Алексей Ильич – комплекс гидрофизических исследований

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.