

**Гидролого-гидрохимические и гидробиологические
исследования озера Донузлав
(Западный Крым, Черное море)
по результатам экспедиций 2018 года**

В. И. Рябушко*, С. В. Щуров, Н. П. Ковригина, М. А. Попов

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

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

Поступила 3.02.2021 г.; принята к публикации 28.04.2021 г.; опубликована 25.06.2021 г.

Экосистема уникального озера Донузлав испытывает значительную антропогенную нагрузку на протяжении длительного периода. Поэтому для оценки долговременных изменений, происходящих в озере, необходимы регулярные мониторинговые исследования. В июне и октябре 2018 г. на акватории озера проведены комплексные гидролого-гидрохимические и гидробиологические исследования. Температуру, соленость, водородный показатель pH, содержание растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода за пять суток, перманганатную окисляемость, концентрацию кремния, минеральных и органических форм азота и фосфора, численность и биомассу фитопланктона определяли стандартными методами. Показано, что термохалинная структура вод непосредственно влияет на распределение гидрохимических и гидробиологических показателей. На мелководье зафиксировано пониженное содержание кислорода вследствие сильного прогрева и слабого водообмена, но дефицита кислорода не обнаружено. Мидийно-устричные фермы и хозяйственно-бытовые сточные воды оказывают существенное влияние на экологическое состояние озера. В этих местах отмечены особенно высокие значения биохимического потребления кислорода за пять суток и окисляемости, а также максимальные концентрации органических форм азота и фосфора. Установлено, что биомасса фитопланктона увеличивается, а видовое разнообразие уменьшается по мере удаления от моря и приближения к кутовой части озера. Потенциально токсичная водоросль *Dinophysis sacculus* встречена в небольшом количестве, не влияющем на пищевую ценность моллюсков. Для оценки долговременных изменений фитопланктонного сообщества и его кормовых запасов необходимы регулярные мониторинговые исследования озера Донузлав в различные сезоны.

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

© Рябушко В. И., Щуров С. В., Ковригина Н. П., Попов М. А., 2021



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 теме государственного задания 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 АААА-А18-118021350003-6.

Для цитирования: 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. doi:10.22449/2413-5577-2021-2-80-93

Hydrological, Hydrochemical and Hydrobiological Studies of Lake Donuzlav (Western Crimea, Black Sea) Based on the Results of Expeditions in 2018

V. I. Ryabushko*, S. V. Shchurov, N. P. Kovrigina, M. A. Popov

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

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

Submitted 03.02.2021; revised 28.04.2021; published 25.06.2021

The ecosystem of unique Lake Donuzlav has been under significant anthropogenic pressure over a long period. Therefore, to assess the long-term changes occurring in the lake, regular monitoring studies are required. In June and October 2018, complex hydrological, hydrochemical and hydrobiological studies were carried out in the lake water area. Temperature, salinity, pH, dissolved oxygen content, biochemical oxygen demand on the fifth day (BOD₅), permanganate oxidizability, concentration of silicon, mineral and organic forms of nitrogen and phosphorus, abundance and biomass of phytoplankton were determined by standard methods. It is shown that the thermohaline structure of waters directly affects the distribution of hydrochemical and hydrobiological indicators. In shallow water, a low oxygen content was recorded due to significant heating and poor water exchange, but no oxygen deficiency was found. Mussel and oyster farms and sewage have a significant impact on the ecological state of the lake. Especially high values of BOD₅, oxidizability, maximum concentrations of organic forms of nitrogen and phosphorus were noted in these places. It was found that the biomass of phytoplankton increases and the species diversity decreases with distance from the sea to the apex part of the lake. Potentially toxic alga *Dinophysis sacculus* is found in small quantities, which does not affect the nutritional value of the molluscs. To assess the long-term changes in the phytoplankton community and its food reserves, regular monitoring studies of Lake Donuzlav are required in different seasons.

Keywords: hydrological and hydrochemical structure, biogenic elements, phytoplankton, Lake Donuzlav, Crimea, Black Sea.

Acknowledgements: the work was funded under state order АААА-18-118021350003-6 of IBSS 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”.

For citation: Ryabushko, V.I., Shchurov, S.V., Kovrigina, N.P., and Popov, M.A., 2021. Hydrological, Hydrochemical and Hydrobiological Studies of Lake Donuzlav (Western Crimea, Black Sea) based on the Results of Expeditions in 2018. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 80–93. doi:10.22449/2413-5577-2021-2-80-93 (in Russian).

Введение

Озеро Донузлав является уникальным полузакрытым морским заливом, расположенным у западного побережья Крыма, однако и в настоящее время сохраняется его традиционное географическое название «озеро» (рис. 1). Кутовая часть озера, узкая, с глубинами 3–4 м, примыкает к пресноводному участку, отгороженному дамбой. Широкая южная часть озера и прибрежные районы являются наиболее мелководными и имеют глубины 1–3 м. В средней части озера типичные глубины составляют 7–15 м, в районе центральной котловины 20–26 м, максимальная глубина – 29 м.

До 1961 г. озеро не имело связи с морем и было вторым по величине в Крыму озером с высокой соленостью (90–95 ‰). Результаты первых исследований гидрохимического режима озера, проведенных после соединения с морем, даны в работе Е. Ф. Шульгиной [1]. Гидрохимические и динамические данные, собранные нами в 1990–1997 гг., спустя 30 лет после прорытия канала, представлены в работах Н. П. Ковригиной и М. С. Немировского [2, 3]. На протяжении длительного периода экосистема озера испытывает значительную антропогенную нагрузку. К основным негативным факторам, влияющим на состояние экосистемы озера после ликвидации базы Черноморского флота, следует отнести промышленную добычу песка [4, 5] и сброс сточных вод. В последнее время опубликованы новые исследования, дающие представление об экологическом состоянии озера [6–9].

Защищенность водоема от ветров, его стабильные гидролого-гидрохимические характеристики, глубины более 10 м, а также наличие естественных



Р и с . 1 . Схема отбора проб в озере Донузлав: июнь 2018 г. (зеленые квадраты) и октябрь 2018 г. (желтые квадраты)

Fig. 1. Sampling scheme in Lake Donuzlav: June 2018 (green squares) and October 2018 (yellow squares)

популяций моллюсков и рыб делает оз. Донузлав перспективным для промышленного культивирования рыб, моллюсков и водорослей. В настоящее время в акватории озера эффективно работают пять крупных мидийно-устричных ферм. Обширная мелководная зона также позволяет использовать побережье Донузлава для развития рекреационного сектора и индустрии туризма. В связи с этим в местах расположения ферм, добычи песка, а также в районе влияния хозяйственно-бытовых вод и сопредельных акваториях необходимо продолжение мониторинговых гидрохимических и гидробиологических работ в разные сезоны.

Целью настоящей работы является исследование состояния вод оз. Донузлав по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим материалам, полученным в июне и октябре 2018 г.

Материал и методы

Во время экспедиций 20–21 июня и 5 октября 2018 г. нами проведены две съемки гидрологических, гидрохимических и гидробиологических параметров вод оз. Донузлав. Пробы отбирали с помощью батометра БМ-48 на 20 станциях на поверхности и у дна (рис. 1). Всего отобрано 28 проб воды, в которых определяли температуру (глубоководный опрокидывающийся термометр ТГ), 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 проводился согласно методикам¹⁾. В июне отобрано шесть проб воды для исследования фитопланктона. Пробы отбирали с поверхности в емкости 1.5 л. Фитопланктон из воды концентрировали методом обратной фильтрации через мембранные фильтры с диаметром пор 1 мкм. Обработку проб проводили на микроскопе МБИ-3 и *Jenaval*. Расчет численности и биомассы фитопланктона проводили с помощью программы «Глория», разработанной в ИнБЮМ [10].

Результаты и обсуждение

В летнее время (20–21 июня 2018 г.) съемка охватывала семь станций, расположенных по фарватеру озера, пробы отбирали только на поверхности (рис. 1). Следует отметить, что ст. 2, 4–6 находились на участках мидийно-устричных ферм, а ст. 1 – на мористой части косы Южной. Результаты гидролого-гидрохимических исследований представлены в табл. 1.

Температура и соленость. Температура поверхности воды изменялась в диапазоне от 23.4 °С в море (ст. 1) до 27.0 °С в мелководной части озера (ст. 3 и 7). Соленость менялась в узком диапазоне от 18.43 до 18.59 ‰, за исключением мористой (18.01 ‰) и кутовой части озера (ст. 3, 17.90 ‰). Пониженное значение солености в кутовой части объясняется наличием пресноводных источников.

Абсолютное содержание кислорода распределено на поверхности неравномерно и характеризуется большим разбросом значений. Минимальное

¹⁾ Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 264 с.

Таблица 1. Средние и экстремальные значения гидрохимических показателей на поверхности озера Донузлав в июне 2018 г.
Table 1. Average and extremes values of hydrochemical surface characteristics at Lake Donuzlav in June 2018

Значения / Values	S, %	O ₂ ³ и % / O ₂ ³ and %	БПК ₅ ³ / мгО ₂ /дм ³ / BOD ₅ ³ / mgO ₂ /dm ³	pH <i>in situ</i>	NO ₂ ³ / мг/дм ³ / NO ₂ ³ / µg/dm ³	NO ₃ ³ / мг/дм ³ / NO ₃ ³ / µg/dm ³	NH ₄ ³ / мг/дм ³ / NH ₄ ³ / µg/dm ³	N _{орг} ³ / мг/дм ³ / N _{орг} ³ / µg/dm ³	PO ₄ ³ / мг/дм ³ / PO ₄ ³ / µg/dm ³	P _{орг} ³ / мг/дм ³ / P _{орг} ³ / µg/dm ³	Si, мг/дм ³ / Si, µg/dm ³	Окисляемость, мгО/дм ³ / Oxidizability, mgO/dm ³
Мин / Min	17.90	8.36 110.8	1.92	8.32	0.4	2.8	9.40	319	1.7	2.1	83.7	3.84
Макс / Max	18.59	14.79 205.6	4.69	8.86	0.7	7.5	96.6	867	3.8	19.2	734.5	6.32
Среднее / Average	18.36	10.24 137.4	3.5	8.43	1.2	5.7	38.6	536	2.8	10.3	493.1	4.90

содержание кислорода отмечено на мелководье (ст. 2, 4 и 5), возможно, это следствие сильного прогрева воды и слабого водообмена. В глубоководной части озера (ст. 1) абсолютное содержание кислорода имело значение 11.17 мгО₂/дм³.

Максимальная концентрация кислорода (14.79 мгО₂/дм³) зафиксирована на ст. 3 (рис. 2). На этой станции отмечена высокая биомасса фитопланктона, 93 % которого составляли крупноклеточные диатомовые водоросли. На ст. 1 также доминировали диатомовые, высокая численность которых была обусловлена наличием мелких водорослей. В кутовой части озера и на взморье преобладали диатомовые водоросли, которые не являются кормовым фитопланктоном для культивируемых моллюсков.

В районе ст. 3 отмечены максимальные значения БПК₅ (4.69 мгО₂/дм³) и окисляемости (6.32 мгО/дм³), превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК) по рыбохозяйственным нормативам в 2.3 и 1.6 раза соответственно (рис. 3). В период съемки концентрации БПК₅ превышали ПДК на четырех из семи станций, а значения окисляемости – на шести из семи станций, что говорит о загрязнении вод стоками различного происхождения.

Концентрации минеральных форм азота и фосфора имеют низкие значения: нитриты (NO₂) – от 0.4 до 2.7 мг/дм³, нитраты (NO₃) – от 2.8 до 7.5 мг/дм³ и фосфаты (PO₄) – от 1.7 до 3.8 мг/дм³. Исключение составляют концентрации аммонийного азота (NH₄), которые изменялись от 9.4 до 96.6 мг/дм³ при среднем значении, равном 38.5 мг/дм³. Максимальная концентрация аммонийного и органического азота (N_{орг}) зафиксирована в районе фермы ст. 5 (рис. 4). Там же отмечено и максимальное содержание органического фосфора (P_{орг}), что свидетельствует о влиянии мидийно-устричной фермы на экологическое состояние вод оз. Донузлав.

Общая численность фитопланктона изменялась от 12 до 419 млн кл./м³ (табл. 2).

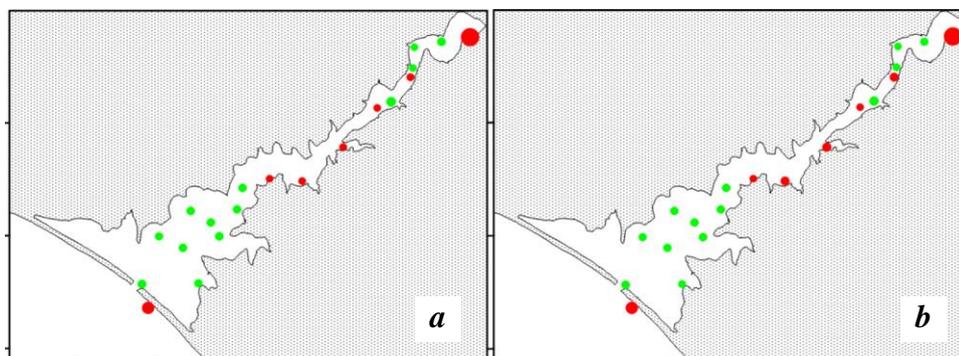


Рис. 2. Распределение концентраций растворенного кислорода на поверхности в июне 2018 г. (красные круги) и в октябре 2018 г. (зеленые круги): *a* – O₂, мг/дм³; *b* – O₂, %

Fig. 2. Distribution of concentrations of dissolved oxygen on the surface in June 2018 (red circles) and October 2018 (green circles): *a* – O₂, mg/dm³; *b* – O₂, %;

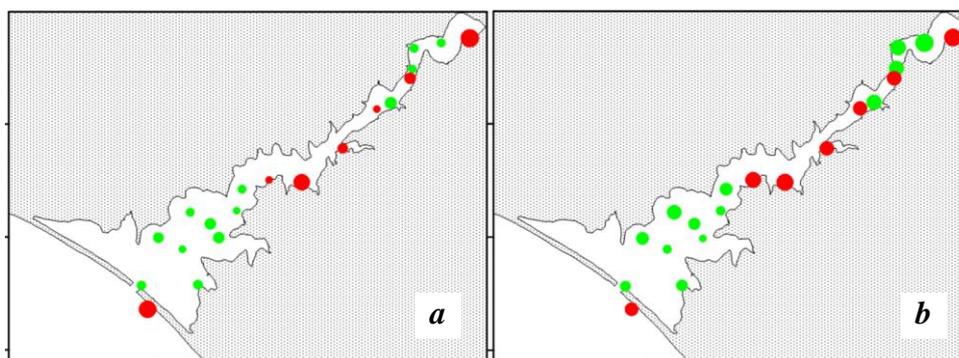


Рис. 3. Распределение значений БПК₅ (*a*) и окисляемости (*b*) на поверхности в июне 2018 г. (красные круги) и октябре 2018 г. (зеленые круги)

Fig. 3. Distribution of values of BOD₅ (*a*) and oxidizability (*b*) on the surface in June 2018 (red circles) and October 2018 (green circles)

Минимальная численность отмечена в кутовой части (ст. 3), максимальная – в районе фермы, на северном берегу ближе к кутовой части (ст. 2). Суммарная биомасса варьировала в пределах 35–296 мг/м³. При наименьшей численности фитопланктона в кутовой части озера отмечена его наибольшая биомасса. Такое распределение объясняется доминированием на ст. 3 крупноклеточной диатомовой водоросли *Coscinodiscus* sp. (93 % по численности и 98 % по биомассе).

В открытом море (ст. 1) по биомассе также преобладали крупноклеточные диатомовые водоросли *Pseudosolenia calcar-avis*. Достаточно большая численность фитопланктона (табл. 2) на этой станции обусловлена наличием мелких водорослей *Cryptomonas* sp. Таким образом, в кутовой части озера и в море преобладали крупноклеточные диатомовые, которые не являются кормовым фитопланктоном для культивируемых на фермах моллюсков.

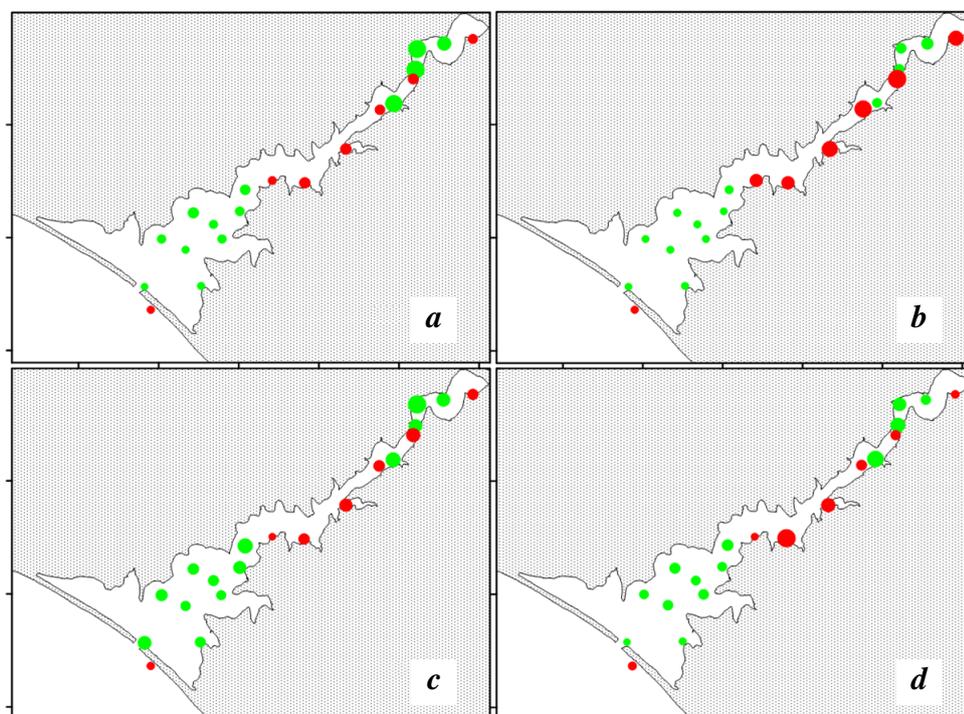


Рис. 4. Распределение концентраций биогенных элементов на поверхности в июне 2018 г. (красные круги) и октябре 2018 г. (зеленые круги): нитратов (а), кремния, (b), фосфатов (с), азота аммонийного (d)

Fig. 4. Distribution of concentrations of biogenic elements on the surface in June 2018 (red circles) and October 2018 (green circles): nitrates (a), silicon, (b), phosphates (c), ammonium nitrogen (d)

Таблица 2. Численность и биомасса фитопланктона в июне 2018 г. в оз. Донузлав

Table 2. Number and biomass of phytoplankton in June 2018 in Lake Donuzlav

Номер станции / Station no.	Численность, млн кл./м ³ / Number, M cell/m ³	Биомасса, мг/м ³ / Biomass, mg/m ³	Температура, °С / Temperature, °С
1	343	115	23.4
2	419	52	23.4
3	12	296	27.0
4	26	194	25.0
5	30	83	24.6
6	310	35	24.4

В акваториях мидийно-устричных ферм (ст. 5 и 6) фитопланктон достаточно беден. На ст. 6 в фитопланктоне по биомассе преобладала динофитовая водоросль *Prorocentrum micans*, которая не является ценным кормовым объектом, хотя и может потребляться моллюсками-фильтраторами. На ст. 5 по численности доминировала диатомовая *Thalassionema nitzschioides*, которая хорошо усваивается моллюсками; она же присутствовала и на ст. 6 в достаточном количестве. На ст. 5 и 6 обнаружена потенциально ядовитая водоросль *Dinophysis sacculus* в небольшом количестве, не влияющем на пищевую ценность моллюсков.

В кутовой части озера (ст. 2, ферма) по численности доминировала мелкая водоросль *Cryptomonas* sp., а по биомассе – цисты динофитовых водорослей (некормовой фитопланктон). Динофитовая водоросль *Prorocentrum micans* присутствовала в достаточном количестве. Кормовой фитопланктон представлен на этой ферме наиболее бедно, но в пробе отмечено большое количество детрита, который может быть пищей для моллюсков-фильтраторов.

В акватории фермы, расположенной в бухте (ст. 4, с. Новоозерное), планктон отличался по составу от планктона на других станциях: в пробах присутствовало большое количество представителей микрофитобентоса и взвешенного детрита. По численности и биомассе здесь преобладала кормовая диатомовая водоросль *Cocconeis scutellum*. Вероятно, такой состав фитопланктона на ст. 4 может быть обусловлен влиянием субмаринной разгрузки водоносных горизонтов в бухте.

Сравнение состояния фитопланктонного сообщества, оцененного нами в июне 2008 [11] и 2018 гг., показало, что биомасса микроводорослей увеличивается, а видовое разнообразие уменьшается от мористой к кутовой части озера. В целом такое распределение фитопланктона отражает его состояние в оз. Донузлав в летний сезон.

В осенний период (5 октября 2018 г.) съемка проведена на 13 станциях (см. рис. 1), которые располагались вдоль фарватера (ст. 1, 2, 5, 7, 8), в районах мидийно-устричных ферм (ст. 9, 10, 13), дачного поселка (ст. 3) и кутовой части озера (ст. 11, 12). Средние и экстремальные значения гидрохимических показателей представлены в табл. 3.

Температура и соленость. По данным МГС Евпатория (URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Евпатории) температура воздуха в день наблюдений утром опускалась до 8 °С и повышалась до 17 °С днем. Отсутствие облачности способствовало выхолаживанию поверхностного слоя воды. Так, температура воды на поверхности менялась от 17.0 °С в районе дачного поселка (ст. 3) до 19.0 °С в районе входного канала (ст. 1). В придонных горизонтах вдоль судоходного канала (10–20 м) температура воды сохранялась в диапазоне 17.7–18.0 °С. Соленость поверхностного слоя увеличивалась от 18.05 (ст. 1) до 18.80 ‰ (ст. 10). Пониженные значения температуры и солености отмечены в кутовой части озера на ст. 11 (16.50 °С и 17.57 ‰).

Абсолютные концентрации кислорода в воде варьировали от 8.27 до 9.59 мг/дм³ на поверхности и от 8.06 до 9.43 мг/дм³ у дна. Относительное содержание кислорода было высоким и почти не изменялось с глубиной. Его максимальное значение на поверхности отмечено на ст. 10 (115.5 % насыщения), расположенной в районе мидийно-устричной фермы; минимальное –

Таблица 3. Средние и экстремальные значения гидрохимических показателей озера Донузлав в октябре 2018 г.
 Table 3. Average and extreme values of hydrochemical characteristics at Lake Donuzlav in October 2018

Значения / Values	S, %	O ₂ , мг/дм ³ и % / O ₂ , mg/dm ³ and %	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³ / BOD ₅ , mgO ₂ /dm ³	рН <i>in situ</i>	NO ₂ , мкг/дм ³ / NO ₂ , µg/dm ³	NO ₃ , мкг/дм ³ / NO ₃ , µg/dm ³	NH ₄ , мкг/дм ³ / NH ₄ , µg/dm ³	N _{орг} , мкг/дм ³ / N _{орг} , µg/dm ³	PO ₄ , мкг/дм ³ / PO ₄ , µg/dm ³	P _{орг} , мкг/дм ³ / P _{орг} , µg/dm ³	Si, мкг/дм ³ / Si, µg/dm ³	Окисляемость, мгО/дм ³ / Oxidizability, mgO/dm ³
Поверхность / Surface												
Мин / Min	17.57	8.27	0.85	8.24	0.3	2.1	7.8	305	2.5	18.5	49.8	0.05
Макс / Max	18.80	9.59	2.51	8.48	6.8	17.1	82.8	899	5.1	39.2	346.8	6.64
Среднее / Average	18.46	8.77	1.58	8.33	2.7	7.7	37	584	3.4	25.7	128.7	3.25
Дно / Bottom												
Мин / Min	18.29	8.06	0.36	8.27	1.2	1.6	14.1	301	2.4	14.8	65.1	0.87
Макс / Max	18.83	9.43	2.88	8.39	6.9	19.3	75.1	924	5.5	31.1	190.4	5.42
Среднее / Average	18.57	8.76	1.47	8.32	2.7	8.1	35.9	584	3.7	23.2	96.2	3.54

в придонном слое на этой же станции (97.1 % насыщения). Распределение кислорода на поверхности и в придонном слое было достаточно равномерным.

Значения БПК₅ изменялись от 0.85 до 2.51 мг О₂/дм³ на поверхности и от 0.36 до 2.88 мг О₂/дм³ у дна. Превышение ПДК (2.1 мг О₂/дм³) по нормативам качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ Министерства сельского хозяйства РФ № 552 от 13.12.2016 г.), отмечено на поверхности на ст. 5, 6, и 10, а в придонном слое – на ст. 5 и 8. Указанные районы находятся в непосредственной близости от мидийно-устричных ферм и выпуска хозяйственно-бытовых сточных вод и под их локальным влиянием. Подтверждением сказанному выше являются повышенные концентрации органического фосфора на ст. 5 и 6 и пониженное значение рН в районе ст. 10. Значения окисляемости распределены неравномерно: от 0.05 до 6.64 мгО/дм³ на поверхности и от 0.87 до 5.42 мгО/дм³ у дна. На ст. 1–7 значения окисляемости не превышали ПДК по нормативам качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (4.0 мгО/дм³), а в районах ст. 8–13 отмечено превышение ПДК по окисляемости до 1.5 раз (рис. 3).

Концентрации органического фосфора и азота на поверхности варьировали в пределах 18.5–39.2 мкг/дм³ и 305–899 мкг/дм³. В придонном слое содержание Р_{орг} было несколько ниже и изменялось от 14.8 до 31.1 мкг/дм³, а концентрации N_{орг} почти не отличались от концентраций, полученных на поверхности, и находились в пределах от 301 до 924 мкг/дм³. Максимальные значения Р_{орг} отмечены в районе ст. 11 на поверхности и на ст. 5 в придонном слое, а максимальное содержание N_{орг} зафиксировано на ст. 13 и на поверхности, и в придонном слое (рис. 5). Максимальное содержание органических форм фосфора и азота обусловлено влиянием мидийно-устричной фермы, расположенной на прилегающей к ст. 13 акватории.

Пространственное распределение концентраций минеральных форм азота и фосфора в поверхностном слое оз. Донузлав характеризовалось незначительной изменчивостью: для нитритов от 0.3 до 6.8 мкг/дм³, для нитратов от 2.1 до 17.1 мкг/дм³ и для фосфатов от 2.5 до 5.1 мкг/дм³. Повышенные концентрации азота аммонийного, обусловленные влиянием ферм, отмечены в северной

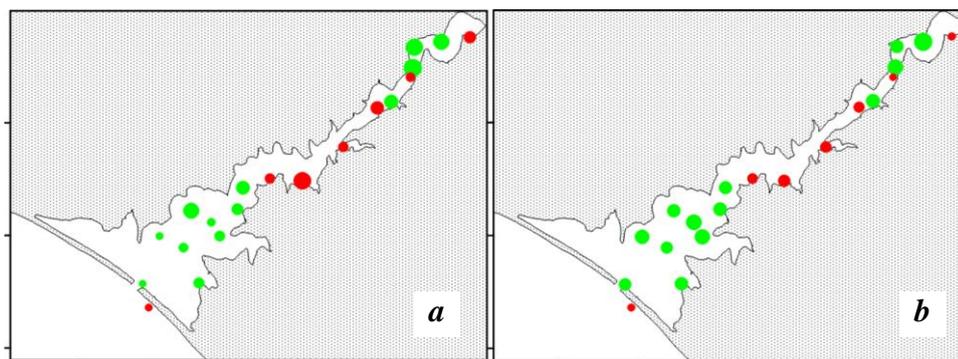


Рис. 5. Распределение концентраций органического азота (а) и фосфора (b) на поверхности в июне 2018 г. (красные круги) и октябре 2018 г. (зеленые круги)

Fig. 5. Distribution of concentrations of organic nitrogen (a) and phosphorus (b) on the surface in June 2018 (red circles) and October 2018 (green circles)

части озера. В его южной части концентрации биогенных веществ были ниже, чем в северной.

Концентрации кремния распределены неравномерно, пределы их изменчивости составляли 49.8–346.8 мкг/дм³ на поверхности при среднем значении, равном 128.7 мкг/дм³. Максимальное количество кремния обнаружено в северной части озера (ст. 11) в районе влияния пресных стоков, поступающих как из подземных источников, так и через пересыпь с верхнего каскада озер. В придонном слое концентрации кремния были ниже, чем на поверхности, и варьировали от 65.1 до 190.4 мкг/дм³ при среднем значении, равном 96.2 мкг/дм³. В южной части озера, включая район добычи песка, концентрации кремния, минеральных форм азота и фосфора имели пониженные значения по сравнению с мелководной кустовой частью озера, находящейся под влиянием ферм и пресноводных стоков различного происхождения.

Заключение

Пространственное распределение температуры воды в период проведения экспедиций в оз. Донузлав отличалось большой неоднородностью. Соленость вод озера превышала на 0.5–0.8 ‰ соленость открытого моря. Распределение зафиксировано лишь в северо-восточной части озера.

Географические и гидролого-гидрохимические особенности озера оказывают влияние на фитопланктонное сообщество. Установлено, что биомасса фитопланктона увеличивается, а видовое разнообразие уменьшается по мере удаления от моря и приближения к кустовой части озера. Такое распределение фитопланктона отражает его состояние в оз. Донузлав в летний сезон.

Особенностью распределения гидрохимических показателей воды в июне 2018 г. явилась большая изменчивость концентрации кислорода и достаточный для роста фитопланктона запас биогенных веществ. Пониженное содержание кислорода отмечено лишь на мелководье из-за сильного прогрева воды и слабого водообмена. Максимальная концентрация кислорода зафиксирована в кустовой части озера вследствие избыточной продукции фитопланктона. Превышение ПДК для БПК₅ и окисляемости отмечено в 2.3 и 1.6 раза. Максимальные концентрации органического фосфора, аммонийного и органического азота зафиксированы в районе мидийно-устричной фермы, что свидетельствует о влиянии культивируемых моллюсков на экологическое состояние вод оз. Донузлав.

В октябре 2018 г. воды озера отличались высоким содержанием кислорода и низкими концентрациями биогенных веществ. Дефицит кислорода не обнаружен. Средние значения БПК₅ и окисляемости были выше ПДК. Исключение составил район, находящийся под влиянием мидийно-устричной фермы, где отмечены максимальные концентрации биогенных веществ и превышение ПДК для окисляемости. Район добычи песка по гидрохимическим показателям не отличался от прилегающей акватории. Для оценки долговременных изменений фитопланктонного сообщества и его кормовых запасов необходимы регулярные мониторинговые исследования оз. Донузлав в разные сезоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шульгина Е. Ф. Изменения в гидрохимическом режиме озера Донузлав после соединения его с морем // Сборник работ бассейновой гидрометеорологической обсерватории Черного и Азовского морей. Л. : Гидрометеиздат, 1966. С. 11–19.
2. Немировский М. С., Ковригина Н. П. Динамика вод озера Донузлав // Экология моря. Севастополь : ИнБИОМ, 2000. Т. 51. С. 10–13.
3. Ковригина Н. П., Немировский М. С. Гидрохимическая характеристика вод озера Донузлав по данным 1990–1997 гг. // Экология моря. Севастополь : ИнБИОМ, 1999. Т. 48. С. 10–14.
4. Зуев Г. В., Болтачев А. Р. Влияние подводной добычи песка на экосистему лимана Донузлав // Экология моря. Севастополь : ИнБИОМ, 1999. Т. 48. С. 5–9.
5. 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: 25.04.2021)
6. Кочергин А. Т., Загайный Н. А., Крискевич Л. В. Изменчивость гидрометеорологических характеристик озера Донузлав (п-ов Крым) в 2016 г. // Труды ВНИРО. 2017. Т. 166. С. 151–158.
7. Гидрологические и гидрохимические условия шельфовых зон Крыма и Кавказа в 2016–2017 гг. / Н. Н. Дьяков [и др.] // Труды Государственного океанографического института. М., 2018. № 219. С. 66–87.
8. 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. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_1_32
9. Иванютин Н. М. Современное экологическое состояние озера Донузлав // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 3(79). С. 47–58. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.3.47-58>
10. Лях А. М., Брянцева Ю. В. Компьютерная программа для расчета основных параметров фитопланктона // Экология моря. 2001. № 58. С. 87–90.
11. Биоразнообразии и экологические аспекты развития конхиокультуры в озере Донузлав (по материалам экспедиции 4–7 июня 2008 г.) / В. И. Холодов [и др.] // Рыбное хозяйство Украины. 2009. № 5. С. 36–37.

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), **SPIN-код: 3036-2366**, **Author ID: 970075**, 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

Попов Марк Александрович, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 000-0003-0220-1298**, **Scopus Author ID: 57197871255**, *maricultura@mail.ru*

Заявленный вклад авторов:

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

Щуров Сергей Вячеславович – организация и руководство экспедицией, отбор проб

Ковригина Неля Петровна – гидрохимические работы

Попов Марк Александрович – исследования фитопланктона

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Shulgina, E.F., 1966. [Changes in the Hydrochemical Regime of Lake Donuzlav after Connecting it to the Sea]. In: ВХО, 1966. [*Collection of Works of the Basin Hydro-meteorological Observatory of the Black and Azov Seas*]. Leningrad: Gidrometeoizdat, pp. 11–19 (in Russian).
2. Nemirovsky, M.S. and Kovrigina, N.P., 2000. Dynamics of the Lake Donuzlav Waters. In: IBSS, 2000. *Ekologiya Morya*. Sevastopol: IBSS. Iss. 51, pp. 10–13 (in Russian).
3. Kovrigina, N.P. and Nemirovsky, M.S., 1999. Hydrochemical Characteristic of the Lake Donuzlav Waters based on Data of 1990–1997. In: IBSS, 1999. *Ekologiya Morya*. Sevastopol: IBSS. Iss. 48, pp. 10–14 (in Russian).
4. Zuev, G.V. and Boltachev, A.R., 1999. Influence of Underwater Quarrying of Sand on the Donuzlav Estuary Ecosystem. In: IBSS, 1999. *Ekologiya Morya*. Sevastopol: IBSS. Iss. 48, pp. 5–9 (in Russian).
5. Sebakh, L.K., Petrenko, O.A., Zhugaylo, S.S. and Tsyntaryuk, E.A., 2006. Influence of Industrial Exploitation of the Sand Deposits on the State of the Lake Donuzlav Ecosystem. In: B. N. Panov, ed., 2006. *Current Problems of the Azov-Black Sea Basin Ecology. Proceedings of II International Conference. Kerch, YugNIRO, 26–27 June 2006*. Kerch: YugNIRO Publishers, pp. 71–79 (in Russian).
6. Kochergin, A.T., Zagayny, N.A. and Kriskevich, L.V., 2017. Variability of Hydro-meteorological Conditions in Donuzlav Lake (Crimea) in 2016. *Trudy VNIRO*, 166, pp. 151–158 (in Russian).
7. Dyakov, N.N., Korshenko, A.N., Malchenko, Yu.A., Lipchenko, A.E., Zhilyaev, D.P. and Bobrova, S.A., 2018. Hydrological and Hydrochemical Conditions of the Crimean and Caucasus Shelf Zones in 2016–2017. In: I. M. Kabatchenko, ed., 2018. *SOI Proceedings*. Moscow: SOI. Iss. 219, pp. 66–87 (in Russian).
8. Zhugaylo, S.S., Avdeeva, T.M., Pugach, M.N. and Adzhumerov, E.N., 2018. Current State of Water Quality and Bottom Sediments in Lake Donuzlav. *Aquatic Biore-sources and Environment*, 1(1), pp. 32–38. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_1_32 (in Russian).
9. Ivanyutin, N.M., 2019. Current Ecological State of Lake Donuzlav. *Water and Ecology*, (3), pp. 47–58. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2019.24.3.47-58> (in Russian).
10. Lyakh, A.M. and Bryantseva, Yu.V., 2001. Computer's Program for the Calculation of Basic Phytoplankton Parameters. *Ekologiya Morya*, 58, pp. 87–90 (in Russian).

11. Kholodov, V.I., Grintsov, V.A., Pirkova, A.V., Lisitskaia, E.V., Popov, M.A., Murina, V.V. and Bogdanova, T.A., 2009. Biodiversity and Environmental Aspects of the Development of Conchioculture in Lake Donuzlav (based on Materials from the Expedition June 4–7, 2008). *Fisheries of Ukraine*, (5), pp. 36–37 (in Russian).

About the authors:

Vitaly I. Ryabushko, Chief Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0001-5052-2024**, **Scopus Author ID: 7801673501**, **ResearcherID: H-4163-2014**, *rabushko2006@yandex.ru*

Sergey V. Shchurov, Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **SPIN-code: 3036-2366** **Author ID: 970075**, *skrimea@mail.ru*

Nelya P. Kovrigina, Senior Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-6734-8285**, **Scopus Author ID: 6507114864**, *maricultura@mail.ru*

Mark A. Popov, Senior Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 000-0003-0220-1298**, **Scopus Author ID: 57197871255**, *maricultura@mail.ru*

Contribution of the authors:

Vitaly I. Ryabushko – setting goals and objectives of a comprehensive study, editing the manuscript

Sergey V. Shchurov – organization and management of the expedition, material collection, hydrological work

Nelya P. Kovrigina – hydrochemical work

Mark A. Popov – phytoplankton studies

All the authors have read and approved the final manuscript.