



## Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 504.064.36:57(262.5)

# СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ДОНУЗЛАВ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

© 2018 С. С. Жугайло, Т. М. Авдеева, М. Н. Пугач, Э. Н. Аджиумеров

*Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства,  
Керченский филиал, Керчь 298300, Россия  
E-mail: zhugailo\_s\_s@azniirkh.ru*

**Аннотация.** Дан анализ гидрохимических и химико-токсикологических характеристик акватории озера Донузлав по результатам мониторинговых исследований Керченского филиала ФГБНУ «АзНИИРХ» за период 2015–2017 гг., а также ретроспективным данным ЮгНИРО (Южный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии) с 2000 г. Определение содержания в воде кислорода, БПК<sub>5</sub> (биохимическое потребление кислорода), биогенных элементов осуществлялось по стандартным методикам, тяжелых металлов – методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии, нефтеуглеводородов — инфракрасной спектрометрии. Показано, что кислородный режим южной части оз. Донузлав был удовлетворительным для жизнедеятельности гидробионтов: среднегодовое содержание растворенного в воде кислорода изменялось в пределах 8,77–9,40 мг/л. Сезонные изменения содержания биогенных элементов в значительной степени определяются природными факторами. Представлена многолетняя динамика содержания тяжелых металлов и нефтеуглеводородов в воде и донных отложениях оз. Донузлав. На современном этапе степень загрязнения водной среды озера тяжелыми металлами и нефтеуглеводородами достаточно низкая, однако существует угроза увеличения последствий антропогенной нагрузки на экосистему оз. Донузлав, о чем свидетельствуют максимальные концентрации некоторых загрязняющих веществ, наблюдаемые в последние годы. Показана тенденция увеличения содержания в донных отложениях южной части оз. Донузлав ртути, меди, цинка и снижения концентрации железа, марганца, свинца, хрома и нефтеуглеводородов. Уровень загрязнения донных отложений срединной части озера выше по сравнению с другими участками акватории, что обусловлено более высокой сорбционной способностью грунта, содержащего большее количество мелкодисперсной фракции.

**Ключевые слова:** Донузлав, водная среда, донные отложения, кислородный режим, биогенные элементы, тяжелые металлы, нефтеуглеводороды

## CURRENT STATE OF WATER QUALITY AND BOTTOM SEDIMENTS IN LAKE DONUZLAV

S. S. Zhugaylo, T. M. Avdeeva, M. N. Pugach, E. N. Adzhumerov

*Azov Sea Research Fisheries Institute, Kerch Branch, Kerch 298300, Russia  
E-mail: zhugailo\_s\_s@azniirkh.ru*

**Abstract.** Analysis of hydrochemical, chemical and toxicological features of water and bottom sediments in Lake Donuzlav (Crimea, Russia) according to the results of environmental monitorings conducted by the Kerch Branch of FSBSI "AzNIIRKH", as well as according to the historical data collected by YugNIRO (Southern Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography) since 2000, is presented for the period from 2015 to 2017. Estimations of oxygen content in water, as well as BOD<sub>5</sub> (biochemical oxygen demand) and the content of biogenic elements were made using standard practices, of heavy metals — using the method of atomic absorption spectrophotometry, of petroleum hydrocarbons — the method of infrared spectrophotometry. It is found out that the oxygen regimen of the southern Donuzlav L. was satisfactory for hydrobionts: the average annual contents of the dissolved oxygen varied within the range of 8.77–9.40 mg/l. It is shown that seasonal variations of the biogenic elements content are mainly predetermined by natural factors. In general, water aeration was good; however, the oxygen regimen was influenced by anthropogenic pressure, which resulted in relatively low dependency between oxygen saturation and water temperature. The long-term dynamics of the content of heavy metals and petroleum hydrocarbons in the water and bottom sediments of Lake Donuzlav is given. At present, the level of water pollution with heavy metals and petroleum hydrocarbons is rather low; however, there is a risk of aggravation of anthropogenic pressure impact on Lake Donuzlav ecosystem, which is evidenced by peak concentrations of some contaminants, observed in recent years. The increasing trend in mercury, copper and zinc content in the bottom sediments of the southern Lake Donuzlav is shown, as well as the decreasing trend in the content of iron, manganese, lead, chrome and petroleum hydrocarbons. The level of bottom sediments pollution in the central part of the lake is higher in comparison with its other areas, which is preconditioned by a higher sorption capacity of the bottom soil, containing high amount of fine particle fraction.

**Keywords:** Lake Donuzlav, Crimea, water quality, bottom sediments, oxygen regimen, biogenic elements, heavy metals, petroleum hydrocarbons

### ВВЕДЕНИЕ

Озеро Донузлав является уникальным полузакрытым морским заливом, расположенным у западного побережья Крыма. Общая площадь, занимаемая его зеркалом, составляет 47,5 км<sup>2</sup>. Верхняя часть, примыкающая к пресноводному участку, отгороженному дамбой, узкая, с глубинами 3–4 м. Нижняя, наиболее широкая часть и самая мелководная, имеет глубины около 1–3 м. В средней части озера существуют впадины до 18–29 м.

До конца 50-х гг. XX века озеро было отделено от моря узкой песчаной косой и являлось закрытым гиперсоленым водоемом. С целью создания бухты крупного морского военного порта в 1961 г. был прорыт судоходный канал, соединивший оз. Донузлав с Черным морем. Таким образом, после проведения гидромелиоративных работ оз. Донузлав превратилось в залив, соединяющийся каналом с Черным морем. Однако и в настоящее время сохраняется его традиционное наименование — «озеро Донузлав».

С появлением судоходного канала изменился гидрохимический и гидрологический режим оз. Донузлав, что повлекло за собой соответствующие изменения его биологической продуктивности. Соленость воды стала снижаться и уже в 1971 г. стабилизировалась на уровне таковой в прилегающих участках Черного моря (18–19 ‰). С этого периода в оз. Донузлав обитают морские виды животных и растений, среди которых более 40 видов рыб. В их число входят и наиболее массовые промысловые виды рыб, которые не образуют в озере изолированных популяций, а являются неотъемлемой частью рыбных ресурсов водоемов общегосударственного значения.

Относительно стабильные гидролого-гидрохимические характеристики водоема (годовой ход температуры, солености, окисляемости, содержания биогенных веществ), защищенность от ветров всех направлений, высокая трофность вод (концентрация фитопланктона, взвешенного органического вещества), хорошая продуктивность мейо- и макробентоса и наличие естественных популяций мол-

люсков (мидий и устриц), рыб детритофагов (кефали) и бентофагов (камбала-глосса, бычки) — все это делает водоем чрезвычайно перспективным для промышленного культивирования рыб, моллюсков и водорослей.

Однако экосистема оз. Донузлав на протяжении длительного периода испытывает значительную антропогенную нагрузку. После ликвидации базы Черноморского флота, последствия деятельности которой ощущаются экосистемой озера до сих пор, среди основных факторов следует отметить добычу песка, сброс сточных вод, рекреационную нагрузку и т. д.

Цель настоящей работы — анализ кислородного режима, динамики биогенных элементов, уровня загрязнения водной среды и донных отложений оз. Донузлав тяжелыми металлами и нефтепродуктами для оценки качества среды озера как рыбохозяйственного объекта.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В настоящей работе были использованы результаты мониторинговых исследований ЮгНИРО, выполненные в период 2000–2013 гг. в южной части оз. Донузлав на 6–12 станциях. Керченским филиалом ФГБНУ «АзНИИРХ» в рамках государственного задания в период апрель–октябрь 2015–2017 гг. выполнялись ежеквартальные исследования также в южной части (6–13 станций), кроме того, в 2017 г. проведены исследования еще и в верховье (3 станции) и срединной части (6 станций).

В качестве приоритетных показателей были выбраны следующие: растворенный кислород, нитритный, нитратный, аммонийный азот, фосфаты, биохимическое потребление кислорода на 5-е сутки (БПК<sub>5</sub>), тяжелые металлы и нефтепродукты. Гидрохимические анализы выполняли согласно стандартным методикам [1]. Определение тяжелых металлов осуществлялось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, нефтеуглеводородов — инфракрасной спектрометрии.

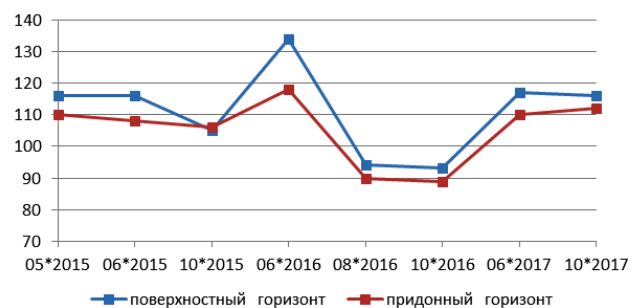
Для анализа состояния морской среды использовались средние концентрации за каждую съемку.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В течение периода исследований кислородный режим южной части оз. Донузлав был удовлетворительным для жизнедеятельности гидробионтов. Так, среднегодовое содержание растворенного в

воде кислорода в 2015–2017 гг. изменялось в пределах 8,77–9,40 мг/л, при этом наименьшим оно было в августе 2016 г. (6,97 мг/л), но и это значение было выше необходимого минимума (6 мг/л).

Для оценки кислородного режима ряд авторов использует относительное содержание растворенного кислорода — степень насыщения [2]. Проведенные исследования показали, что в 2015 г. относительное содержание растворенного в воде кислорода превышало 100 % насыщения, т. е. было выше значения, когда содержание кислорода равно количеству, которое может раствориться в воде данной температуры и солености. В максимальной степени поверхностная вода была насыщена кислородом в мае и июне (в среднем 116 %), в октябре насыщение снизилось на 5 %. В июне вода придонного горизонта, по сравнению с поверхностной, была аэрирована слабее (108 %), а в октябре степень насыщения поверхностной и придонной воды была практически одинаковой. В 2016 г. превышение 100 % насыщения отмечено только в июне: в поверхностной воде относительное содержание кислорода было 134 %, в придонной — 118 %. В августе дефицит растворенного кислорода составил 4–8 % (поверхность) и 8–13 % (придонная вода), октябре — 0–13 и 7–15 %, соответственно для поверхностной и придонной воды. В конце мая 2017 г. степень насыщения кислородом поверхностной воды изменялась в пределах 124–138 %, в октябре она практически не изменилась (рис. 1).



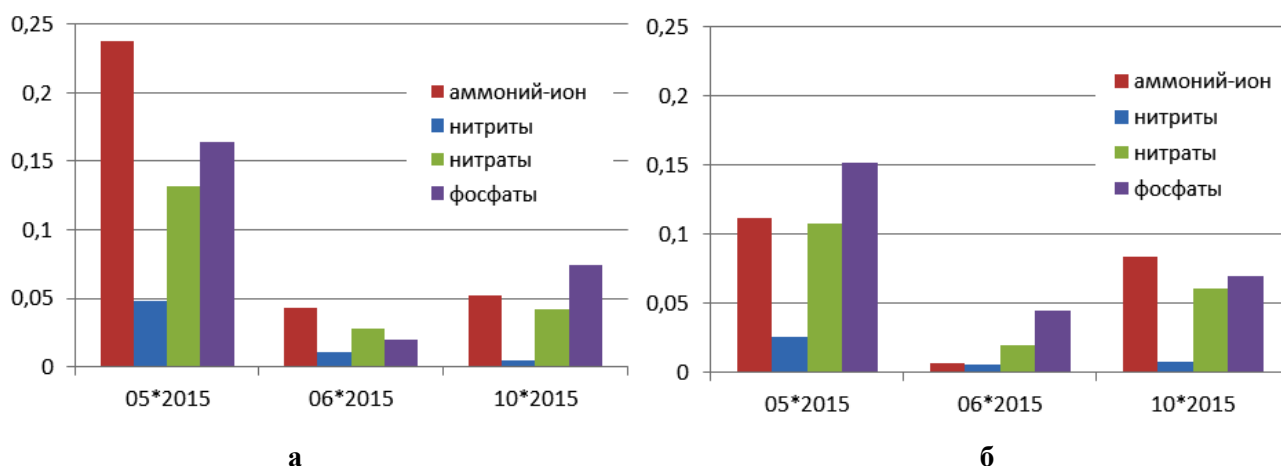
**Рис. 1.** Степень насыщения водной среды южной части оз. Донузлав кислородом (%)

**Fig. 1.** The level of oxygen saturation of the southern Donuzlav L. water (%)

Помимо достаточно высокой концентрации кислорода водные массы исследуемой акватории характеризовались низким содержанием легко окисляемого органического вещества: величина БПК<sub>5</sub> изменялась в пределах 0,82–2,50 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Особен-

ностью сезонной динамики данного показателя явилось его наибольшее значение в весенний и ранне-летний периоды и наименьшее — в осенне-зимний. Относительно вертикального распределения следует отметить, что весной и летом наибольшие значения  $\text{ПБК}_5$  наблюдались в поверхностной воде, осенью — в придонной.

Сезонное изменение содержания биогенных элементов в водных массах озера определялось, как правило, природными факторами, как, например, в 2015 г. (рис. 2).



**Рис. 2.** Содержание биогенных элементов ( $\text{мг/дм}^3$ ) в воде поверхностного (а) и придонного (б) горизонтов южной части оз. Донузлав

**Fig. 2.** The content of biogenic elements ( $\text{mg/dm}^3$ ) in the water of the surface (а) and bottom (б) layers of the southern Donuzlav L.

летом оно резко снизилось и осенью, по сравнению с теплым периодом, практически не изменилось, что обусловлено усилением процесса окисления нитритов в нитраты (рис. 2).

В целом в течение всего времени исследований сезонная динамика содержания биогенных элементов в воде озера и их соотношение определялись главным образом режимом температуры, солености и состоянием морской флоры, что характерно для природных вод, не подверженных значительной антропогенной нагрузке [3].

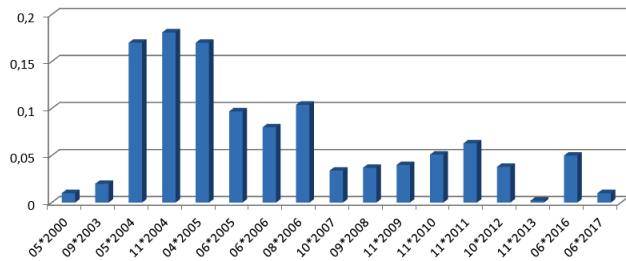
Исследования уровня загрязнения морской среды оз. Донузлав осуществляются сотрудниками института с 2000 г. [4]. В отношении тяжелых металлов следует отметить, что в течение 2000–2008 гг. в водной среде южной части озера только содержание ртути превышало ПДК. Максимальный уровень загрязнения зафиксирован в мае 2000 г. — 2,3 ПДК, далее имела место тенденция его снижения. В отношении ртути заслуживает внимания тот факт, что

Наибольшая концентрация неорганических форм азота и фосфора зафиксирована в мае, к июлю их количество значительно снизилось, что связано с увеличением потребления биогенов организмами. Осенью отмечается увеличение содержания нитратов, аммония и фосфатов вследствие усилившегося процесса минерализации органического вещества и ослабления фотосинтеза. В отношении нитритов следует отметить, что их максимальное количество также наблюдалось в мае, что связано с интенсификацией минерализации органического вещества,

высокие концентрации (до 2,7 ПДК) наблюдались в 1990-е гг. в водной среде практически всей южной части озера, и почти всеми исследователями данного водоема это связывалось с деятельностью Базы флота [5]. После 2008 г. уровень загрязнения рассматриваемой водной акватории был достаточно низким, только в отдельные годы фиксировались превышения ПДК в 1,1–1,2 раза по ртути, меди и цинку, в 1,2–2 раза — по железу.

В период исследований концентрация нефтеуглеводородов изменялась в большом диапазоне (0,01–0,17  $\text{мг/л}$ ) и до 2007 г. на большей части исследуемой акватории превышала ПДК, в дальнейшем уровень загрязнения водной среды значительно снизился (рис. 3).

Донные отложения являются одним из наиболее информативных объектов экологического мониторинга акваторий. Однако в отношении донных отложений возникают трудности в связи с отсутствием в настоящее время нормативно закрепленных



**Рис. 3.** Динамика содержания нефтепродуктов в воде ( $\text{мг/дм}^3$ ) южной части оз. Донузлав

**Fig. 3.** Dynamics of the petroleum products content ( $\text{mg/dm}^3$ ) in the southern Donuzlav L.

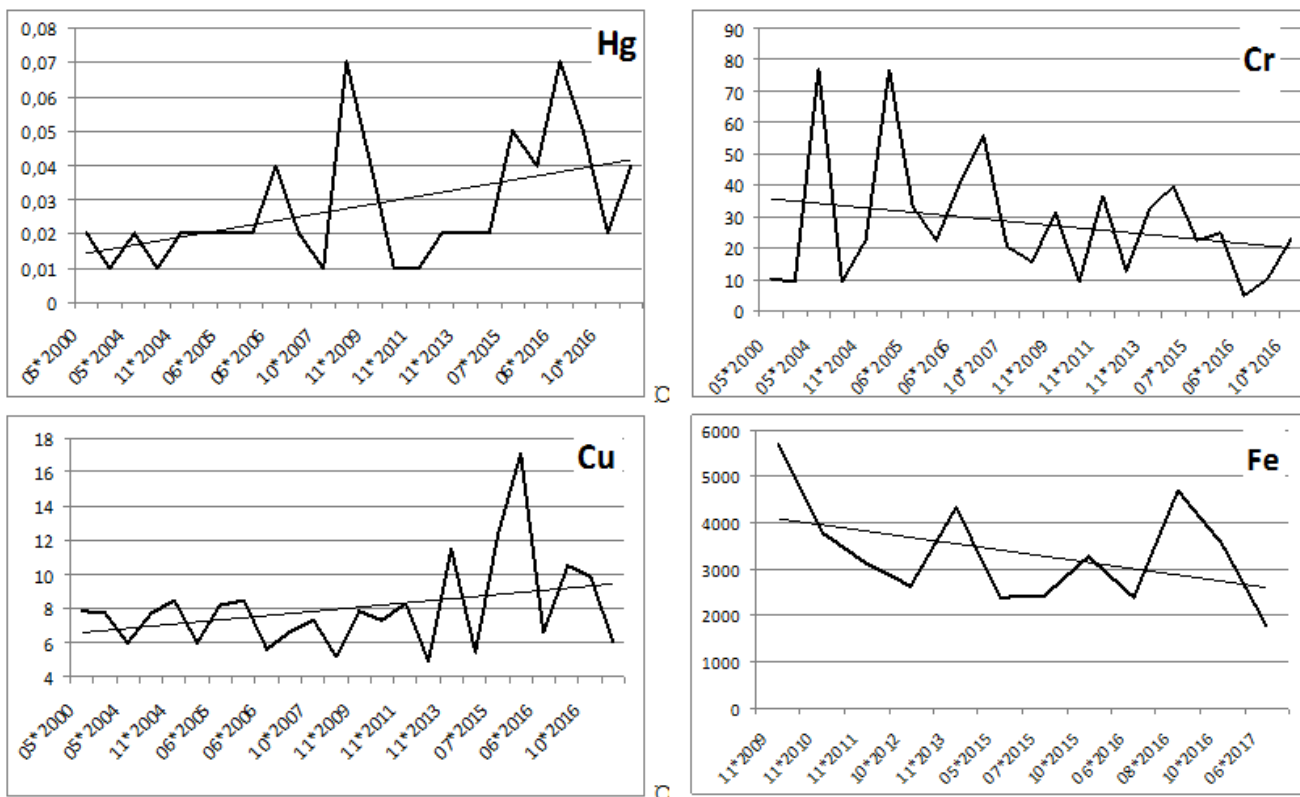
характеристик их качества. Для нормативной величины использовано среднее содержание тяжелых металлов в земной коре [6].

Анализ показал, что в период 2000–2017 гг. в донных отложениях южной части озера содержание определяемых тяжелых металлов не превышало допустимый уровень, что, прежде всего, обусловлено составом донных осадков озера. По результатам гранулометрического анализа практически все донные осадки были представлены песчаной фракцией, которая, как известно, обладает низкой сорбционной способностью. Тем не менее, имеет место тенден-

ция накопления в донных отложениях таких тяжелых металлов, как ртуть, медь, цинк. В то же время уровень загрязнения донных отложений озера железом, марганцем, свинцом и хромом снижается, содержание кадмия остается практически неизменным (рис. 4).

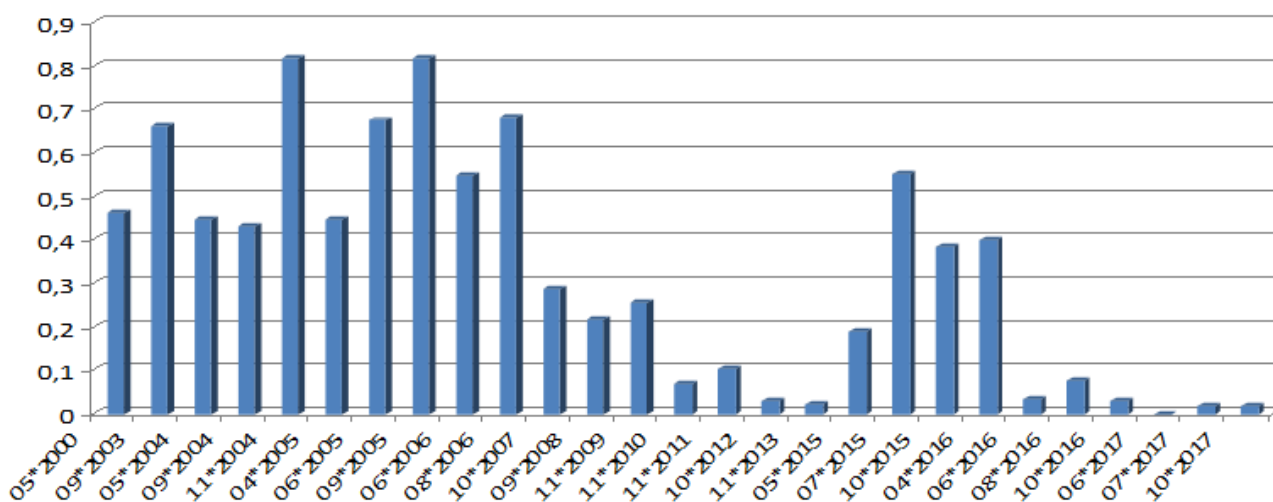
Содержание нефтепродуктов (фракция нефтеуглеводородов) в донных отложениях южной части оз. Донузлав в течение всего периода наблюдений изменялось в большом диапазоне — 0,017–0,817  $\text{мг/г}$  с. в. (рис. 5). Максимальный уровень загрязнения донных отложений отмечен в начальном периоде исследований (2000–2006 гг.), далее количество нефтеуглеводородов снижалось и достигло минимума в 2012–2013 гг., но в 2015 г. их концентрация увеличилась до 0,551  $\text{мг/г}$  с. в., а к 2017 г. она снизилась в среднем в 15 раз (рис. 5).

Как показывают исследования последних лет, несмотря на тенденцию снижения уровня загрязнения донных отложений нефтеуглеводородами, угроза загрязнения ими морской среды существует. Это касается не только нефтяных углеводородов, но и тяжелых металлов: для большинства этих компонентов именно в последние годы исследований



**Рис. 4.** Динамика средних содержаний ( $\text{мг/г}$  с. в.) ртути, хрома, меди и железа в донных отложениях южной части оз. Донузлав

**Fig. 4.** Dynamics of average content ( $\text{mg/g dw}$ ) of mercury, chrome, copper and iron in the bottom sediments of the southern Donuzlav L.



**Рис. 5.** Динамика содержания нефтепродуктов в донных отложениях (мг/г с. в.) в южной части оз. Донузлав  
**Fig. 5.** Dynamics of the petroleum products content in the bottom sediments (mg/g dw) in the southern Donuzlav L.

зафиксированы максимумы, что дает основание полагать, что в настоящее время антропогенная нагрузка на экосистему озера возрастает.

В июне 2017 г., в отличие от предшествующих лет, помимо южной части оз. Донузлав, нами была исследована его срединная часть. Как показал анализ полученных результатов, донные отложения срединной и южной частей озера существенно раз-

личаются по уровню загрязнения и тяжелыми металлами, и нефтеуглеводородами (таблица).

В донных отложениях срединной части озера превышение среднего содержания в земной коре для железа зафиксировано на всей исследуемой акватории, содержание остальных определяемых металлов, за исключением ртути и марганца, превышало нормативную величину на 20 % площади прибреж-

Среднее содержание тяжелых металлов (мкг/г с. в.) и нефтеуглеводородов (мг/г с. в.) в донных отложениях оз. Донузлав, 2017 г.

Average content of heavy metals (mg/g dw) and petroleum hydrocarbons (mg/g dw) in the bottom sediments of the Donuzlav L., 2017

Район Area	Fe	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Cd	Zn	НУ
Срединная часть Central part	128130	66,2	45,2	0,06	431	30,3	7,62	0,24	170,9	0,702
Южная часть Southern part	8550	24,3	10,8	0,07	203	21,2	2,10	0,07	69,4	0,080
Среднее содержание в земной коре Average content in the Earth's crust	46500	83	47	0,08	1000	58	16	0,13	170	—

ной акватории. Концентрации нефтеуглеводородов в донных отложениях центральной части озера изменялись в пределах 0,399–1,100 мг/г с. в., в то время как в южной они составили 0,034–0,102 мг/г с. в.

При этом максимум для нефтеуглеводородов совпадает с максимумом для тяжелых металлов. Такое различие в уровне загрязнения обусловлено более высокой сорбционной способностью грунта в сре-

динной части озера: здесь донные отложения на 95 % были представлены мелкодисперсной фракцией грунта — илом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ гидрохимических параметров показал, что в 2015–2017 гг. кислородный режим южной части оз. Донузлав был удовлетворительным для жизнедеятельности гидробионтов. Водные массы исследуемой акватории характеризовались низким содержанием легко окисляемого органического вещества: величина БПК<sub>5</sub> не превышала 2,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Сезонное изменение содержания биогенных элементов в водной среде определялось в основном природными факторами.

На протяжении практически всего периода исследований уровень загрязнения водной среды озера тяжелыми металлами был достаточно низким. Максимальные концентрации нефтеуглеводородов, достигающие в среднем 3,4 (поверхностная вода) и 4,8 ПДК (придонная вода), определены в 2004–2005 гг.

Исследование динамики содержания тяжелых металлов и нефтеуглеводородов показало тенденцию увеличения уровня загрязнения донных отложений южной части оз. Донузлав ртутью, медью, цинком, для железа, марганца, свинца, хрома и нефтеуглеводородов — тенденцию к снижению.

В целом в период исследований состояние водной среды озера Донузлав по гидрохимическим и эколого-токсикологическим параметрам было благоприятным для обитающих здесь промысловых биоресурсов и кормовой базы рыб.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.243-92. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 263 с.
2. Мезенцева И.В., Совга Е.Е., Годин Е.А., Пластун Т.В. Многолетняя изменчивость содержания биогенных элементов в акватории Ялтинского порта // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование шельфа: сб. науч. тр. Севастополь: Изд-во МГИ, 2013. Вып. 27. С. 255–261.
3. Коршенко А.Н., Матвейчук И.Г., Плотникова Т.И., Лучков В.П. Качество морских вод по гидрохимическим показателям // Ежегодник. Обнинск: Артифекс, 2006. 121 с.
4. Петренко О.А., Себах Л.К., Жугайло С.С. Состояние водной среды оз. Донузлав в современных условиях // Системы контроля окружающей среды: сб. науч. тр. Севастополь: Изд-во МГИ, 2009. Вып. 12. С. 301–304.
5. Самышев Э.З., Сеничкина Л.Г., Сергеева Н.Г., Михайлова Т.В., Панкратова Т.М. Структура и функционирование сообществ планктона и бентоса оз. Донузлав в условиях антропогенного загрязнения и оценка перспектив его рыбохозяйственного использования // Системы контроля окружающей среды: сб. науч. тр. Севастополь: Изд-во МГИ, 2001. Вып. 11. С. 301–325.
6. Виноградов А.П. Избранные труды. Геохимия океана. М.: Наука, 1989. 220 с.

## REFERENCES

1. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh vod. [Instructions on the chemical analysis of sea water]. RD 52.10.243-92. St.Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993, 263 p. (In Russian).
2. Mezentseva I.V., Sovga E.E., Godin E.A., Plastun T.V. Mnogoletnyaya izmenchivost' soderzhaniya biogennykh elementov v akvatorii Yaltinskogo porta. [Long-term variability of the biogenic elements contents in the area of Yalta port]. In: *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnykh i shel'fovykh zon i kompleksnoe ispol'zovanie shel'fa: sbornik nauchnykh trudov. [Ecological safety of coastal and shelf zones of sea].* Sevastopol: MHI Publ., 2013, no. 27, pp. 255–261. (In Russian).
3. Korshenko A.N., Matveychuk I.G., Plotnikova T.I., Luchkov V.P. Kachestvo morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam. Ezhegodnik. [Quality of marine water based on hydrochemical parameters. Annual]. Obninsk: Artifeks, 2006, 121 p. (In Russian).
4. Petrenko O.A., Sebach L.K., Zhugaylo S.S. Sostoyanie vodnoy sredy oz. Donuzlav v sovremennykh usloviyakh. [State of aquatic environment of Lake Donuzlav in the current context]. In: *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy: sbornik nauchnykh trudov. [Monitoring systems of environment].* Sevastopol: MHI Publ., 2009, issue 12, pp. 301–304. (In Russian).
5. Samyshev E.Z., Senichkina L.G., Sergeeva N.G., Mikhaylova T.V., Pankratova T.M. Struktura i funktsionirovanie soobshchestv planktona i bentosa oz. Donuzlav v usloviyakh antropogennogo zagryazneniya i otsenka perspektiv ego rybokhozyaystvennogo ispol'zovaniya. [Structure and functioning of the plankton and benthos communities in Donuzlav Lake under conditions of anthropogenic impact and assessment of perspectives of its fishery usage]. In: *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy: sbornik nauchnykh trudov. [Monitoring systems of environment].* Sevastopol: MHI Publ., 2001, issue 11, pp. 301–325. (In Russian).
6. Vinogradov A.P. Izbrannyye trudy. Geokhimiya okeana. [Selected works. Ocean geochemistry]. Moscow: Nauka, 1989, 220 p. (In Russian).

Поступила 07.03.2018

Принята к печати 17.05.2018