

Читайте
онлайн
Read
onlineГоргола Л.Г.^{1,2}, Барабашин Т.О.^{1,2}, Кораблина И.В.¹, Геворкян Ж.В.¹, Денисова Т.В.²

Современная оценка концентраций меди, свинца, кадмия, никеля в воде Нижнего Дона

¹Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии», 344002, Ростов-на-Дону, Россия;

²ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии имени Д.И. Иванковского ЮФУ, 344002, Ростов-на-Дону, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Антропогенное воздействие повлияло на состояние нижнего течения реки Дон, снизив при этом естественное воспроизводство промысловых видов рыб. В настоящее время для их сохранения и воспроизводства производится выпуск проходных и полупроходных видов рыб, поэтому в нижнем течении Дона особо важен контроль качества воды, в том числе и на содержание тяжёлых металлов.

Материалы и методы. В работе представлены данные аналитического испытательного центра Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО». Пробы воды отбирали на восьми мониторинговых станциях в нижнем течении Дона с 2020 по 2023 г. Определяли растворённые формы меди, свинца, кадмия и никеля.

Результаты. Установлено, что в некоторых пробах концентрации меди превысили ПДК. Содержание свинца, кадмия и никеля на протяжении всего исследования не превышало ПДК. Выявлена годовая и сезонная динамика концентраций металлов в воде.

Ограничения исследования связаны со спецификой отбора проб: воду отбирали в нижнем течении Дона только на восьми мониторинговых станциях, что не даёт полной информации о всей территории.

Заключение. Содержание таких тяжёлых металлов, как свинец, кадмий и никель, в воде Нижнего Дона является безопасным для аквакультуры и воспроизводства промысловых видов рыб, так как не выявлено превышений ПДК. Содержание меди в некоторых пробах воды превысило ПДК, что говорит о загрязнённости водоёма и необходимости проведения комплексных мероприятий по очистке воды.

Ключевые слова: Нижний Дон; вода; тяжёлые металлы; медь; свинец; кадмий; никель

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует предоставления заключения комитета по биомедицинской этике и иных документов.

Для цитирования: Горгола Л.Г., Барабашин Т.О., Кораблина И.В., Геворкян Ж.В., Денисова Т.В. Современная оценка концентраций меди, свинца, кадмия, никеля в воде Нижнего Дона. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(1): 23–30. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-23-30> <https://elibrary.ru/bwnprnw>

Для корреспонденции: Горгола Лилия Геннадьевна, e-mail: Lilia.Gorgola@yandex.ru

Участие авторов: Горгола Л.Г. — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Барабашин Т.О., Денисова Т.В. — редактирование; Кораблина И.В., Геворкян Ж.В. — сбор материала и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 02.02.2024 / Поступила после доработки: 25.04.2024 / Принята к печати: 02.10.2024

Liliya G. Gorgola^{1,2}, Timofey O. Barabashin^{1,2}, Irina V. Korablina¹, Zhanna V. Gevorkyan¹, Tatyana V. Denisova²

Modern assessment of copper, lead, cadmium, and nickel concentrations in the water of the Lower Don

¹The Azov and Black Sea Branch of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation;

²Southern Federal University D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Anthropogenic impact has affected the state of the Lower reaches of the Don River, while reducing the natural reproduction of commercial fish species. Currently, for the conservation and reproduction of commercial fish species, passing and semi-passing fish species are released into the reservoir. Therefore, water quality control, including for the content of heavy metals, of the Lower reaches of the Don is especially important.

Materials and methods. The paper presents data from the analytical testing center of the Azov-Black Sea branch of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography. Water samples were collected at eight monitoring stations in the lower reaches of the river. Dissolved forms of metals such as copper, lead, cadmium, and nickel were detected in the samples.

Results. In the course of research, in some samples the concentrations of copper were found to exceed MPC. Such metals as lead, cadmium, and nickel did not exceed MPC throughout the study. Annual and seasonal trend in metal concentrations in water were also established.

Limitations. The limitation of the research of this work lies in the fact that water samples were taken in the lower reaches of the Don River at only 8 monitoring stations, which does not provide complete information on the territory of the entire region.

Conclusion. The content of heavy metals such as lead, cadmium, and nickel in the water of the Lower Don is safe for the purposes of aquaculture and reproduction of commercial species, since no exceedances of MPC were detected. However, the copper content in some water samples exceeded the MPC, which indicates the contamination of the reservoir, as well as the need to carry out a set of measures to purify water in this facility.

Keywords: lower Don River; water; heavy metals; copper; lead; cadmium; nickel

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of the conclusion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Gorgola L.G., Barabashin T.O., Korablina I.V., Gevorkyan Zh.V., Denisova T.V. Modern assessment of copper, lead, cadmium, and nickel concentrations in the Lower Don. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(1): 23–30. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-23-30> <https://elibrary.ru/bwnpnw> (In Russ.)

For correspondence: Liliya G. Gorgola, e-mail: Lilia.Gorgola@yandex.ru

Contribution: Gorgola L.G. — research concept and design, material collection and data processing, statistical processing, text writing; Barabashin T.O., Denisova T.V. — editing; Korablina I.V., Gevorkyan Zh.V. — collection and processing of the material. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: February 2, 2024 / Revised: April 25, 2024 / Accepted: October 10, 2024

Введение

Дон — одна из крупнейших рек Северо-Кавказского региона, важная водная артерия для транспорта и водоснабжения населённых пунктов, а также место обитания ценных промысловых видов рыб, источник водных ресурсов для интенсивно развивающейся аквакультуры южного региона России. Антропогенное воздействие значительно повлияло на экологическое состояние нижнего течения реки, снизив при этом естественное воспроизводство промысловых видов рыб [1, 2].

Состояние водного объекта напрямую зависит от состава загрязняющих веществ, в том числе присутствия и концентраций тяжёлых металлов, поэтому особую важность имеет экологический мониторинг водоёмов. Тяжёлые металлы могут попадать в водоём естественным и антропогенным путём. К естественным источникам поступления относятся геологические процессы эрозии. Другая причина поступления металлов в реки, моря и озёра — атмосферные осадки в виде дождей и снега, которые переносят частицы загрязняющих веществ. Также осадки могут выносить тяжёлые металлы из почв и загрязнять поверхностный горизонт водоёма [3]. Наиболее распространёнными в промышленности, сельском хозяйстве и в быту металлами являются свинец и кадмий, которые относятся к первому классу опасности, а также медь и никель, которые относятся ко второму классу [4]. Различные формы этих металлов поступают в природные водоёмы за счёт сбросов бытовых сточных вод, оседания пыли и взвешенных частиц от дыма промышленных предприятий, смыва поливных вод с сельских полей и по иным причинам. Многие металлы

образуют стойкие органические соединения, и хорошая растворимость этих комплексов способствует миграции в природных водах [3]. Токсическое воздействие тяжёлых металлов на гидробионты различно. Высокие концентрации свинца способны вызывать у гидробионтов асфиксию, различные неврологические нарушения и нарушения обменных процессов [5]. Токсичность кадмия проявляется при очень низких концентрациях, вызывая у водных организмов ухудшения в работе сердечно-сосудистой системы, отмирание клеток печени, мутагенные процессы, патологию почек [6–8]. Чрезмерное накопление меди в организме гидробионтов вызывает нарушения клеточного метаболизма, дисбаланс регуляции ионов натрия, изменения в работе печени и кроветворной системы и некроз печени [9–11]. Высокие концентрации никеля вызывают нарушения углеводного и белкового обмена, приводят к разрушению печени, почек и селезёнки, а также оказывают канцерогенный эффект [12].

Цель работы — оценка содержания растворённых форм тяжёлых металлов в воде Нижнего Дона за период с 2020 по 2023 г. и выявление причин превышения нормативов.

Материалы и методы

Объектами исследований были пробы воды, отобранные в нижнем течении Дона поздней весной и ранней осенью с 2020 по 2023 г. Пробы ежегодно отбирали на восьми станциях наблюдений: в ст. Романовской (1), в г. Семикаракорске (2), в устьях рек Сал (3), Маныч (4), Аксай (5), ниже устья р. Темерник (6), ниже сброса городской канализации Ростова-на-Дону (7) и в гирле Мокрая Каланча (8) (рис. 1).

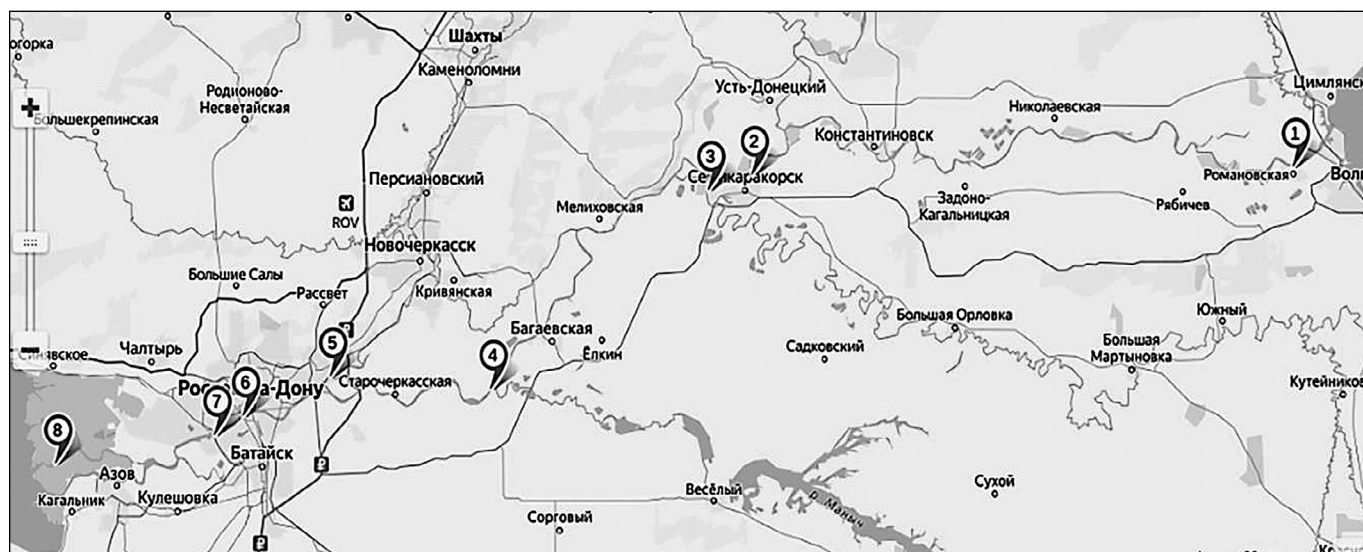


Рис. 1. Станции отбора проб воды в нижнем течении Дона.

Fig. 1. Water sampling stations in the Lower Don.

Для оценки загрязнения воды в нижнем течении Дона отобрано и проанализировано 128 проб. Всего выполнено 512 элементоопределений. Оценивали содержание растворённых форм меди, свинца, кадмия и никеля. Пробы отбирали по фарватеру реки с поверхностного горизонта (глубина 0,5 м) в соответствии с ГОСТ 31861–2012, фильтровали через предварительно подготовленные в лаборатории бумажные фильтры и фиксировали концентрированной азотной кислотой в соотношении 1 мл на 100 мл. Этапом подготовки проб воды к определению растворённых форм металлов является концентрирование. Данная процедура предотвращает действие посторонних веществ в пробах, повышая концентрацию определяемого компонента. Анализы на содержание растворённых форм тяжёлых металлов в воде проводили в соответствии с аттестованными методиками, используемыми для мониторинга водных объектов в рыбохозяйственных исследованиях [13, 14]. Исследуемые металлы имели определённые пределы обнаружения, которые установлены в аттестованных методиках путём многократных измерений сигнала холостой пробы и последующего вычисления стандартного отклонения. Величины пределов обнаружения методик установлены в лаборатории в соответствии с чувствительностью приборов.

Все исследования проводили в аккредитованной лаборатории аналитического контроля водных экосистем Аналитического испытательного центра Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО». Пробы воды анализировали на атомно-абсорбционном спектрометре МГА 915 МД («Люмэкс», Россия) и на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA 860 (фирма NIPPON-JARRELL ASH), поверенных Центром стандартизации и метрологии. Перед анализом для каждого металла были построены калибровочные кривые с использованием государственных стандартных образцов.

Сравнительную количественную оценку содержания тяжёлых металлов в пробах воды проводили в соответствии с нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативами предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах объектов рыбохозяйственного значения (ПДКр/х)*. Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы Microsoft Office Excel 2019.

Результаты

Сезонные изменения концентраций *меди* с погрешностями методов определения за весь период наблюдений представлены в таблице.

В 2020–2023 гг. концентрации меди в пробах воды варьировались в пределах от < 1 до 4 мкг/л. В некоторых пробах содержание Си превышало ПДКр/х (1 мкг/л). Такие превышения отмечены на протяжении всего периода, как весной, так и осенью, за исключением осени 2021 г. В 2020 г. на станциях в устье р. Аксай, ниже устья р. Темерник и в гирле Мокрая Каланча концентрации меди превышали ПДКр/х почти в два раза, а на станции ниже сброса городской канализации Ростова-на-Дону — почти в три раза в весенний период. Осенью превышения ПДК отмечены на станциях устья р. Аксай (в два раза), ниже устья р. Темерник (почти в четыре раза), ниже сброса городской канализации (в два раза) и в гирле Мокрая Каланча (в четыре раза). Весной 2022 г. в пробе, отобранной на станции ниже устья р. Сал, концентрация меди составила 3 мкг/л, что превысило ПДКр/х в три раза. Осенью также зафиксировано превышение ПДКр/х в два раза в пробе, отобранной

в районе устья р. Темерник. Весной 2023 г. выявлено максимальное превышение ПДКр/х за весь период. Концентрация составила 4,9 мкг/л, что почти в пять раз превысило допустимый предел на станции в г. Семикаракорске и в два раза — на станции устья р. Маныч.

Наши многолетние исследования концентраций меди в воде Нижнего Дона показали отсутствие выраженной сезонной динамики (рис. 2, а). Однако с 2020 по 2022 г. концентрация имела тенденцию к снижению, а в 2023 г. снова несколько повысилась.

Результаты исследований концентраций *свинца* за весь период наблюдений систематизированы в таблице.

На станциях устьев рек Аксай и Темерник, в районе сброса городской канализации Ростова-на-Дону, а также гирла Мокрая Каланча повышенные концентрации свинца чаще отмечались в осенний период. Так, в 2021, 2022 и 2023 гг. в устье р. Аксай обнаружены концентрации Pb 1,3; 0,6 и 0,6 мкг/л соответственно. Ниже устья р. Темерник концентрации свинца составили 0,7 в 2020 г. и 1,2 в 2022 г. В районе сброса городской канализации содержание свинца составило 0,6 мкг/л в 2020 г. и 0,9 мкг/л в 2022 г., в гирле Мокрая Каланча — 0,5 и 0,4 мкг/л в 2020 и 2022 гг. соответственно. В пробах воды содержание свинца нередко было выше пределов обнаружения, однако превышения ПДКр/х (6 мкг/л) за весь период исследований отмечено не было.

Полученные данные о содержании растворённого свинца в пробах воды показали, что весной 2020 г. концентрация этого элемента была высокой, а затем снизилась. Осенью средние концентрации свинца ежегодно были разными. Высокое усреднённое содержание отмечено в воде Нижнего Дона в 2022 г. (рис. 2, б).

В результате исследований установлено, что почти на всех станциях присутствовала чёткая сезонная динамика концентраций растворённого свинца в воде: в осенний период содержание было выше, за исключением станции 2, где весенние значения были выше (см. рис. 2, б).

В результате многолетних исследований также получены данные о содержании растворённой формы *кадмия* в пробах воды (см. таблицу).

За весь период исследования значимых концентраций растворённой формы кадмия не обнаружено. Содержание растворённого кадмия в воде варьировалось в пределах от 0 до 0,11 мкг/л. Концентрации кадмия, как и свинца, чаще всего были достаточно низкими и почти во всех пробах не превышали нижнего предела обнаружения (0,1 мкг/л).

Обнаружена тенденция к снижению средних показателей содержания кадмия в воде в весенний и осенний периоды. В 2023 г. усреднённая концентрация кадмия была выше, чем осенью 2022 г. (рис. 2, в).

За весь период исследований также проанализированы пробы воды на содержание растворённого *никеля*, результаты измерений представлены в таблице.

Концентрации Cd, по нашим наблюдениям, находились в пределах от 0 до 6,3 мкг/л. Содержание никеля в пробах воды имело определённую многолетнюю динамику. С 2020 по 2023 г. концентрации в пробах постепенно снижались. В 2020 г. максимальная концентрация (4 мкг/л) отмечена на станции ниже устья р. Маныч. В 2021 г. самое высокое значение (6,3 мкг/л) было зафиксировано на станции гирла Мокрая Каланча. В 2022 и 2023 гг. в районе сброса городской канализации концентрации Cd были заметно ниже: 2 и 2 мкг/л соответственно. Можно отметить, что за период наших наблюдений происходило снижение концентрации никеля в воде нижнего течения р. Дон. За весь период значения не достигали ПДКр/х (10 мкг/л).

Анализ среднего содержания никеля в пробах за весь период показал, что накопление Ni не имело зависимости от сезона. В 2020 г. концентрации были выше в весенний период, в 2021 и 2022 гг. — в осенний, а в 2023 г. — снова в весенний период (рис. 2, г).

* Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приложение к приказу Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552 (с изменениями на 10.03.2020 г.).

Содержание растворённых меди, свинца, кадмия, никеля в воде за весь период исследования (2020–2023 гг.), мкг/л
Content of dissolved copper, lead, cadmium, nickel for the entire study period (2020–2023), µg/L

Станция Station	2020 г.		2021 г.		2022 г.		2023 г.	
	Весна / Spring	Осень / Autumn	Весна / Spring	Осень / Autumn	Весна / Spring	Осень / Autumn	Весна / Spring	Осень / Autumn
<i>Медь (пределы обнаружения 1–30 мкг/л) / Copper (detection limits 1–30 mcg/L)</i>								
1	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)
2	< 1.0 (0.0)	1.3 ± 0.1	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	4.9 ± 0.5	< 1.0 (0.0)
3	< 1.0 (0.0)	1.2 ± 0.1	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	2.5 ± 0.3	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)
4	< 1.0 (0.0)	1.4 ± 0.1	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.1)	< 1.0 (0.0)	1.6 ± 0.2	< 1.0 (0.0)
5	2.2 ± 0.2	1.6 ± 0.2	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.1)	—	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.1)	1.4 ± 0.1
6	2.3 ± 0.2	3.7 ± 0.4	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.2)	—	2.2 ± 0.2	< 1.0 (0.2)	1.1 ± 0.1
7	3.6 ± 0.4	2.4 ± 0.2	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.1)	< 1.0 (0.1)	< 1.0 (0.0)	1.4 ± 0.1
8	2 ± 0.2	3.6 ± 0.4	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	< 1.0 (0.0)	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.12
<i>Свинец (пределы обнаружения 0,4–40 мкг/л) / Lead (detection limits 0.4–40 mcg/L)</i>								
1	< 0.4 (0.2)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.1)	< 0.4 (0.1)	< 0.4 (0.1)	0.6 ± 0.2	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)
2	1.4 ± 0.4	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.1)	< 0.4 (0.0)	1.0 ± 0.3	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)
3	< 0.4 (0.3)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	0.5 ± 0.1	< 0.4 (0.1)	< 0.4 (0.2)
4	< 0.4 (0.3)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	0.4 ± 0.1	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)
5	0.4 ± 0.1	1.3 ± 0.4	< 0.4 (0.1)	< 0.4 (0.0)	—	0.6 ± 0.2	< 0.4 (0.0)	0.6 ± 0.2
6	0.5 ± 0.7	0.7 ± 0.2	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	—	1.2 ± 0.4	< 0.4 (0.0)	< 0.4(0.0)
7	0.9 ± 0.3	0.6 ± 0.2	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.1)	< 0.4 (0.1)	0.9 ± 0.3	< 0.4 (0.1)	< 0.4 (0.1)
8	< 0.4 (0.0)	0.5 ± 0.1	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	< 0.4 (0.0)	0.4 ± 0.1	< 0.4 (0.1)	< 0.4 (0.2)
<i>Кадмий (пределы обнаружения 0,1–2 мкг/л) / Cadmium (detection limits 0.1–2 mcg/L)</i>								
1	< 0.10 (0.00)	0.11±0.06	< 0.10 (0.01)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)
2	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.03)	< 0.10 (0.05)	< 0.10 (0.01)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)
3	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.04)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)
4	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.04)	< 0.10 (0.01)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)
5	< 0.10 (0.02)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.02)	—	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.01)
6	< 0.10 (0.02)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.02)	—	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.01)
7	< 0.10 (0.02)	< 0.10 (0.01)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.02)	< 0.10 (0.02)
8	< 0.10 (0.01)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.01)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.00)	< 0.10 (0.01)	< 0.10 (0.01)
<i>Никель (пределы обнаружения 2–40 мкг/л) / Nickel (detection limits 2–40 mcg/L)</i>								
1	< 2 (0.4)	3 ± 1	6 ± 1	< 2 (0.0)	2 ± 0.3	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)
2	< 2 (0.1)	3 ± 1	4 ± 1	< 2 (0.0)	< 2 (0.1)	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)
3	< 2 (0.0)	3 ± 1	6 ± 1	< 2 (0.0)	< 2 (0.3)	< 2 (0.0)	< 2	< 2 (0.0)
4	< 2 (0.0)	4 ± 1	4 ± 1	< 2 (0.0)	< 2 (0.2)	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)
5	< 2 (0.0)	2 ± 0,3	4 ± 1	< 2 (0.0)	—	< 2 (0.0)	2 ± 0.3	2 ± 0.3
6	< 2 (0.0)	2 ± 0.3	4 ± 1	< 2 (0.0)	—	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)	2 ± 0.3
7	< 2 (0.1)	< 2 (0.0)	5 ± 1	< 2 (0.0)	2 (0.3)	< 2 (0.0)	2 ± 0.3	2 ± 0.3
8	< 2 (0.0)	2 ± 0.3	6 ± 1	< 2 (0.0)	2 (0.3)	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)	< 2 (0.0)

Примечание. Жирным шрифтом выделены концентрации, превышающие либо равные значению ПДКр/х (1 мкг/л) (пределы обнаружения тяжёлых металлов были выбраны в соответствии с методиками, по которым проводили определение их концентраций [13, 14]). В скобках указаны концентрации, полученные при анализах и рассчитанные с использованием оптической плотности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора (в инструкции к прибору AA 860 (фирма NIPPON-JARRELL ASH) приведена оптическая плотность, с помощью которой можно построить калибровочные графики для более низких концентраций, а также произвести расчёт концентраций металлов, значение которых ниже предела используемой методики).

Note: Concentrations exceeding MPC/x (1 mcg/L) are highlighted in bold. In parentheses there are indicated concentrations obtained during analyses and calculated using optical density in accordance with the operating instructions for the apparatus using.

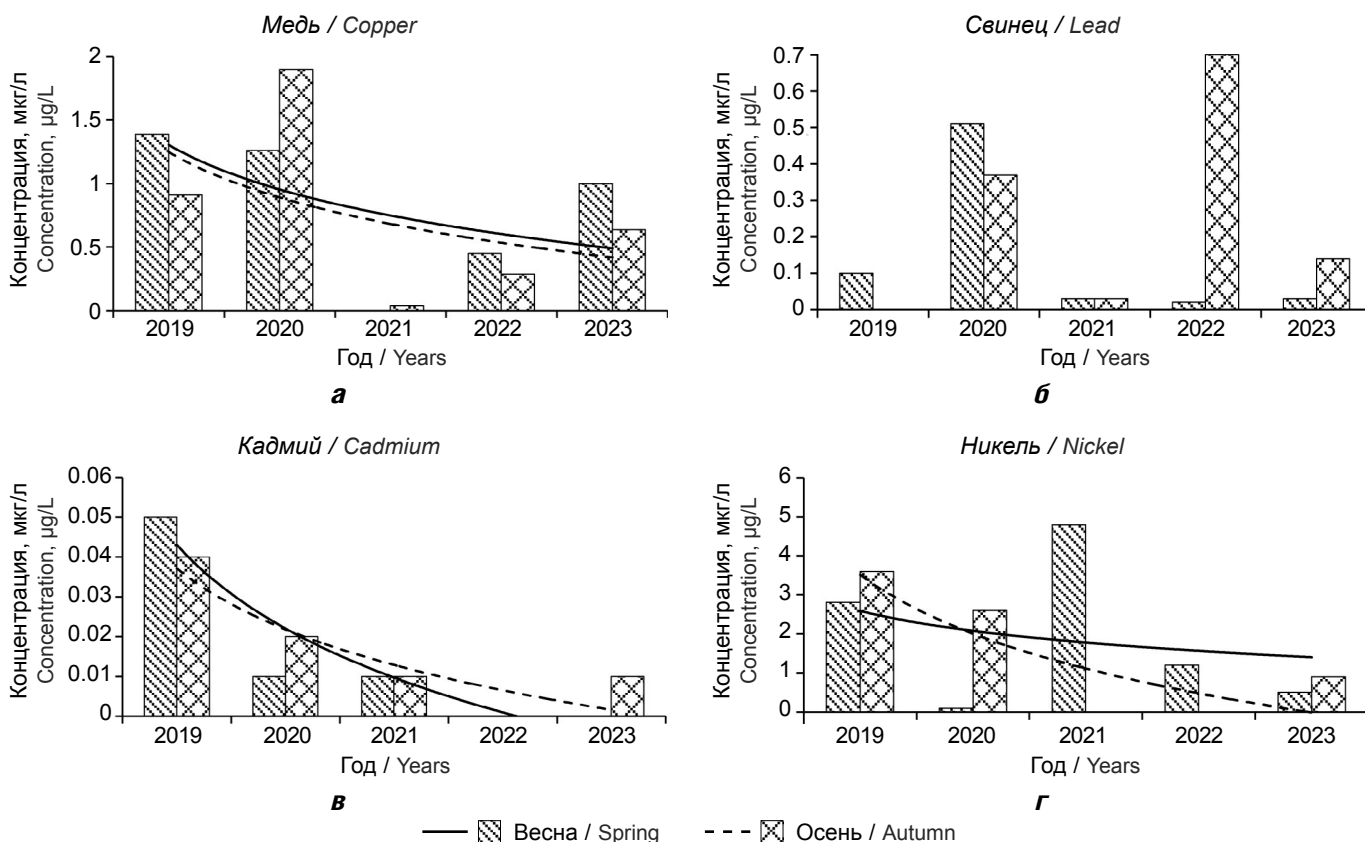


Рис. 2. Средние концентрации меди (а), свинца (б), кадмия (в), никеля (г) в воде р. Дон в весенний и осенний периоды (2019–2023 гг.), мкг/л.
Fig. 2. Average concentrations of copper (a), lead (b), cadmium (v), nickel (r) in water of the Don River during the spring and autumn periods (2019–2023), µg/L.

Обсуждение

Концентрации растворимой формы меди в пресных водоёмах обычно находятся в диапазоне от 0,5 до 1 мкг/л, но в городских районах данный показатель может достигать 2 мкг/л [15]. Основным источником поступления меди в р. Дон является сброс неочищенных сточных вод [16, 17]. Другая причина — размыв берегов в весенний период, который обуславливает смыв поверхностного почвенного слоя, содержащего данный токсикант [20]. До 85% земель Ростовской области отведены под сельскохозяйственные угодья [28]. Почвы на таких участках могут содержать соединения меди, поступающие в них из удобрений и пестицидов [31]. При исследовании сельскохозяйственных агроландшафтов установлено, что концентрации Cu превышали естественные кларки почв в 4,5 раза (1,6 ПДК), и при исследовании природных почв также отмечены превышения кларков меди [22, 28]. В работе [22] высказано мнение о влиянии пыльных бурь на попадание тяжёлых металлов из поверхностного слоя почв в водоёмы. Мы наблюдали закономерность, которая подтверждает данное предположение: ранней осенью 2020 г. на территории Ростовской области в течение нескольких дней были пыльные бури, и при исследовании проб воды, отобранных в осенний период, было установлено превышение ПДК меди почти на всех станциях за исключением расположенных в станице Романовская и в гирле Мокрая Каланча. На станции в устье р. Темерник в пробах воды периодически наблюдались превышения ПДК, и, вероятнее всего, это связано с попаданием загрязняющих веществ из Темерника в Дон. В работе [29] представлены данные о содержании различных токсикантов в р. Темерник, и в частности меди, концентрации которой были выше,

чем в р. Дон. Концентрации меди, превышающие ПДК, отмечались в 2020 и 2023 гг. в весенний и осенний периоды на станции в гирле Мокрая Каланча. Вероятнее всего, причиной послужил смыв тяжёлых металлов с почв при таянии снега весной и при дождях осенью. По данным [30], почвы в данном районе содержат медь в концентрациях, превышающих ПДК.

Также превышение ПДКр/х Cu в 1,6–2 раза описано в работе [18], причём максимальные значения определены в весенний период. Возможно, такова специфика Дона, поскольку схожие данные встречались ранее у других авторов [19, 20]. В работе Л.Ф. Павленко с соавт. [21] приведены данные за период с 2015 по 2019 г. и также описываются превышения ПДКр/х Cu в воде Нижнего Дона. Однако в этом исследовании превышение ПДКр/х (в 2,8–6,4 раза) отмечено только в одной точке отбора проб — в устье Темерника.

На основании полученных нами многолетних данных установлено, что выраженная сезонная динамика концентраций меди в воде Нижнего Дона отсутствует (см. рис. 2, а), однако с 2020 по 2022 г. она имела тенденцию к снижению, а в 2023 г. снова несколько повысилась. В работе Д.Н. Гарькуши и соавт. [22] описано превышение ПДК р/х Cu практически на всех точках отбора (от 1 до 14 мкг/л).

Концентрации свинца в пробах воды за весь период исследования варьировались в пределах от 0 до 1,4 мкг/л (см. таблицу). Поступление свинца в водоёмы обусловлено преимущественно антропогенными факторами: сточными водами металлургических и химических предприятий, мест отстоя и ремонта судов речного флота, выпусками канализационно-очистой станции, несанкционированными свалками, а также сточными водами и отходами сельского хозяйства [23]. Но, по нашим данным, концен-

трации Pb не превышали ПДКр/х, следовательно, были безопасны для рыбохозяйственной деятельности. В работе Л.Ф. Павленко и соавт. [21] самое высокое содержание свинца определено в 2016 г. (18 мкг/л), что в три раза превышает ПДКр/х, а в последующие годы все концентрации были ниже предела обнаружения. Ткаченко О.В. и соавт. [18] установлено, что в воде дельты Дона концентрации Pb также были ниже ПДКр/х.

За весь период исследования не обнаружено концентраций кадмия, превышающих ПДКр/х (5 мкг/л). В работе Павленко Л.Ф. и соавт. [21] отмечено, что содержание Cd в большинстве случаев не превышало нижней границы обнаружения. Самая высокая концентрация кадмия (всего 0,12 мкг/л) была отмечена в пробе, отобранной на станции сброса канализационных вод весной 2019 г. О.В. Ткаченко и соавт. [18] установили, что средние концентрации Cd были невысокими — 0,05 мкг/л. Поступление ионов кадмия в водоём может быть связано с выпадением загрязнённых атмосферных осадков, сбросом неочищенных сточных вод промышленных предприятий, вымыванием из сельскохозяйственных земель, а также водами, просачивающимися из хранилищ отходов (свалок) [24].

По некоторым литературным данным [25], средние концентрации никеля в незагрязнённых речных системах составляют от 0,8 до 10 мкг/л, а в реках с негативным антропогенным влиянием могут достигать 10 мкг/л. В 2011 г. Хорошевская В.И. и соавт. [26] исследовали содержание никеля в устье р. Аксай и обнаружили концентрацию 0,35 мкг/л. В работе Ткаченко О.В. и соавт. [18] показано, что средняя концентрация Ni в низовьях Дона составила 2,3 мкг/л в период с 2012 по 2014 г. Распространённые источники поступления никеля в окружающую среду — отходы и сточные воды, сбрасываемые в водоёмы в результате промышленной и коммунальной деятельности, попадание жидкого и твёрдого топлива [27].

Заключение

На протяжении всего периода исследования концентрации растворённой меди в некоторых пробах превышали ПДКр/х. Выраженной сезонной динамики не отмечено, но обнаружена тенденция снижения концентраций меди с 2020 по 2022 г. и повышение в 2023 г. Наиболее загрязнёнными оказались пробы, отобранные на станциях 6 и 8 (устье р. Темерник, гирло Мокрая Каланча). Высокие концентрации Си в пробах воды связаны с антропогенной нагрузкой (сбросы сточных вод, смывы при поливе сельскохозяйственных полей). Также немаловажную роль играют и естественные причины: размыв берегов в весенний период и пыльные бури в осенний период.

Превышений ПДКр/х растворённого свинца в пробах воды не отмечено. При изучении данных выявлена сезонная динамика: более высокие концентрации отмечались осенью почти на всех станциях. Наибольшее содержание Pb в воде отмечено в 2020 и 2022 гг.

Концентрации растворённого кадмия за весь период исследования были невысокими, превышений ПДКр/х не отмечено. С 2020 по 2022 г. наблюдалось снижение содержания ионов Cd в пробах, однако в 2023 г. отмечен рост данного показателя. Сезонная динамика отсутствовала.

Содержание в воде растворённого никеля не превышало ПДКр/х в течение всего периода исследования. С 2020 по 2021 г. показатели немного возросли, но в 2022 г. снова снизились. Отмечена сезонная динамика: содержание Ni в пробах воды было выше в весенний период.

По результатам проведённых нами исследований установлено, что содержание в пробах воды свинца, кадмия и никеля безопасно для целей аквакультуры и воспроизводства промысловых видов в нижнем течении Дона, так как превышений ПДК не обнаружено. Однако концентрации меди в некоторых пробах были выше ПДКр/х, что говорит о загрязнении водоёма и необходимости проведения комплексных мероприятий по очистке воды.

Литература

(п.п. 2, 3, 7–9, 11, 12, 27 см. References)

1. Морозова М.А., Мирзоян А.В. Экологические особенности формирования бактериоценоза ихтиофауны в природных условиях и в аквакультуре Нижнего Дона. *Фундаментальные исследования*. 2014; (12–8): 1672–6. <https://elibrary.ru/tfubef>
4. Заиченко А.В. Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами в условиях окружающей среды обитания. В кн.: *Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий: Сборник научных статей*. Красноярск, 09–10 ноября 2023 года. Красноярск; 2023: 181–6. <https://doi.org/10.47813/nto.4.2023.10> <https://elibrary.ru/zagbxa>
5. Полистовская П.А., Иванова К.П. Пути проникновения токсикантов в организм рыб. В кн.: *Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство: Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Красноярск; 2021: 177–80. <https://elibrary.ru/sejvec>
6. Крючков В.Н., Бутаева Н.Б., Омарова Х.Г., Дубовская А.В. Влияние экспериментальной интоксикации кадмием на морфофункциональные показатели почек рыб. *Вестник Дагестанского государственного университета. Серия I: Естественные науки*. 2018; 33(4): 121–8. <https://doi.org/10.21779/2542-0321-2018-33-4-121-128> <https://elibrary.ru/yumpyd>
10. Крюков В.И. Индукция микроядер в эритроцитах карпа при сочетанном действии ионов меди и низкочастотного переменного электромагнитного поля. *Биология в сельском хозяйстве*. 2018; (2): 17–31. <https://elibrary.ru/xphsxt>
13. Павленко Л.Ф., Короткова Л.И., Кораблина И.В., Каталевский Н.И., Скрыпник Г.В., Геворкян Ж.В. и др. *Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. Приоритетные токсиканты в воде, донных отложениях, гидробионтах*. Ростов-на-Дону: Мини Тайп; 2018. <https://elibrary.ru/zljzjx>
14. Барабашин Т.О., Кораблина И.В., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В., Короткова Л.И. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов азово-черноморского бассейна. *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2018; 1(3–4): 9–27. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_3-4_9 <https://elibrary.ru/ysevvz>
15. Карпенко Л.Ю., Полистовская П.А., Енукашвили А.И. Влияние тяжелых металлов на механическую прочность эпителия кишечника карпа. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2019; 1(41): 41–4. <https://doi.org/10.24411/2074-5036-2019-10013> <https://elibrary.ru/yzmoix>
16. Буфетова М.В. Оценка поступления и элиминации тяжелых металлов в Таганрогский залив Азовского моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2019; (2): 78–85. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-2-78-85> <https://elibrary.ru/zylsdz>
17. Нор Д.В. Загрязнение ионами меди природой воды. В кн.: *Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: Материалы 11-й Международной научно-технической конференции*. Омск; 2021: 260–1. <https://elibrary.ru/wtqqam>
18. Ткаченко О.В. Содержание тяжелых металлов в водных объектах дельты Дона: сезонная и пространственная динамика. *Геология, география и глобальная энергия*. 2016; (2): 76–84. <https://elibrary.ru/ubqwnz>
19. Хрусталев Ю.П. Особенности седиментогенеза в области влияния речного стока. В кн.: *Лавинная седиментация в океане*. Ростов-на-Дону; 1982: 59–71.
20. Мазур В.В., Доровских Г.Н. Геоэкологический аспект в аккумуляции меди донными отложениями и гидробионтами в бассейне верхнего и среднего течения реки Печора. *Успехи современного естествознания*. 2020; (4): 98–105. <https://doi.org/10.17513/use.37369> <https://elibrary.ru/uluhxl>
21. Павленко Л.Ф., Кораблина И.В., Барабашин Т.О., Экилик В.С. Приоритетные токсиканты в элементах экосистемы Нижнего Дона. *Водные ресурсы*. 2022; 49(3): 298–304. <https://doi.org/10.31857/S0321059622030117> <https://elibrary.ru/efjpsa>
22. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Предеина Л.М. Пространственно-временная изменчивость концентрации меди и цинка в воде ниж-

- него течения реки Дон. *Метеорология и гидрология*. 2022; (3): 106–17. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2022-3-106-117> <https://elibrary.ru/mdttrz>
23. Королев А.Н. Содержание свинца в водоемах села Большой Атмас Омской области. В кн.: *Экологические чтения-2021: XII Национальная научно-практическая конференция с международным участием*. Омск; 2021: 319–28. <https://elibrary.ru/mkjnel>
 24. Зарецкая Г.Н. Исследование содержания кадмия в воде реки Лютога (о. Сахалин). *Фундаментальные исследования*. 2004; (3): 103–4. <https://elibrary.ru/uijfnf>
 25. Филов В.А., Ивин Б.А., ред. *Вредные химические вещества. Неорганические соединения I–IV групп: Справочное издание*. Ленинград: Химия; 1988.
 26. Хорошевская В.О., Воробьева Т.И., Машуков Х.Х. Содержание ванадия, никеля и молибдена в воде реки Дон и Таганрогского залива. *Российский академический журнал*. 2011; 18(4): 35–6. <https://elibrary.ru/oojxhr>
 28. *Почвы геохимических ландшафтов Нижнего Дона и их экологическая характеристика: Монография*. Ростов-на-Дону – Таганрог; 2018.
 29. Экилик В.С. Загрязнение экосистемы реки Темерник приоритетными токсикантами. В кн.: *Дельты рек России: закономерности формирования, биоресурсный потенциал, рациональное хозяйствование и прогнозы развития. Материалы Международной молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова*. Ростов-на-Дону; 2018. <https://elibrary.ru/yumeact>
 30. Минкина Т.М., Федоров Ю.А., Невидомская Д.Г., Польшина Т.Н., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А. Тяжелые металлы в почвах и растениях устья реки Дон и побережья Таганрогского залива. *Почвоведение*. 2017; (9): 1074–89. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17070061> <https://elibrary.ru/zfunoh>
 31. Цыгвинцев П.Н., Гончарова Л.И., Манин К.В., Рачкова В.М. Определение оптимального содержания меди в почвах разного типа на основании динамической модели ее накопления в надземной биомассе и корнях растений (на примере ячменя *Hordeum vulgare* L.). *Сельскохозяйственная биология*. 2018; 53(3): 570–7. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.3.570rus> <https://elibrary.ru/xubbyd>

References

1. Morozova M.A., Mirzoyan A.V. Ecological features of bacteriocenosis ichthyofauna in natural conditions and in aquaculture Lower Don. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014; (12–8): 1672–6. <https://elibrary.ru/tfubef> (in Russian)
2. Nikel K.E., McCallum E.S., Mehdi H., Du S.N.N., Bowman J.B., Midwood J.D., et al. Fish living near two wastewater treatment plants have unaltered thermal tolerance but show changes in organ and tissue traits. *J. Great. Lakes. Res.* 2021; 47(2): 522–33. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.01.017>
3. Proshad R., Islam S., Tusher T.R., Zhang D., Khadka S., Gao J., et al. Appraisal of heavy metal toxicity in surface water with human health risk by a novel approach: a study on an urban river in vicinity to industrial areas of Bangladesh. *Toxin Reviews*. 2021; 40(4): 803–19. <https://doi.org/10.1080/15569543.2020.1780615>
4. Zaichenko A.V. Comparative assessment of heavy metal pollution in the environment. In: *Science, Technology, Society: Environmental Engineering in the Interests of Sustainable Development of Territories: A Collection of Scientific Articles*. Krasnoyarsk; 2023: 181–6. <https://doi.org/10.47813/nto.4.2023.10> <https://elibrary.ru/zagbxa> (in Russian)
5. Polistovskaya P.A., Ivanova K.P. Ways of penetration of toxicants into the body of fish. In: *Game and Fish Resources: Use and Distribution: Materials of the II All-Russian (National) Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk; 2021: 177–80. <https://elibrary.ru/sejvec> (in Russian)
6. Kryuchkov V.N., Butaeva N.B., Omarova Kh.G., Dubovskaya A.V. The effect of experimental intoxication with cadmium on the morphological and functional indicators of kidneys of fish. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya I: Estestvennye nauki*. 2018; 33(4): 121–8. <https://doi.org/10.21779/2542-0321-2018-33-4-121-128> <https://elibrary.ru/yumpyd> (in Russian)
7. Tolkou A.K., Toubanaki D.K., Kyzas G.Z. Detection of arsenic, chromium, cadmium, lead, and mercury in fish: effects on the sustainable and healthy development of aquatic life and human consumers. *Sustainability*. 2023; 15(23): 16242. <https://doi.org/10.3390/su152316242>
8. Vajargah M.F. A review on the effects of heavy metals on aquatic animals. *J. Biomed. Res. Environ. Sci.* 2021; 2(9): 865–9. <https://doi.org/10.37871/jbres1324>
9. Katiyar R., Patel A.K., Nguyen T.B., Singhania R.R., Chen C.W., Dong C.D. Adsorption of copper (II) in aqueous solution using biochars derived from *Ascophyllum nodosum* seaweed. *Bioresour. Technol.* 2021; 328: 124829. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124829>
10. Kryukov V.I. The simultaneous action of the copper ions and a low-frequency electromagnetic field induces micronuclei in the carp erythrocytes. *Biologiya v sel'skom khozyaistve*. 2018; (2): 17–31. <https://elibrary.ru/xpshxr> (in Russian)
11. Malhotra N., Ger T.R., Uapipatanakul B., Huang J.C., Chen K.H., Hsiao C.D. Review of copper and copper nanoparticle toxicity in fish. *Nanomaterials (Basel)*. 2020; 10(6): 1126. <https://doi.org/10.3390/nano10061126>
12. Sheikhzadeh H., Hamidian A.H. Bioaccumulation of heavy metals in fish species of Iran: a review. *Environ. Geochem. Health*. 2021; 43(10): 3749–869. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00883-5>
13. Pavlenko L.F., Korotkova L.I., Korablina I.V., Katalevskii N.I., Skrypnik G.V., Gevorkyan Zh.V., et al. *A Practical Guide to the Chemical Analysis of Elements of Aquatic Ecosystems. Priority Toxicants in Water, Sediments, and Hydrobionts [Prakticheskoe rukovodstvo po khimicheskomu analizu elementov vodnykh ekosistem. Prioritetnye toksikanty v vode, donnykh otlozheniyakh, gidro-biontach]*. Rostov-na-Donu: Mini Taip; 2018. <https://elibrary.ru/zljzjx> (in Russian)
14. Barabashin T.O., Korablina I.V., Pavlenko L.F., Skrypnik G.V., Korotkova L.I. Methodological support of pollution monitoring of the Azov and Black seas water bodies. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya*. 2018; 1(3–4): 9–27. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_3-4_9 <https://elibrary.ru/ysevvz> (in Russian)
15. Karpenko L.Yu., Polistovskaya P.A., Enukashvili A.I. Heavy metals' influence at carp's intestinal epithelium mechanical toughness. *Aktual'nye voprosy veterinarnoi biologii*. 2019; 1(41): 41–4. <https://doi.org/10.24411/2074-5036-2019-10013> <https://elibrary.ru/yzmoix> (in Russian)
16. Bufetova M.V. Assessment of income and elimination of heavy metals in the Taganrog Bay of the sea of Azov. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shelf'ovoi zon morya*. 2019; (2): 78–85. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-2-78-85> <https://elibrary.ru/zylsdz> (in Russian)
17. Nor D.V. Contamination of copper ions by the nature of water. In: *Equipment and Technology of Petrochemical and Oil and Gas Production: Materials of the 11th International Scientific and Technical Conference [Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva: Materialy 11-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii]*. Omsk; 2021: 260–1. <https://elibrary.ru/wtqqam> (in Russian)
18. Tkachenko O.V. Content of heavy metals in water objects of the delta of Don: seasonal and spatial dynamics. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*. 2016; (2): 76–84. <https://elibrary.ru/ubqwnz> (in Russian)
19. Khrustalev Yu.P. Features of sedimentogenesis in the field of influence of river runoff. In: *Lawine Sedimentation in the Ocean [Lavinnaya sedimentatsiya v okeane]*. Rostov-na-Donu; 1982: 59–71. (in Russian)
20. Mazur V.V., Dorovskikh G.N. Geoecological aspect in the accumulation of water and bottom sediments and hydrobionts in the river basin and the middle course of the Pechora River. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2020; (4): 98–105. <https://doi.org/10.17513/use.37369> <https://elibrary.ru/uluuhl> (in Russian)
21. Pavlenko L.F., Korablina I.V., Barabashin T.O., Ekilik V.S. Priority toxicants in elements of lower Don ecosystem. *Vodnye resursy*. 2022; 49(3): 298–304. <https://doi.org/10.1134/S0097807822030113> <https://elibrary.ru/fphrv> (in Russian)
22. Garkusha D.N., Fedorov Yu.A., Predeina L.M. Spatiotemporal dynamics of copper and zinc concentrations in the lower Don water. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2022; (3): 106–17. <https://doi.org/10.3103/S1068373922030098> <https://elibrary.ru/hssqgo> (in Russian)
23. Korolev A.N. Lead content in water bodies of Bolshoi Atmas village of Omsk region. In: *Environmental Readings-2021: The XII National Scientific and Practical Conference with International Participation [Ekologicheskie chteniya-2021: XII Natsional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem]*. Omsk; 2021: 319–28. <https://elibrary.ru/mkjnel> (in Russian)
24. Zaretskaya G.N. Investigation of cadmium content in the water of the Lyutoga River (Sakhalin Island). *Fundamental'nye issledovaniya*. 2004; (3): 103–4. <https://elibrary.ru/uijfnf> (in Russian)
25. Filov V.A., Ivin B.A., eds. *Harmful Chemicals. Inorganic Compounds of Groups I–IV: Reference Edition. [Vrednye khimicheskie veshchestva. Neorganicheskie soedineniya I–IV grupp: Spravochnoe izdanie]*. Leningrad: Khimiya; 1988. (in Russian)
26. Khoroshevskaya V.O., Vorob'eva T.I., Mashukov Kh.Kh. The maintenance of vanadium, nickel and molybdenum in river Don and gulf of Taganrog water. *Rossiiskii akademicheskii zhurnal*. 2011; 18(4): 35–6. <https://elibrary.ru/oojxhr> (in Russian)
27. Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M.S., Catalano A. Nickel: human health and environmental toxicology. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(3): 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
28. *Soils of Geochemical Landscapes of the Lower Don and Their Ecological Characteristics: Monograph [Pochvy geokhimicheskikh landshaftov Nizhnego Dona i ikh ekologicheskaya kharakteristi-ka: Monografiya]*. Rostov-na-Donu – Taganrog; 2018. (in Russian)

29. Ekilik V.S. Pollution of the Temernik River ecosystem with priority toxicants. In: *Russian River Deltas: Patterns of Formation, Bioresource Potential, Rational Management and Development Forecasts. Materials of the International Youth Scientific Conference in Memory of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences D.G. Matishov [Del'ty rek Rossii: zakonomernosti formirovaniya, bioresursnyi potentsial, ratsional'noe khozyaistvo i prognozy razvitiya. Materialy Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii pamyati chlena-korrespondenta RAN D.G. Matishova]*. Rostov-na-Donu; 2018. <https://elibrary.ru/ymeact> (in Russian)
30. Minkina T.M., Fedorov Yu.A., Nevidomskaya D.G., Polshina T.N., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A. Heavy metals in soils and plants of the Don river estuary and the Taganrog Bay coast. *Pochvovedenie*. 2017; (9): 1074–89. <https://doi.org/10.1134/S1064229317070067> <https://elibrary.ru/xnpyff> (in Russian)
31. Tsygvintsev P.N., Goncharova L.I., Manin K.V., Rachkova V.M. Estimation of the optimal cu content in different soil types based of the dynamic model for copper accumulation in aboveground parts and roots (on the example of barley *Hordeum vulgare* L. Plants). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2018; 53(3): 570–7. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.3.570rus> <https://elibrary.ru/xubbyd> (in Russian)

Сведения об авторах

Горгола Лилия Геннадьевна, вед. специалист лаб. аналитического контроля водных экосистем «АзНИИРХ», 344002, Ростов-на-Дону, Россия. E-mail: Lilia.Gorgola@yandex.ru

Барабашин Тимофей Олегович, канд. биол. наук, доцент каф. зоологии, Азово-Черноморский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии «АзНИИРХ», 344002, Ростов-на-Дону, 344002, Россия. E-mail: tobarabashin@sfedu.ru

Кораблина Ирина Владимировна, зав. лаб. аналитического контроля водных экосистем, «АзНИИРХ», 344002, Ростов-на-Дону, Россия. E-mail: korablinaiv@azniirkh.vniro.ru

Геворкян Жанна Владимировна, гл. специалист лаб. аналитического контроля водных экосистем, «АзНИИРХ», 344002, Ростов-на-Дону, Россия. E-mail: jannagevorkyan@yandex.ru

Денисова Татьяна Викторовна, доктор биол. наук, профессор каф. экологии и природопользования, Южный федеральный университет: Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского ЮФУ, 344090, Ростов-на-Дону, Россия. E-mail: tvdenisova@sfedu.ru

Information about the authors

Lilia G. Gorgola, Leading specialist of the Laboratory for Analytical Control of Aquatic Ecosystems, Azov-Black Sea Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-1685-0099> E-mail: Lilia.Gorgola@yandex.ru

Timofey O. Barabashin, PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Zoology, Southern Federal University, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-4103-6224> E-mail: tobarabashin@sfedu.ru

Irina V. Korablina, Head of the Laboratory for Analytical Control of Aquatic Ecosystems, Azov-Black Sea Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Rostov-on-Don 344002, Russian Federation. E-mail: korablinaiv@azniirkh.vniro.ru

Zhanna V. Gevorkyan, Chief Specialist of the Laboratory for Analytical Control of Aquatic Ecosystems, Azov-Black Sea Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation. E-mail: jannagevorkyan@yandex.ru

Tatyana V. Denisova, DSc (Biology), Professor of the Department of Ecology and Environmental Management, Southern Federal University, D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation. E-mail: tvdenisova@sfedu.ru