



Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 504.054

https://doi.org/10.47921/2619-1024_2024_7_3_22

EDN: AGURMN



ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ РЕКИ МОСКВЫ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2021–2023 ГОДАХ

С. Ю. Кладити*, Л. А. Духова, Е. В. Оганесова, Т. О. Барабашин

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(ФГБНУ «ВНИРО»), Москва 105187, Россия*

**E-mail: kladiti@vniro.ru*

Аннотация

Введение. Река Москва является ярким примером городского водотока, подвергающегося мощному и многообразному антропогенному воздействию. На протяжении многих лет в реке фиксируются повышенные содержания тяжелых металлов. Превышение предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения может привести к нарушению нормального функционирования водных экосистем. **Актуальность.** Обобщение трехлетних данных мониторинговых исследований р. Москвы позволит определить вклад природных и антропогенных источников в ее загрязнение. **Цель** работы — выявить динамику пространственно-временного распределения тяжелых металлов в воде р. Москвы, установить связь их пространственного распределения с гидрологическими сезонами, а также оценить влияние антропогенной нагрузки г. Москвы на реку. **Методы.** Пробы воды отбирали в течение 2021–2023 гг. в четыре гидрологических сезона. Определение тяжелых металлов в отобранных образцах было выполнено методом атомной абсорбции. **Результаты.** Проведен анализ данных по содержанию растворенных форм тяжелых металлов (железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома) в воде р. Москвы в разные сезоны 2021–2023 гг. и цинка в 2023 г. Выявлены изменения в пространственно-временном распределении тяжелых металлов, установлена его связь с гидрологическими фазами. Показано влияние городской инфраструктуры на формирование состава воды р. Москвы. На исследуемом участке реки установлены превышения нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}). **Выводы.** Отмечается загрязнение воды р. Москвы тяжелыми металлами, в первую очередь — железом, марганцем, медью и цинком. Для свинца, хрома, кобальта, никеля и кадмия превышения ПДК_{рх} не выявлено. Отмечены превышения установленных нормативов для большинства определяемых элементов в весенний период и снижение их концентраций летом.

Ключевые слова: тяжелые металлы, река Москва, антропогенное воздействие, ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения

DYNAMICS OF THE CONCENTRATIONS OF DISSOLVED HEAVY METALS IN THE MOSCOW RIVER WATER BASED ON THE DATA OF THE MONITORING SURVEYS CONDUCTED IN 2021–2023

S. Yu. Kladiti*, L. A. Dukhova, E. V. Oganeseva, T. O. Barabashin

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI “VNIRO”),
Moscow 105187, Russia
*E-mail: kladiti@vniro.ru

Abstract

Background. The Moskva River is a prime example of a natural urban watercourse subjected to strong and varied anthropogenic pressure. For many years, this river has been characterized by increased content of heavy metals. The exceedance of the maximum allowable concentrations of harmful substances in the waters of water bodies used for fishery can result in disruption of the normal functioning of aquatic ecosystems. **Relevance.** The summarized data collected over the course of monitoring surveys of the Moskva River for three years will be indicative of the relative contribution of natural and anthropogenic sources into its pollution. The *aim* of this work is to identify the dynamics of spatial and temporal distribution of heavy metals in the Moskva River water and its relation to hydrological seasons, as well as to assess the anthropogenic pressure exerted by the city of Moscow on the river. **Methods.** Water samples were collected in 2021–2023 during four hydrological seasons. Identification of heavy metals in the collected samples has been carried out using the atomic absorption method. **Results.** The analysis of the content of dissolved heavy metals (iron, cadmium, cobalt, manganese, copper, nickel, lead, and chrome) in the Moskva River water in various seasons of 2021–2023 has been conducted, and the same was done for zinc in 2023. The dynamics of the spatial and temporal distribution of these heavy metals has been identified, as well as its dependence on the hydrological phases. The influence of the urban infrastructure on the composition of the Moskva River water has been elucidated. Within the investigated area, the exceedance of the values prescribed by the water quality standards for the water bodies used for fishery (MAC_{fish}) has been recorded. **Conclusion.** The waters of the Moskva River have been characterized as polluted, mainly with iron, manganese, copper, and zinc. For lead, chrome, cobalt, nickel, and cadmium, no exceedance of the MAC_{fish} has been recorded. It has been found that the majority of the investigated elements were exceeding the values prescribed by the established standards in the spring season, but their concentrations decreased in summer.

Keywords: heavy metals, Moskva River, anthropogenic pressure, MACs for the water bodies used for fishery

ВВЕДЕНИЕ

Река Москва является ярким примером городского водотока, подвергающегося мощному и многообразному антропогенному воздействию. До влияния мегаполиса река имела закономерные экологические изменения от истоков к устью, но развитие г. Москвы привело к ее загрязнению [1, 2]. Изменение сезонной структуры стока под влиянием гидротехнических сооружений и других антропогенных воздействий [3], а также изменение гидрологического и температурного режима оказывают существенное влияние на формирование химического состава воды реки Москвы [4]. В настоящее время исследование миграции и трансформации загрязняющих веществ в природных водах является одной из основных задач мониторинга.

Одними из самых распространенных загрязнителей воды р. Москвы являются тяжелые металлы, т. к. в отличие от загрязняющих веществ органической природы, в той или иной степени разлагающихся в природных водах, соединения тяжелых металлов даже в микроконцентрациях достаточно стабильны и способны накапливаться в донных отложениях длительное время и после устранения источника загрязнения [5, 6], а затем снова мигрировать в воду. Для них характерна слабая биodeградация [7].

Большинство металлов в естественных условиях являются обычными биогенными элементами и присутствуют в водных объектах, не подвергающихся антропогенному воздействию, в фоновых количествах. Многие тяжелые металлы являются жизненно необходимыми для гидро-

бионтов и участвуют в процессах их роста, развития и репродукции. Однако потребность живых организмов в них невелика, и концентрации выше предельно допустимых делают их биологически опасными. В водных экосистемах тяжелые металлы могут проявлять различную токсичность. Резкое увеличение содержания одного или нескольких металлов в водоеме приводит к тому, что данный металл начинает действовать как токсикант, угнетая или целиком подавляя функции организма, которые он регулировал или активировал, находясь в малых количествах.

Важное значение имеет форма присутствия тех или иных металлов в воде. Считается, что именно природа комплексообразования, степень окисления и гидратации металлов являются основополагающими факторами, определяющими уровень их биоактивности и токсичности, поэтому в водных объектах рыбохозяйственного назначения нормируется содержание именно растворенных форм металлов [8].

Наряду с определением концентраций тяжелых металлов в воде р. Москвы особое значение имеет изучение общих закономерностей их распределения по течению реки в различные фазы водного режима. Проанализировав эти данные, можно предварительно оценить вклад антропогенной нагрузки города в загрязнение воды р. Москвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили пробы воды, отобранные на р. Москве в 2021–2023 гг. практически во все фазы гидрологического периода, которые характеризовались разными уровнями воды в реке: в период зимней межени (1-й квартал), в период весеннего половодья (2-й квартал), в период летней межени (3-й квартал) и в осенний период до начала процессов ледообразования (4-й квартал). Пробы были отобраны на 15 станциях, расположенных по течению р. Москвы, начиная с верховьев (д. Барсуки) до места впадения в реку Оку (г. Коломна). Схема расположения точек отбора проб представлена на рис. 1, краткое описание мест отбора проб приведено в табл. 1.

Определение содержания растворенных форм тяжелых металлов (железо (общее), кадмий, кобальт, марганец, медь, никель, свинец, хром, цинк) в пробах воды было выполнено на атомно-абсорбционном спектрометре Квант-Z.ЭТА с электротермической атомизацией согласно ГОСТ Р 57162-2016. Предварительно пробы были профильтрованы через фильтр размером пор 0,45 мкм и законсервированы раствором азотной кислоты.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Microsoft Excel. Для оценки статистической значимости различий между

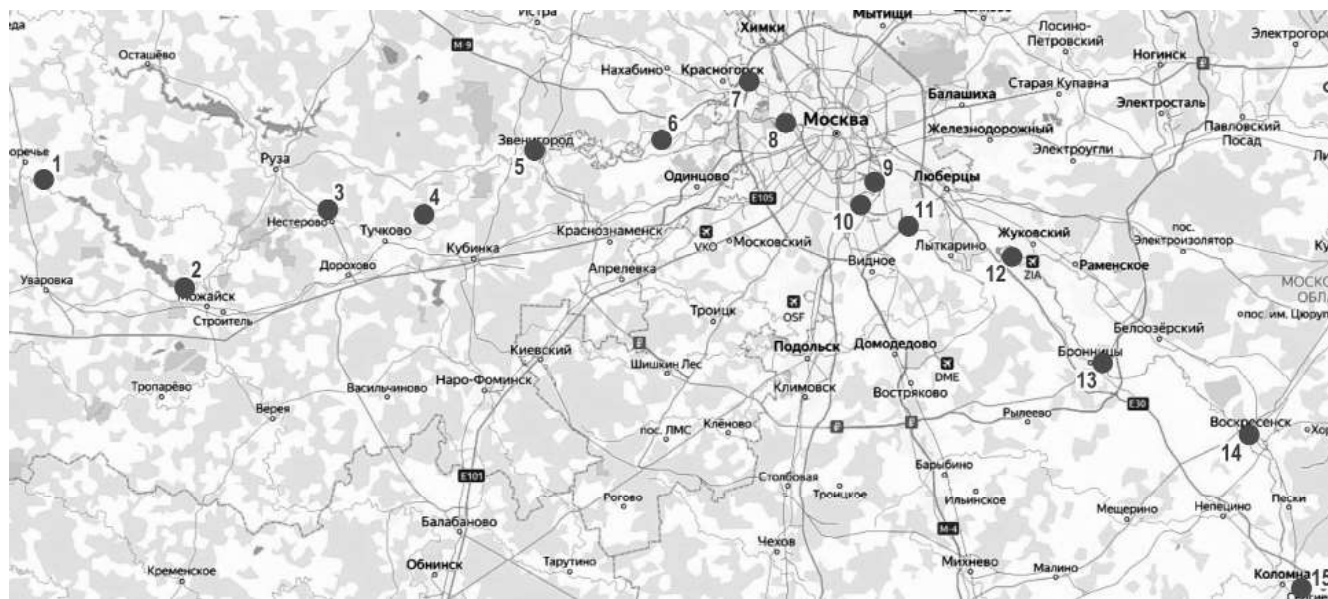


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора проб воды в реке Москве (г. Москва и Московская область) в 2021–2023 гг.

Fig. 1. Outline map of the location of water sampling points in the Moskva River (Moscow and Moscow Region) in 2021–2023

Таблица 1. Точки отбора проб воды в реке Москве (г. Москва и Московская область) в 2021–2023 гг.**Table 1.** Water sampling points in the Moskva River (Moscow and Moscow Region) in 2021–2023

Точки отбора проб Sampling points	Координаты Coordinates		Краткое описание мест отбора проб Brief description of the sampling sites
	Широта Latitude	Долгота Longitude	
1	55,687173	35,602128	д. Барсуки Barsuki Village
2	55,533182	35,966134	пос. Нижний Медико-инструментального завода Nizhny (Lower) Village of the Medical Supplies Factory
3	55,642071	36,323769	пос. Старая Руза Old Ruza Village
4	55,636049	36,568558	д. Бережки Berezhki Village
5	55,733009	36,898041	г. Звенигород Zvenigorod
6	55,743115	37,172916	с. Петрово-Дальнее Petrovo-Dalneye Village
7	55,828966	37,396605	г. Москва, Спасский мост Moscow, Spassky Bridge
8	55,768668	37,487578	г. Москва, пристань Верхние Мневники Moscow, Verkhniye Mnevniki Pier
9	55,683666	37,714093	г. Москва, р-н Печатники Moscow, Pechatniki District
10	55,650350	37,678109	г. Москва, микрорайон Курьяново Moscow, Kuryanovo Microdistrict
11	55,620100	37,800180	городской округ Дзержинский Dzerzhinsky City District
12	55,575835	38,063074	г. Жуковский Zhukovsky
13	55,422458	38,292610	г. Бронницы Bronnitsy
14	55,318211	38,665481	г. Воскресенск Voskresensk
15	55,082158	38,835692	городской округ Коломна Kolomna City District

сезонами и участками реки применяли критерий Манна–Уитни для парных сравнений и критерий Краскела–Уоллиса для множественных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Протяженность р. Москвы составляет 496 км, из которых 12 % протекает по территории города (в пределах Московской кольцевой дороги (МКАД)). В процессе мониторинговых работ было отобрано 15 проб на протяжении 320 км.

Согласно нашим наблюдениям, обследованное течение р. Москвы по степени загрязнения воды тяжелыми металлами можно условно разделить на 3 отрезка: от д. Барсуки до МКАД (станции 1–6), где концентрации почти всех определяемых тяжелых металлов наиболее низкие, и участки в черте города (станции 7–11) и ниже по течению (станции 12–15) с более высокими концентрациями. Полученные данные приведены в табл. 2.

Превышение ПДК_{рх} растворенных форм свинца, хрома, кобальта, никеля и кадмия в р. Москве за

Таблица 2. Диапазоны (в числителе) и средние концентрации тяжелых металлов (в знаменателе) в пробах воды р. Москвы в 2021–2023 гг., а также среднеквадратическое отклонение (в скобках), мкг/дм³**Table 2.** Ranges (in numerator) and average concentrations (in denominator) of heavy metals in the water samples collected in the Moskva River in 2021–2023, as well as the standard deviation (in parentheses), µg/dm³

Элемент Element	ПДК _{рх} * MAC _{fish} *	1 квартал 1 st quarter	2 квартал 2 nd quarter	3 квартал 3 rd quarter	4 квартал 4 th quarter
2021 г.					
Железо Iron	100	$\frac{40-131}{81 \pm 20 (27)}$	$\frac{58-256}{181 \pm 45 (47)}$	$\frac{4,3-101}{22 \pm 6 (24)}$	$\frac{34-310}{70 \pm 18 (68)}$
Марганец Manganese	10	$\frac{17-292}{133 \pm 24 (94)}$	$\frac{9,4-138}{66 \pm 12 (51)}$	$\frac{<1,0-1298}{124 \pm 22 (326)}$	$\frac{22-134}{75 \pm 14 (35)}$
Медь Copper	1	$\frac{<1,0-5,3}{1,7 \pm 0,7 (1,3)}$	$\frac{1,2-2,9}{1,7 \pm 0,7 (0,5)}$	$\frac{<1,0-3,3}{1,7 \pm 0,7 (0,7)}$	$\frac{<1,0-11}{2,2 \pm 0,9 (2,4)}$
2022 г.					
Железо Iron	100	$\frac{33-337}{88 \pm 22 (77)}$	$\frac{104-398}{196 \pm 49 (66)}$	$\frac{8,5-96}{27 \pm 7 (24)}$	$\frac{18-116}{40 \pm 10 (25)}$
Марганец Manganese	10	$\frac{18-218}{99 \pm 18 (63)}$	$\frac{11-114}{53 \pm 10 (34)}$	$\frac{<1,0-578}{65 \pm 12 (145)}$	$\frac{2,5-136}{62 \pm 11 (53)}$
Медь Copper	1	$\frac{<1,0-6,3}{2,1 \pm 0,8 (1,4)}$	$\frac{<1,0-2,2}{1,4 \pm 0,6 (0,3)}$	$\frac{<1,0-2,3}{1,0 \pm 0,4 (0,5)}$	$\frac{<1,0-4,6}{1,4 \pm 0,6 (1,0)}$
2023 г.					
Железо Iron	100	$\frac{29-299}{70 \pm 18 (69)}$	$\frac{127-360}{196 \pm 49 (58)}$	$\frac{8,1-407}{56 \pm 14 (104)}$	$\frac{13-364}{59 \pm 15 (88)}$
Марганец Manganese	10	$\frac{23-196}{105 \pm 19 (65)}$	$\frac{17-194}{96 \pm 17 (51)}$	$\frac{1,5-1240}{110 \pm 20 (315)}$	$\frac{10-217}{72 \pm 13 (56)}$
Медь Copper	1	$\frac{<1,0-3,1}{1,2 \pm 0,5 (0,7)}$	$\frac{<1,0-2,7}{1,6 \pm 0,6 (0,4)}$	$\frac{<1,0-3,1}{1,3 \pm 0,5 (1,0)}$	$\frac{<1,0-2,7}{1,7 \pm 0,7 (0,7)}$
Цинк Zinc	10	$\frac{8,3-76}{35 \pm 12 (26)}$	$\frac{8,5-27}{13 \pm 5 (6)}$	$\frac{6,4-20}{11 \pm 4 (4)}$	$\frac{3,4-47}{16 \pm 6 (14)}$

Примечание: *ПДК_{рх} — предельно допустимые концентрации вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (согласно Приказу Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения...»)

Note: *MAC_{fish} are the maximum allowable concentrations of harmful substances in the waters of water bodies used for fishery (according to the Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated December 13, 2016 No. 552 “On approval of water quality standards for water bodies used for fishery...”)

период исследования ни на одной станции обнаружено не было.

Концентрации *железа* на исследованном течении реки находились в диапазоне 4,3–407 мкг/дм³ весь период наблюдений. Максимальные концентрации этого элемента (256–407 мкг/дм³) фиксировались в верховьях р. Москвы в районе д. Барсуки (точка 1) практически во все сезоны. Далее по руслу на содержание в воде ионов железа ни Курьяновские очистные сооружения (ОС), ни другие стоки не оказывают значительного влияния.

Для ионов железа наблюдалась существенная межсезонная изменчивость: в половодье концент-

рации металла значительно возрастали по сравнению с другими сезонами и составляли в среднем 182 мкг/дм³ (± 33 мкг/дм³) (станции 3–15), а в сезон летней межени опускались до минимальных значений (18 мкг/дм³) (рис. 2А). Различия между значениями в весенний и летний сезоны были статистически значимы, $p < 0,0001$.

В остальное время в воде р. Москвы средние концентрации железа колебались в пределах 36–81 мкг/дм³.

Анализ данных за 3 года показывает, что закономерности изменения концентраций железа из года в год на одних и тех же станциях сохраняются (рис. 2Б).

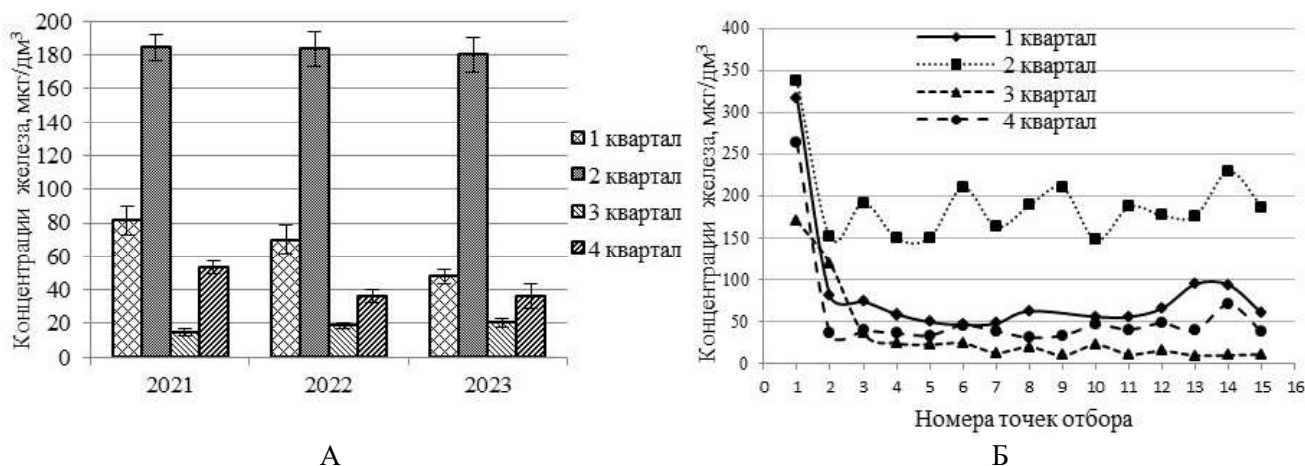


Рис. 2. А — межсезонная изменчивость средней концентрации железа общего в воде р. Москвы в 2021–2023 гг. на станциях 3–15 («усы» обозначают стандартную ошибку среднего); Б — продольная межсезонная среднегодовая изменчивость концентрации железа общего в воде р. Москвы на станциях отбора проб в 2021–2023 гг.

Fig. 2. А — inter-seasonal variability of the average concentration of total iron in the water of the Moskva River at the sampling stations 3–15 in 2021–2023 (“whiskers” indicate the standard error of the mean); Б — longitudinal inter-seasonal average annual variability of the total iron concentrations in the water of the Moskva River at the sampling stations in 2021–2023

Превышения ПДК_{рх} по железу в 2,5–4,0 раза в районе д. Барсуки, скорее всего, связаны с близостью болот, где концентрация гумусовых веществ достаточно велика [9, 10]. Сходная динамика концентраций этого элемента отмечена и в работах других авторов [11, 12]. Также, вероятно, железо поступает в реку с диффузными стоками с сельскохозяйственных полей, расположенных выше города.

Превышение ПДК_{рх} в сезон весеннего половодья в 1,8 раза (рис. 2) можно объяснить тем, что в период таяния снега железо активно поступает в реку с тальми водами. Аналогичная закономерность отмечена и некоторыми другими исследователями [13]. Низкие концентрации металла в летний период связаны со способностью железа к осаждению взвесей, которое происходит после весеннего половодья и характерно для речных систем [14]. Это дает возможность предположить, что загрязнение реки ионами железа имеет антропогенный характер только в сезон весеннего паводка, а в остальные сезоны обусловлено природными факторами. Сравнение концентраций железа в пробах воды, отобранных выше и ниже города, позволяет охарактеризовать степень привноса железа со сточными водами.

Отсутствие межгодовой изменчивости за период наблюдений для концентраций ионов железа

является положительной тенденцией. Например, в работах других авторов [15] в июне–июле 2012 г. была зафиксирована средняя концентрация железа по течению реки, равная 682,71 мкг/дм³, что значительно превышает полученные нами значения, даже для периода весеннего половодья. Отсюда можно сделать вывод о снижении концентрации железа в воде р. Москвы за последнее десятилетие как минимум в 4 раза, что может быть обусловлено улучшением качества очистки сточных вод.

Концентрации **марганца** за период исследования на протяжении реки варьировались от <1 до 1298 мкг/дм³. Резкое увеличение концентрации регулярно отмечалось на станции 2 (пос. Нижний) (1298 мкг/дм³ в 2021 г., 580 мкг/дм³ в 2022 г. и 1240 мкг/дм³ в 2023 г.) в летние периоды. Далее по течению содержание марганца постепенно снижалось, но в черте города и ниже снова возрастало до максимальных значений 192–292 мкг/дм³. Лишь в летний период в пробе воды, отобранной ниже г. Москвы, наблюдалось снижение концентраций до 1,0–8,8 мкг/дм³. Для марганца отсутствует четко определенная тенденция к росту или снижению концентрации из года в год (рис. 3).

Таким образом, превышение ПДК_{рх} для ионов марганца в пробах воды выявлено практически на всем протяжении реки (см. табл. 2). Максималь-

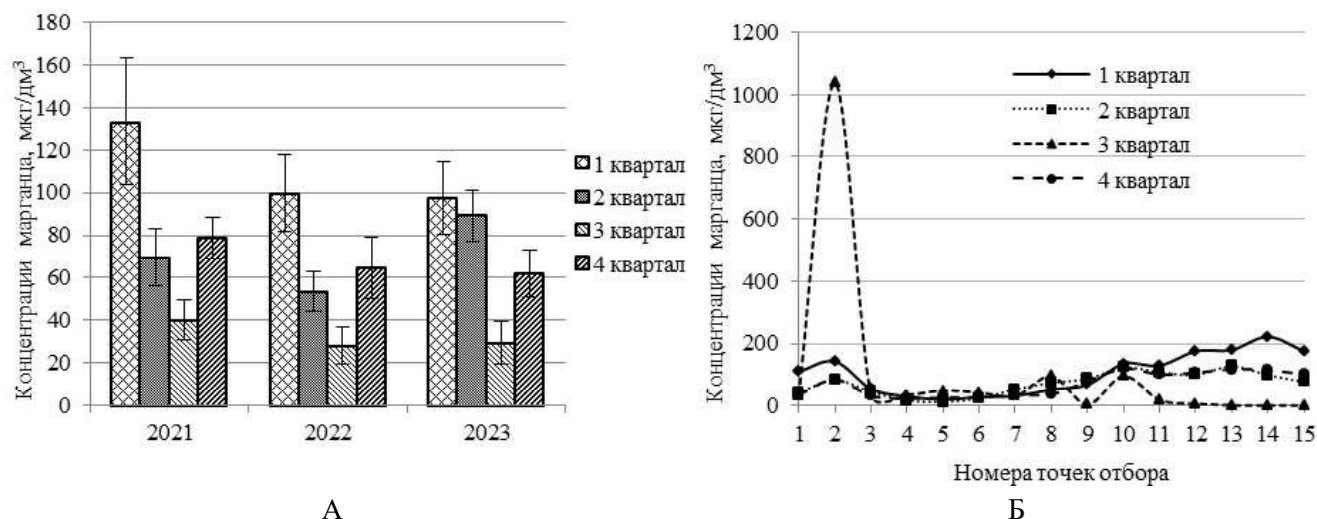


Рис. 3. А — межсезонная изменчивость средней концентрации марганца в воде р. Москвы в 2021–2023 гг. на станциях 1, 3–15 («усы» обозначают стандартную ошибку среднего); Б — продольная межсезонная среднегодовая изменчивость концентрации марганца в воде р. Москвы в 2021–2023 гг.

Fig. 3. А — inter-seasonal variability of the average concentration of manganese in the water of the Moskva River at the sampling stations 1, 3–15 in 2021–2023 (“whiskers” indicate the standard error of the mean); Б — longitudinal inter-seasonal average annual variability of the manganese concentrations in the water of the Moskva River in 2021–2023

ные значения наблюдались летом на станции 2 (58,0–129,8 ПДК_{рх}), куда вода попадает из глубинных слоев Можайского водохранилища, причем в летний период из-за ярко выраженного процесса стратификации водоема скачок концентрации марганца более выражен, чем в другие сезоны [16]. Подтверждением этого является резкое понижение температуры и содержания кислорода на данном участке реки. Известно, что на содержание марганца в воде значительно влияют окислительно-восстановительные реакции. При уменьшении содержания кислорода в воде содержание марганца увеличивается [17].

Изменение концентраций марганца в черте города и далее по течению, скорее всего, происходит под воздействием городской инфраструктуры, а также очистных сооружений. Концентрации этого элемента достаточно неоднородны на протяжении данного участка реки и варьируют от <0,1 до 29 ПДК_{рх} (различия между сезонами (станции 7–15) статистически значимы, $p < 0,0001$). Вероятно, поступающие в реку после очистки сточные воды не отвечают нормативным требованиям, предъявляемым к содержанию марганца.

Самоочищение реки после выхода из города (станции 12–15) происходит только в сезон летней межени. Концентрации марганца на данном участ-

ке летом не превышают ПДК_{рх}. Такая закономерность прослеживалась ранее и другими исследователями [13, 15]. Вероятно, это связано с тем, что в летний период происходит осаждение взвешенных веществ после половодья и, как следствие, понижение содержания растворенных форм марганца в воде. В сезон весеннего половодья средние концентрации марганца по течению реки увеличиваются. В остальные сезоны максимальные концентрации характерны для участка реки, относящегося к черте города, и ниже его по течению.

Анализ полученных данных за последние три года и сравнение их с более ранними данными других авторов [13, 15] показали, что уровень загрязнения воды р. Москвы ионами марганца практически не менялся.

Содержание *меди* по течению реки в период исследования варьировало от <1,0 до 10,7 мкг/дм³. При этом в верховьях реки (станции 1–6) в сезоны зимней, летней межени и осеннего паводка концентрации меди изменялись от <1,0 до 2,3 мкг/дм³ и на 73 % станций не превышали 1 мкг/дм³, а в черте города (станции 7–11) возрастали в среднем в 2–5 раз (различия между значениями на участках реки выше города и в черте города статистически значимы, $p < 0,0001$). Максимальные скачки концентраций (2,5–10,7 мкг/дм³) фиксировались в

районе Бесединского моста (точка 11). При поступлении в реку очищенных сточных вод от Курьяновских ОС в весенний, зимний и осенний сезоны наблюдается снижение содержания меди в воде в 1,1–1,6 раза. Возможно, это связано с осаждением металла в процессе очистки, в результате чего в реку поступают воды с меньшим содержанием меди. Лишь в сезон зимней межени в 2022 г. на станции 10 был однократно зафиксирован резкий скачок концентраций меди (6,3 мкг/дм³). В период весеннего половодья концентрации меди на всем протяжении исследуемого участка колебались в достаточно узком диапазоне от <1,0 до 2,9 мкг/дм³.

Превышения ПДК_{рх} меди наблюдаются в воде р. Москвы ежегодно уже на протяжении более чем 10 лет [13, 15, 18–20]. Участок реки выше города можно охарактеризовать как наиболее чистый, поскольку содержание меди на 73 % станций не превышает ПДК_{рх}. Далее, после пересечения МКАД, концентрация меди увеличивается в среднем до 1,5–3,7 ПДК_{рх}. Как было установлено ранее, 84 % меди поступает в реку со сточными водами [21]. Максимальные превышения (2,5–10,7 ПДК_{рх}) зафиксированы в районе Бесединского моста (точка 11), который находится на границе районов Братеево и Капотни. Протекающая там р. Москва собирает все столичные стоки. Согласно данным докладов «О состоянии окру-

жающей среды в городе Москве» за 2019–2022 гг. [18, 19, 22, 23], подобные превышения в районе Бесединского моста регистрируются регулярно, что говорит о том, что на данном участке реки сформировалась устойчивая зона загрязненности речных вод ионами меди. За чертой города концентрации меди в воде реки снижаются и превышают ПДК_{рх} не более чем в 2,7 раза.

В динамике последних трех лет существенно изменения в уровне содержания меди в воде р. Москвы не отмечено. Полученные результаты согласуются с данными других авторов [13, 18] (рис. 4).

Содержание **цинка** по течению реки за период исследования варьировалось от 3,4 до 76 мкг/дм³ (рис. 5). В верховьях реки (станции 1–6) концентрации цинка изменялись от 3,4 до 20 мкг/дм³, а в черте г. Москвы возрастали до 27–60 мкг/дм³ (различия между значениями на участках в верховьях реки и в черте города статистически значимы, $p < 0,05$). Максимальные значения были зафиксированы после Курьяновских ОС и в районе Бесединского моста. Далее по течению (станции 12–15) в весенний и осенний периоды концентрации цинка постепенно снижались до 14 мкг/дм³, а в сезон зимней межени, наоборот, резко возрастали до 76 мкг/дм³. Только в сезон летней межени концентрации цинка в черте города и далее по течению

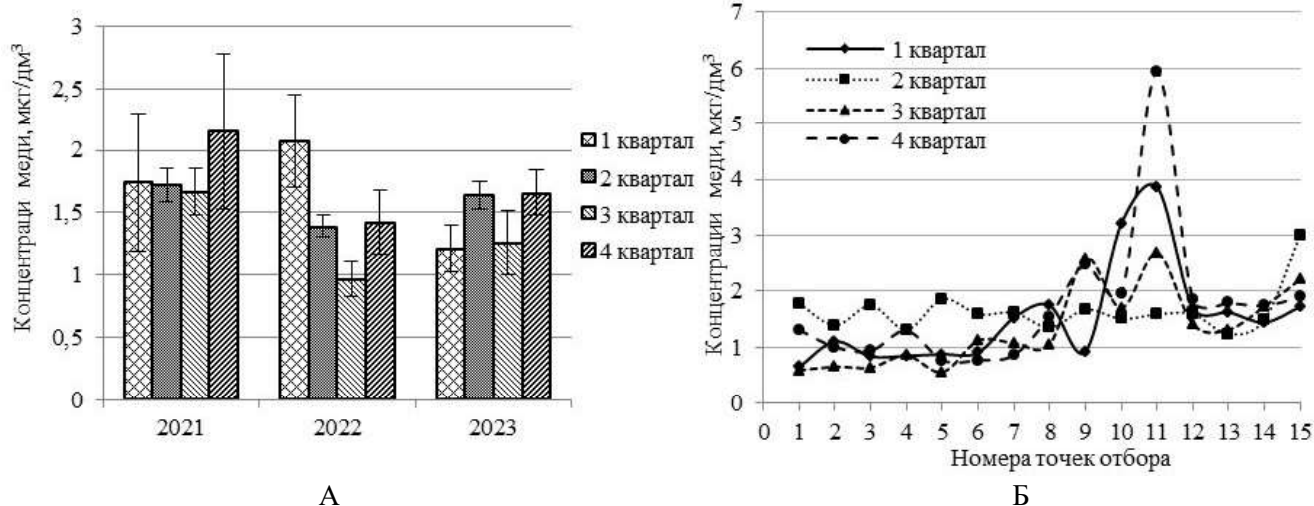


Рис. 4. А — межсезонная изменчивость средней концентрации меди в воде р. Москвы в 2021–2023 гг. на станциях 1–15 («усы» обозначают стандартную ошибку среднего); Б — продольная межсезонная среднегодовая изменчивость концентрации меди в воде р. Москвы в 2021–2023 гг.

Fig. 4. А — inter-seasonal variability of the average concentration of copper in the water of the Moskva River at the sampling stations 1–15 in 2021–2023 (“whiskers” indicate the standard error of the mean); Б — longitudinal inter-seasonal average annual variability of the copper concentrations in the water of the Moskva River in 2021–2023

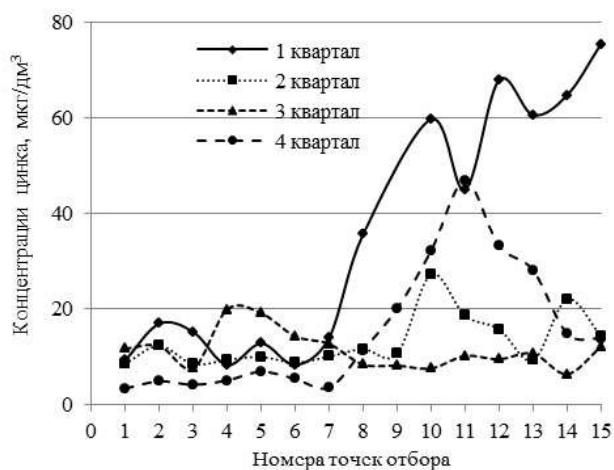


Рис. 5. Продольная межсезонная изменчивость концентрации цинка в воде р. Москвы в 2023 г.

Fig. 5. Longitudinal inter-seasonal variability of zinc concentration in the water of the Moskva River in 2023

(станции 7–15) практически не изменялись и варьировали от 6,3 до 13 мкг/дм³.

Похожая тенденция пространственного распределения цинка в воде р. Москвы наблюдалась в работах других авторов [15, 24]. Согласно Докладу «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2022 году», среднегодовые превышения (5,8 ПДК_{рх}) металла наблюдались в створах р. Москвы и ранее. На протяжении исследованного отрезка реки содержание цинка превышало ПДК_{рх} в 0,3–7,6 раза. Как наиболее чистый участок можно выделить верхнее течение реки, где концентрации цинка не поднимались выше 2,0 ПДК_{рх}. В черте города и далее по течению содержание цинка увеличивалось и превышало ПДК_{рх} в 1,3–7,6 раза, что, вероятно, связано с выпуском очистными сооружениями недостаточно очищенных сточных вод. Только в период летней межени содержание цинка в воде участка реки на территории г. Москвы и ниже по течению значительно снижалось. На концентрации металла не оказывают влияния ни городские стоки, ни сточные воды очистных сооружений. Отмечающийся зимой резкий рост концентраций цинка в черте города и ниже может быть связан с локальным выбросом загрязняющего вещества. Поскольку данные по содержанию металла в зимний период были получены однократно, трудно сделать точный вывод, носит ли данное загрязнение единичный или повторяющийся характер.

Концентрации свинца, хрома, кобальта, никеля и кадмия в пробах на всех станциях отбора не превышали нормативных требований. В более ранних работах [15] наблюдались превышения ПДК_{рх} по данным элементам. Снижение их концентраций до минимальных значений говорит об уменьшении количества поллютантов в сточных водах, что, в свою очередь, может свидетельствовать о снижении антропогенной нагрузки на реку.

ВЫВОДЫ

Превышение ПДК_{рх} растворенных форм свинца, хрома, кобальта, никеля и кадмия в воде р. Москвы за период исследования ни на одной станции обнаружено не было. Для железа, марганца, меди и цинка превышения установленных нормативов в ее воде наблюдаются ежегодно.

Установлено, что для железа характерны существенные межсезонные колебания с увеличением концентраций во время весеннего половодья (1,8 ПДК_{рх}) и снижением в другие гидрологические периоды (0,14–0,81 ПДК_{рх}).

Превышение ПДК_{рх} для ионов марганца наблюдалось практически на всем протяжении реки во все сезоны. Максимальные значения отмечены в черте г. Москвы и ниже по течению (19–29 ПДК_{рх}) и, вероятно, носят антропогенный характер. Летом в нижнем течении р. Москвы (станции 12–15) отмечался самый чистый участок, где содержание марганца во всех точках не превышало ПДК_{рх}.

В верхнем (станции 1–6) и нижнем (станции 12–15) течениях реки концентрации меди превышали ПДК_{рх} не более чем в 2,9 раза. Максимальные концентрации металла (2,5–10,7 ПДК_{рх}) были зафиксированы в районе Бесединского моста (точка 11), где р. Москва собирает все столичные стоки.

Похожая тенденция по пространственному распределению наблюдалась и для цинка. В верхнем течении его концентрации не поднимались выше 2,0 ПДК_{рх}, а в черте города и далее по течению увеличивались и превышали ПДК_{рх} в 1,3–7,6 раза, что, по всей видимости, связано с выпуском очистными сооружениями недостаточно очищенных сточных вод. Только в период летней межени содержание металла в реке не зависело от антропогенного влияния городской инфраструктуры.

По результатам трехлетнего мониторинга р. Москвы можно сделать вывод, что наиболее загрязненный тяжелыми металлами участок расположен в черте города, а также ниже по течению

реки. Полученные данные хорошо согласуются с работами других авторов, в которых также отмечено увеличение концентраций поллютантов в пределах мегаполиса, особенно после Курьяновских ОС и Бесединского моста, и выделены максимально чистые участки реки в верхнем ее течении. Анализ полученных данных показал, что уровень загрязнения воды р. Москвы тяжелыми металлами практически не менялся. Можно сказать, что процесс трансформации по отношению к тяжелым металлам в р. Москве в последние три года был достаточно стабилен.

Кроме того, следует отметить, что, несмотря на превышения ПДК_{рх} в воде для железа, марганца и меди, кратность этих превышений невелика, а сами они чаще всего носят сезонный и локальный характер. Вследствие того, что данные элементы относительно малотоксичны, исходя из данных мониторинга указанного спектра тяжелых металлов, общее состояние реки Москвы как среды обитания водных биоресурсов можно считать удовлетворительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Мельник К.С., Лукьянов К.В. Современные гидрологические изменения в бассейне реки Москва. *Метеорология и гидрология*. 2020. № 8: 22–28.
2. Неходцев В.А. Последствия техногенного погребения рек в городах (на примере Москвы). *Известия Российской Академии наук. Серия географическая*. 2021. Т. 85, № 2: 238–247. <https://doi.org/10.31857/S2587556621020126>.
3. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Изменение стока реки Москвы в результате антропогенных воздействий. *Водные ресурсы*. 2017. Т. 44, № 1: 3–14. <https://doi.org/10.7868/S0321059617010072>.
4. Духова Л.А., Оганесева Е.В., Кладити С.Ю., Трофимова В.В., Самойлова Т.А., Дмитриева Е.С., Лукьянова О.Н. Оценка гидрохимического режима и токсичности вод реки Москвы в 2021–2022 гг. *Морские исследования и образование (MARESEDU-2022) : труды XI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 24–28 октября 2022 г.)*. Тверь: Изд-во Центра морских исследований Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, ПолиПРЕСС, 2022. Т. 1 (4): 213–218.
5. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем. *Соросовский образовательный журнал. Биология*. 1998. № 5: 23–29.
6. Yaashikaa P.R., Senthil Kumar P., Jeevanantham S., Saravanan R. A review on bioremediation approach for heavy metal detoxification and accumulation in plants. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 301: e119035. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119035>.
7. Сает Ю.Е., Раевич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
8. Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. Приоритетные токсикианты в воде, донных отложениях, гидробионтах / под ред. Т.О. Барабашина. Ростов-н/Д.: Мини Тайп, 2018. 436 с.
9. Архипов В.С., Бернатонис В.К., Резчиков В.И. Железо в торфах Центральной части Западной Сибири. *Почвоведение*. 1997. № 3: 345–351.
10. Ревуцкая И.Л., Христофорова Н.К., Суриц О.В. Марганец в гидросфере Еврейской автономной области: поверхностные воды. *Вестник Евразийской науки*. 2020. Т. 12, № 6: 1–12. <https://doi.org/10.15862/02NZVN620>.
11. Шинкарева Г.Л., Ерина О.Н., Терешина М.А., Соколов Д.И., Руденко А.Ю., Лычагин М.Ю. Закономерности загрязнения Москвы-реки биогенными и потенциально токсичными веществами от истока до устья (по данным 2019 г.). *Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России : матер. III Всерос. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 25–27 ноября 2020 г.)*. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2020: 218–226.
12. О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2014 году : доклад / под ред. А.О. Кульбачевского. М.: Изд-во Департамента природопользования и охраны окружающей среды, НИА-Природа, 2015. 384 с.
13. Ерина О.Н., Терешина М.А., Шинкарева Г.Л., Соколов Д.И. Продольная трансформация природного фоновое качества воды реки Москвы. *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.)*. Пермь: Изд-во Пермского государственного национального исследовательского университета, 2021: 265–270.
14. Джамалов Р.Г., Никаноров А.М., Решетняк О.С., Сафронова Т.И. Воды бассейна Оки: химический состав и источники загрязнения. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2017. Т. 3: 114–132. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2017.21.3.114-132>.
15. Уваров А.Г. Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами реки Москвы и возможность использования макрофитов рода *Potamogeton* для биомониторинга тяжелых металлов в реке. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015. Т. 17, № 6: 150–158.
16. Кременецкая Е.Р., Ломова Д.В., Ефимова Л.Л., Терская Е.В. О влиянии стратификации водной толщи на содержание растворенных форм марганца и железа в придонной воде Можайского водо-

- хранилища. *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : труды VI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пермь, 29 мая – 1 июня 2017 г.)*. Пермь: Изд-во Пермского государственного национального исследовательского университета, 2017. Т. 2: 81–85.
17. Огрызкова О.С., Эйрих А.Н., Серых Т.Г., Дрюпина Е.Ю., Усков Т.Н., Папина Т.С. Сезонные изменения содержания марганца в воде Новосибирского водохранилища. *Известия Алтайского государственного университета*. 2014. № 2-3 (83): 176–180. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.2-31](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.2-31).
 18. Об уровнях загрязнения окружающей среды и радиационной обстановке на территории г. Москвы и Московской области в мае 2023 года : доклад. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/100/?year=2023&ID=100> (дата обращения 14.06.2024).
 19. О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году : доклад / под ред. А.О. Кульбачевского. М.: Изд-во Комплекса городского хозяйства города Москвы, 2020. 222 с.
 20. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году : государственный доклад. М.: Изд-во Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Изд-во Научно-производственного предприятия «Кадастр», 2018. 888 с.
 21. Рогозина Т., Фукс Ш., Вандер Р. Поступление вредных веществ в воду на примере бассейна реки Москвы. *Великие реки '2020 : труды конгресса XII Междунар. науч.-пром. форума (г. Нижний Новгород, 18–21 мая 2010 г.)*. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, 2011. Т. 1: 132–134.
 22. Бюллетень загрязнения окружающей среды Московского региона. Январь 2020 года / под ред. Н.А. Фурсова. М.: Изд-во Центрального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2020. 19 с.
 23. Бюллетень загрязнения окружающей среды Московского региона. Апрель 2021 года / под ред. Н.А. Фурсова. М.: Изд-во Центрального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2021. 15 с.
 24. Козлов А.В., Жевнеров А.В., Аникина Д.С. Тенденции эколого-гидрохимических и геохимических показателей природных вод из Москвы-реки в условиях центральной городской агломерации. *Успехи современного естествознания*. 2023. № 12: 88–95. <https://doi.org/10.17513/use.38176>.
 25. Nekhodtsev V.A. Posledstviya tekhnogenogo pogrebeniya rek v gorodakh (na primere Moskvu) [Consequences of man-made burial of rivers in cities (case of Moscow)]. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii nauk. Seriya geograficheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographic Series]*. 2021. Vol. 85, no. 2: 238–247. <https://doi.org/10.31857/S2587556621020126>. (In Russian).
 26. Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. Changes in Moskva R. runoff under anthropogenic impacts. *Water Resources*. 2017. Vol. 44, no. 1: 1–11. <https://doi.org/10.1134/S0097807817010079>.
 27. Dukhova L.A., Oganeseva E.V., Kladiti S.Yu., Trofimova V.V., Samoylova T.A., Dmitrieva E.S., Lukyanova O.N. Otsenka gidrokhimicheskogo rezhima i toksichnosti vod reki Moskvu v 2021–2022 gg. [Hydrochemical state and toxicity of the waters in the Moscow River in 2021–2022]. In: *Morskije issledovaniya i obrazovanie (MARESEDU-2022) : trudy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Moskva, 24–28 oktyabrya 2022 g.) [Marine research and education (MARESEDU-2022). Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference (Moscow, 24–28 October, 2022)]*. Tver: Tsentr morskikh issledovaniy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M.V. Lomonosova [Lomonosov Moscow State University Marine Research Center] Publ., PoliPRESS [PolyPRESS], 2022. Vol. 1 (4): 213–218. (In Russian).
 28. Budnikov G.K. Tyazhelye metally v ekologicheskom monitoringe vodnykh sistem [Heavy metals in ecological monitoring of water systems]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal. Biologiya [Soros Educational Journal. Biology]*. 1998. No. 5: 23–29. (In Russian).
 29. Yaashikaa P.R., Senthil Kumar R., Jeevanantham S., Saravanan R. A review on bioremediation approach for heavy metal detoxification and accumulation in plants. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 301: e119035. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119035>.
 30. Saet Yu.E., Raevich B.A., Yanin E.P. Geokhimiya okruzhayushchey sredy [Environmental geochemistry]. Moscow: Nedra [Earth's Interior], 1990. 335 p. (In Russian).
 31. Prakticheskoe rukovodstvo po khimicheskomu analizu elementov vodnykh ekosistem. Prioritetnye toksikanty v vode, donnykh otlozheniyakh, gidrobiontakh [Practice guidelines for chemical analysis of the components of aquatic ecosystems. Priority toxicants in water, bottom sediments, and hydrobionts]. T.O. Barabashin (ed.). Rostov-on-Don: Mini Tapp [Mini Type], 2018. 436 p. (In Russian).
 32. Arkhipov V.S., Bernatonis V.K., Rezchikov V.I. Iron in the peatlands of the Central part of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*. 1997. Vol. 30, no. 3: 298–303.
 33. Revutskaya I.L., Khristoforova N.K., Surits O.V. Marganets v gidrosfere Evreyskoy avtonomnoy oblasti:

REFERENCES

1. Koronkevich N.I., Kashutina E.A., Mel'nik K.S., Luk'yanov K.V. Modern hydrological changes in the Moskva River Basin. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2020. Vol. 45, no. 8: 533–537. <https://doi.org/10.3103/S1068373920080026>.

- poverkhnostnye vody [Manganese in the hydrosphere of the Jewish Autonomous Region: surface water]. *Vestnik Evraziyskoy nauki [Eurasian Scientific Journal]*. 2020. Vol. 12, no. 6: 1–12. <https://doi.org/10.15862/02NZVN620>. (In Russian).
11. Shinkareva G.L., Erina O.N., Tereshina M.A., Sokolov D.I., Rudenko A.Yu., Lychagin M.Yu. Zakonomernosti zagryazneniya Moskvyy-reki biogennymi i potentsial'no toksichnymi veshchestvami ot istoka do ust'ya (po dannym 2019 g.) [Patterns of pollution of the Moskva River with biogenic and potentially toxic substances from its source to the mouth (according to 2019 data)]. In: *Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii : materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Irkutsk, 25–27 noyabrya 2020 g.) [Modern trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia. Proceedings of the 3rd All-Russian Scientific and Practical Conference (Irkutsk, 25–27 November, 2020)]*. Irkutsk: Irkutskiy gosudarstvennyy universitet [Irkutsk State University] Publ., 2020: 218–226. (In Russian).
 12. O sostoyanii okruzhayushchey sredy v gorode Moskve v 2014 godu : doklad [On the environmental status of the City of Moscow in 2014. Report]. A.O. Kulbachevskiy (ed.). Moscow: Departament prirodopol'zovaniya i okhrany okruzhayushchey sredy [Department of Natural Resources Management and Environmental Protection] Publ., NIA-Priroda [National Information Agency “Natural Resources”], 2015. 384 p. (In Russian).
 13. Erina O.N., Tereshina M.A., Shinkareva G.L., Sokolov D.I. Prodol'naya transformatsiya prirodnoy fonovogo kachestva vody reki Moskvyy [Transformation of natural water quality along the Moskva River]. In: *Sovremennye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov : trudy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Perm', 27–30 maya 2021 g.) [Modern problems of reservoirs and their catchments. Proceedings of the 8th All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation (Perm, 27–30 May, 2021)]*. Perm: Permskiy gosudarstvennyy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet [Perm State National Research University] Publ., 2021: 265–270. (In Russian).
 14. Dzhamaalov R.G., Nikanorov A.M., Reshetnyak O.S., Safronova T.I. Vody basseyna Oki: khimicheskii sostav i istochniki zagryazneniya [The water of the Oka River Basin: chemical composition and sources of pollution]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya [Water and Ecology: Problems and Solutions]*. 2017. Vol. 3: 114–132. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2017.21.3.114-132>. (In Russian).
 15. Uvarov A.G. Otsenka stepeni zagryazneniya tyazhelymi metallami reki Moskvyy i vozmozhnost' ispol'zovaniya makrofitov roda *Potamogeton* dlya biomonitoringa tyazhelykh metallov v reke [Estimation of the extent of pollution by heavy metals in the Moscow River, and possibility of use the *Potamogeton* macrophytes for biomonitoring of the heavy metals in the river]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*. 2015. Vol. 17, no. 6: 150–158. (In Russian).
 16. Kremenetskaya E.R., Lomova D.V., Efimova L.L., Terskaya E.V. O vliyaniy stratifikatsii vodnoy tolshchi na sodержanie rastvorenykh form margantsa i zheleza v pridonnoy vode Mozhayskogo vodokhranilishcha [About the water column stratification influence on the dissolved manganese and iron content at the near bottom water in Mozhaisk Reservoir]. In: *Sovremennye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov : trudy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Perm', 29 maya – 1 iyunya 2017 g.) [Modern problems of reservoirs and their catchments. Proceedings of the 6th All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation (Perm, 29 May – 1 June, 2021)]*. Perm: Permskiy gosudarstvennyy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet [Perm State National Research University] Publ., 2017. Vol. 2: 81–85. (In Russian).
 17. Ogryzkova O.S., Eyrikh A.N., Serykh T.G., Dryupina E.Yu., Uskov T.N., Papina T.S. Sezonnaya izmeneniya sodержaniya margantsa v vode Novosibirskogo vodokhranilishcha [Manganese content seasonal dynamics in the water of Novosibirsk Reservoir]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta [Izvestiya of Altai State University]*. 2014. No. 2-3 (83): 176–180. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.2-31](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.2-31). (In Russian).
 18. Ob urovnyakh zagryazneniya okruzhayushchey sredy i radiatsionnoy obstanovke na territorii g. Moskvyy i Moskovskoy oblasti v mae 2023 goda : doklad [On the levels of environmental pollution and radiation situation within the territory of Moscow and Moscow Region in May 2023. Report]. Available at: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/100/?year=2023&ID=100> (accessed 14.06.2024). (In Russian).
 19. O sostoyanii okruzhayushchey sredy v gorode Moskve v 2019 godu : doklad [On the environmental status of the City of Moscow in 2019. Report]. A.O. Kulbachevskiy (ed.). Moscow: Kompleks gorodskogo khozyaystva goroda Moskvyy [Moscow City Economy Complex] Publ., 2020. 222 p. (In Russian).
 20. O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2017 godu : gosudarstvennyy doklad [On the status and protection of the environment of Russian Federation in 2017. State report]. Moscow: Ministerstvo prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii [Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation] Publ., Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie “Kadastr”

- [Scientific Production Enterprise “Cadastre” Publ., 2018. 888 p. (In Russian).
21. Rogozina T., Fuks Sh., Vander R. Postuplenie vrednykh veshchestv v vodu na primere basseyna reki Moskvy [Inflow of harmful substances into waters using the Moskva River Basin as an example]. In: *Velikie reki'2020 : trudy kongressa XII Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma (g. Nizhny Novgorod, 18–21 maya 2010 g.)* [Great rivers'2020. Congress reports of the 12th International Scientific and Industrial Forum (Nizhny Novgorod, 18–21 May, 2010)]. Nizhny Novgorod: Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet [Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering] Publ., 2011. Vol. 1: 132–134. (In Russian).
 22. Byulleten' zagryazneniya okruzhayushchey sredy Moskovskogo regiona. Yanvar' 2020 goda [Bulletin of the environmental pollution of Moscow Region. January 2020]. N.A. Fursov (ed.). Moscow: Tsentral'noe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy [Central Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring] Publ., 2020. 19 p. (In Russian).
 23. Byulleten' zagryazneniya okruzhayushchey sredy Moskovskogo regiona. Aprel' 2021 goda [Bulletin of the environmental pollution of Moscow Region. April 2021]. N.A. Fursov (ed.). Moscow: Tsentral'noe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy [Central Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring] Publ., 2021. 15 p. (In Russian).
 24. Kozlov A.V., Zhevnerov A.V., Anikina D.S. Tendentsii ekologo-gidrokhimicheskikh i geokhimicheskikh pokazateley prirodnykh vod iz Moskvy-reki v usloviyakh tsentral'noy gorodskoy aglomeratsii [The trends in ecological, hydrochemical and geochemical indicators of natural waters from the Moskva-river in conditions of the central urban agglomeration]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2023. No. 12: 88–95. <https://doi.org/10.17513/use.38176>. (In Russian).

Для цитирования: Кладити С.Ю., Духова Л.А., Оганесова Е.В., Барабашин Т.О. Динамика концентраций растворенных форм тяжелых металлов в воде реки Москвы по данным мониторинговых исследований в 2021–2023 годах. Водные биоресурсы и среда обитания. 2024. Т. 7, № 3: 22–35.

For citation: Kladiti S.Yu., Dukhova L.A., Oganeseva E.V., Barabashin T.O. Dynamics of the concentrations of dissolved heavy metals in the Moscow River water based on the data of the monitoring surveys conducted in 2021–2023. *Aquatic Bioresources & Environment*. 2024. Vol. 7, no. 3: 22–35.

Об авторах:

Кладити Софья Юрьевна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (105187, г. Москва, Окружной проезд, 19), ORCID 0000-0002-4036-3565, kladiti@vniro.ru

Духова Людмила Анатольевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (105187, г. Москва, Окружной проезд, 19), ORCID 0000-0002-1145-0977, dukhova@vniro.ru

Оганесова Елена Викторовна, начальник отдела рыбохозяйственной экологии ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (105187, г. Москва, Окружной проезд, 19), ORCID 0009-0002-0148-0520, oganesova@vniro.ru

Барабашин Тимофей Олегович, кандидат биологических наук, заместитель директора департамента водных биоресурсов и среды их обитания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (105187, г. Москва, Окружной проезд, 19), ORCID 0000-0002-4103-6224, barabashin@vniro.ru

Поступила в редакцию 20.06.2024

Поступила после рецензии 12.07.2024

Принята к публикации 16.07.2024

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант.

Received 20.06.2024

Revised 12.07.2024

Accepted 16.07.2024

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.