



УДК 556. 555.6

**МЕЖГОДОВАЯ И ВНУТРИГODOВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО
ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ**

Григорьева Ирина Леонидовна, к.г.н., старший научный сотрудник
ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук»
152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, 109

Чекмарева Екатерина Александровна, младший научный сотрудник
ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», филиал Ивановская
НИС
171251, Тверская область, г. Конаково, ул. Белавинская, 61-А

Панкова Наталья Юрьевна, ведущий инженер
ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», филиал Ивановская
НИС
171251, Тверская область, г. Конаково, ул. Белавинская, 61-А

Трошина Ирина Леонидовна, инженер
ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук», филиал Ивановская
НИС
171251, Тверская область, г. Конаково, ул. Белавинская, 61-А

*Работа выполнена в рамках темы 124032100076-2 Государственного задания ИБВВ РАН и
темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН*

Аннотация. Исследована временная изменчивость концентраций железа общего, меди, цинка, марганца, свинца, никеля и кадмия во входном и замыкающем створах Ивановского водохранилища и в воде его основных притоков рр. Волги и Тверцы. Представлены диапазоны концентраций исследованных микроэлементов за 2022-2024 гг. Показаны превышения предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного значения и хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Ключевые слова: Ивановское водохранилище, Волга, Тверца, микроэлементы, предельно - допустимые концентрации.

Введение

Качество воды водных объектов определяется как их макро-, так и микроэлементным составом. Кроме ухудшения качества воды микроэлементы как

способствуют, так и угнетают развитие гидробионтов. Наиболее пристальное внимание уделяется исследованию качества воды водных объектов питьевого и рыбохозяйственного назначения, каковым является Иваньковское водохранилище.

Исследование качества воды водохранилища и закономерностей и факторов его формирования проводятся сотрудниками Иваньковской научно-исследовательской станции Института водных проблем РАН с конца 70-х годов прошлого столетия по настоящее время. И если в первые годы наблюдений определения микрокомпонентного состава воды были эпизодическими, то с 2015 г. они стали регулярными (несколько раз в год) и практически ежемесячно с 2022 г. Некоторые результаты измерений обобщены авторами в ряде публикаций [1-2, 5-6].

Целью настоящей работы явилось исследование межгодовой и внутригодовой изменчивости концентрацией ряда микроэлементов во входном и замыкающем створах Иваньковского водохранилища и в замыкающих створах его главных притоков в последние годы.

Объект исследования – Иваньковское водохранилище, второе на Волге и первое в Волжско-Камском каскаде. Это крупный водоем комплексного использования и сезонного регулирования, созданный в 1937 г. Является источником питьевого водоснабжения г. Москвы. Основную роль в формировании водного и гидрохимического режима водохранилища играют рр. Волга и Тверца, существенный вклад вносят рр. Шоша и Лама. Малые притоки (Дойбица, Донховка, Орша, Созь, Инюха, Сучок) значительно ухудшают качество воды водохранилища на локальных участках и в своих устьевых зонах, находящихся в подпоре от водохранилища.

Материалы и методы

Детальное исследование микроэлементного состава воды Иваньковского водохранилища и его притоков проводилось в 2022–2024 гг. ежемесячно с конца зимнего периода (февраль-начало марта) по ноябрь–декабрь. Отбор проб воды в притоках производился из поверхностного горизонта на участках, находящихся вне подпора водохранилища, а также в его входном (Городня) и замыкающем (вход в канал им. Москвы) створах в соответствии с ГОСТ 3161-2012.

Химический анализ проб воды выполнен в аккредитованной химической лаборатории Иваньковской НИС - филиале ФГБУН ИВП РАН. Микроэлементный состав (растворенные формы меди, цинка, свинца, никеля, кадмия) определялся на атомно-абсорбционном спектрометре AA-6800F фирмы Shimadzu. Железо общее и марганец определяли фотометрическим методом по аттестованным методикам. Диапазоны концентраций измеренных ингредиентов представлены в таблицах 1–3.

Результаты и обсуждение.

Железо является одним из самых распространенных элементов в природе и всегда присутствует в водных объектах. Известно, что наибольшие концентрации его наблюдаются в шахтных и рудных водах. Повышенное содержание железа наблюдается также в болотных водах, в которых оно находится в виде комплексов с солями гуминовых кислот, гуматами [3]. В природных водных объектах концентрации железа общего колеблются в интервале от 0.01 до 0.09 [3].

Предельно допустимая концентрация железа общего для водоемов рыбохозяйственного значения ($ПДК_{рыб.}$) составляет 0.1 мг/дм^3 [4], а для поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования ($ПДК_{в.}$) – 0.3 мг/дм^3 . Наши исследования показали, что наиболее высокие концентрации железа общего наблюдаются в воде Тверцы, что объясняется значительной заболоченностью ее водосбора. Наименьшие максимальные концентрации отмечены в Волге, выше Твери. На входе и выходе из водохранилища максимальные концентрации железа общего практически одинаковые и превышают концентрации в воде Волги. Это свидетельствует о

значительном влиянии Тверцы и малых боковых притоков водохранилища на содержание железа общего в самом водохранилище. Внутригодовая изменчивость концентраций железа общего более значительная, чем межгодовая. Максимальные концентрации наблюдаются в предполоводный период и в половодье, минимальные концентрации отмечены, в основном летом, в июле и августе.

Таблица 1 – Диапазоны концентраций (min/max) железа общего и марганца в воде Иваньковского водохранилища и его притоков Волги и Тверцы в 2022-2024 гг.

Точки наблюдений	Железо общее, ПДК _{рыб.} – 0.1 мг/дм ³ ; ПДК _в – 0.3 мг/дм ³			Марганец, ПДК _{рыб.} – 0.01 мг/дм ³ ; ПДК _в – 0.1 мг/дм ³		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Тверца – Глазково	0.04(VIII)/ 0.65(VI)	0.07(VIII)/ 0.48(III)	0.05(VII)/ 0.37 (II)	0.01(VII)/ 0.17(III)	0.01(VIII)/ 0.09(II)	0.00(IV)/ 0.12(II)
Волга – выше Твери	0.04 (VII)/ 0.30 (IV)	0.08(VI)/ 0.37 (III)	0.04(VII)/ 0.25(III)	0.01(VI)/ 0.05 (XII)	0.00(X)/ 0.10(V)	0.00(V)/ 0.14(III)
водохранилище – Городня (вход)	0.04 (VII)/ 0.35 (IV)	0.04(VIII)/ 0.43(III)	0.04(VII)/ 0.47 (III)	0.01(VII) 0.08 (IV)	0.00(IV)/ 0.11(III)	0.02(VII)/ 0.14(II)
канал им. Москвы (выход)	0.02 (IX)/ 0.42(IV)	0.03(VIII)/ 0.40(III)	0.04(VII)/ 0.40 (II)	0.01(VII)/ 0.26 (IV)	0.001(VIII)/ 0.18(III)	0.00(VII)/ 0.22(II)

Максимальные зафиксированные концентрации железа общего превышали как ПДК_{рыб.}, так и ПДК_в.

Концентрации марганца в речных водах колеблются в интервале 0.001–0.160 мг/дм³ [3], для водоемов рыбохозяйственного значения ПДК составляет 0.01 мг/дм³ [4], а для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, в соответствии с СанПин 1.2.3685-21, ПДК равен 0.1 мг/дм³. Большинство зафиксированных концентраций марганца, как в воде водохранилища, так и в воде Волги и Тверцы превышали ПДК_{рыб.}, а максимальные концентрации превышали и ПДК_в.

В воде Волги и Тверцы, а также во входном створе водохранилища наблюдается существенная изменчивость максимальных концентраций. Наибольшие концентрации марганца зафиксированы зимой и в половодье. В зимний период высокие концентрации объясняются поступлением соединений марганца с подземным стоком, а в половодье – поступлением с заболоченных участков водосборов.

Таблица 2 – Диапазоны концентраций (min/max) цинка и меди в воде Иваньковского водохранилища и его притоков Волги и Тверцы в 2022-2024 гг.

Точки наблюдений	Цинк, ПДК _{рыб.} – 0.01 мг/дм ³ ; ПДК _в – 5 мг/дм ³			Медь, ПДК _{рыб.} – 0.001 мг/дм ³ ; ПДК _в – 1 мг/дм ³		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Тверца – Глазково	0.01(IX)/ 0.12(VII)	0.003(VIII)/ 0.04(VII)	0.02(X)/ 0.12(VII)	0.003(VI)/ 0.014(VII)	0.000(II)/ 0.009(VI)	0.003(IX)/ 0.021(VIII)
Волга – выше Твери	0.01 (IV)/ 0.08 (XI)	0.01(VIII)/ 0.04 (V,X)	0.01(VIII)/ 0.18 (IV)	0.002 (IV)/ 0.016 (VII)	0.003(V)/ 0.011(IX)	0.002(IV, VII)/ 0.016(VIII)
водохранилище – Городня (вход)	0.01(IV)/ 0.05(XII)	0.00(VIII)/ 0.04 (V)	0.00(VII)/ 0.08(IV)	0.002 (V)/ 0.072(VII)	0.004(XI)/ 0.011(IX)	0.004(III, IV, IX)/ 0.016(VIII)
канал им. Москвы (выход)	0.01(VIII)/ 0.04 (XI)	0.02(V)/ 0.05 (VIII)	0.01(VII)/ 0.22(II)	0.002 (V)/ 0.013(XI)	0.004(V)/ 0.020(X)	0.005(IX)/ 0.026(II)

Цинк относится к числу активных микроэлементов, влияющих на рост и нормальное развитие растительных организмов [3]. В речных водах концентрация цинка обычно колеблется от 0.003 до 0.120 мг/дм³. Предельно допустимая концентрация для водоемов

рыбохозяйственного значения составляет 0.01 мг/дм^3 [4], а ПДК_{в.} равняется 5.0 мг/дм^3 . Концентрации цинка в воде Иваньковского водохранилища в 2022-2024 гг. были или на уровне ПДК_{рыб.}, или превышали ПДК_{рыб.} в 2–22 раза и были ниже ПДК_{в.} во все сроки наблюдений. Отмечалась межгодовая и внутригодовая изменчивость концентраций. Максимальные концентрации цинка в воде Тверцы зафиксированы в летнюю межень, а в воде Волги выше Твери – в половодье и в осенние паводки. Во входном створе водохранилища максимальные концентрации отмечались или в зимнюю межень (2022 г.), или весной (2023, 2024 гг.). Самая высокая концентрация в канале имени Москвы отмечалась в феврале 2024 г. Роль Тверцы и Волги в поступлении цинка в водохранилище различна в разные годы. Во входном створе водохранилища концентрации обычно ниже, чем в притоках за счет разбавления. На выходе из водохранилища концентрации цинка могут быть такими же, как и на входе, или превышать их в отдельные годы (2024 г.).

Медь относится к числу активных микроэлементов, участвующих в процессе фотосинтеза и влияющих на усвоение азота растениями. Избыточное количество меди оказывает неблагоприятное воздействие на развитие гидробионтов. Диапазон изменения концентраций меди в последние три года составил 2-26 ПДК_{рыб.} и всегда ниже ПДК_{в.} Значительное поступление меди происходит в водохранилище в период половодья и летне-осенних паводков с болотными водами с водосбора.

Таблица 3 – Диапазоны концентраций (min/max) свинца и никеля в воде Иваньковского водохранилища и его притоков Волги и Тверцы в 2022-2024 гг.

Точки наблюдений	Свинец, ПДК _{рыб.} – 0.006 мг/дм^3 ; ПДК _{в.} – 0.01 мг/дм^3			Никель, ПДК _{рыб.} – 0.01 мг/дм^3 ; ПДК _{в.} – 0.02 мг/дм^3		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Тверца – Глазково	0.005 (IV)/ 0.025(VI)	0.002(III)/ 0.020(XII)	0.006(V)/ 0.043(IV)	0.003(V)/ 0.010(IX)	0.000(II)/ 0.007(V)	0.000(V)/ 0.023(VIII)
Волга – выше г. Тверь	0.003 (XI)/ 0.021(VI)	0.005(III)/ 0.022(X)	0.004(V)/ 0.036(II)	0.001(VIII) / 0.009(IX)	0.000(VI)/ 0.010(V)	0.002(IV, VII) / 0.012(VI)
водохранилище – Городня (вход)	0.004 (VIII)/ 0.020(V)	0.002(VIII) / 0.017(X)	0.001(V)/ 0.047(II)	0.002(VIII) / 0.009(XII)	0.001(VII) / 0.006 (III)	0.004(IV, VII) / 0.039(II)
канал им. Москвы (выход)	0.00 (VIII)/ 0.022(XI)	0.002(V)/ 0.027(VI)	0.001(VII) / 0.056(II)	0.003(V)/ 0.011(IX)	0.002(VII) / 0.005(IV, VIII)	0.001(V)/ 0.009(III)

Свинец оказывает токсическое воздействие на развитие гидробионтов и оказывает негативное влияние на качество воды. Из-за своей токсичности относится ко второму классу опасности. В естественные водоёмы соединения свинца попадают с атмосферными осадками и из-за вымывания из пород и почв. Использование тетраэтилсвинца в автомобильном топливе, бытовые отходы, сжигание угля – так же одни из самых распространённых способов попадания его в грунтовые и поверхностные воды.

Максимальные концентрации свинца в период наших наблюдений достигали 9 ПДК_{рыб.} и превышали значения, наблюдаемые в незагрязненных речных водах, которые составляют $0.0001\text{-}0.001 \text{ мг/дм}^3$. Все максимальные отмеченные концентрации свинца превышали и ПДК_{в.} Максимальные концентрации, зафиксированные в воде воды Тверцы, превышают таковые в воде Волги.

Никель принадлежит к числу канцерогенных элементов. В воду попадает из почв и из растительных и животных организмов при их распаде, а также со сточными водами цехов никелирования, заводов синтетического каучука и т.д.

Для водоемов рыбохозяйственного значения ПДК составляют 0.01 мг/дм³, а для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – 0.02 мг/дм³. В незагрязненных речных водах концентрации никеля составляют – 0.0008-0.010 мг/дм³ [3]. По нашим данным концентрации никеля в Иваньковском водохранилище и его основных притоков в 2022-2024 гг. были в основном ниже ПДК_{рыб.} и ПДК_{в.}

Кадмий, как и свинец, относится к токсическим элементам второго класса опасности. В незагрязненных речных водах его концентрации составляют субмикrogramмы [3].

По нашим данным в воде Тверцы диапазон концентраций кадмия составил в 2022 г. – 0.0003-0.0150 мг/дм³; в 2023 г. – 0.0001-0.023 мг/дм³; в 2024 г. – 0.0007-0.0076 мг/дм³. В воде реки Волги концентрации кадмия в 2022 г. колебались от 0.004 до 0.016 мг/дм³; в 2023 г. – от 0.0001 до 0.0020 мг/дм³; в 2024 г. – от 0.0003 до 0.0108 мг/дм³. Во входном створе Иваньковского водохранилища в 2022 г. концентрации кадмия варьировали от 0.004 до 0.0022 мг/дм³; в 2023 – от 0.0002 до 0.0023 мг/дм³; в 2024 г. – от 0.0006 до 0.0123 мг/дм³. В воде канала им. Москвы концентрации кадмия изменялись в 2022 г. от 0.0001 до 0.0021 мг/дм³; в 2023 г. – от 0.0004 до 0.0026 мг/дм³; в 2024 г. – от 0.0006 до 0.0047 мг/дм³. Наибольшие концентрации во всех створах наблюдений были зафиксированы в 2024 г. Часто отмечались концентрации, которые превышали ПДК_{в.} (0.001 мг/дм³).

Выводы. Исследования 2022-2024 гг. выявили межгодовую и внутригодовую изменчивость концентраций всех определяемых микроэлементов во входном и замыкающем створах Иваньковского водохранилища и в устьях рр. Волга и Тверца. Максимальные зафиксированные концентрации всех микроэлементов превышали предельно-допустимые концентрации для водоемов рыбохозяйственного значения. Концентрации меди не превышали предельно допустимые концентрации для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Отмечается увеличение содержания свинца и кадмия в воде водохранилища и его основных притоков.

Список литературы:

1. Григорьева И.Л., Панкова Н.Ю., Хрусталева Л.И. Содержание микроэлементов в воде Иваньковского водохранилища//Комплексные исследования водохранилищ и их водосборов: сборник научных трудов, посвященный 100-летию со дня рождения Ю. М. Матарзина / под ред. А. Б. Китаева; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2024. – С. 42-46.
2. Григорьева И.Л., Хрусталева Л.И. Содержание микроэлементов в воде водохранилищ Верхней Волги //Сборник материалов VI Всероссийской конференции по водной экотоксикологии «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы», посвященной 80-летию со дня рождения д.б.н. Б.А. Флерова (Борок, 14-17 сентября 2017 г.). – Ярославль: Филигрань, 2017. – С. 25–27.
3. Зенин А.А., Белоусов Н.В. Гидрохимический словарь. – Л.: Гидрометеиздат. 1977. –239 с.
4. Нормативы качества водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения // Приложение к приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. – №552 – 151 с.
5. Чекмарева Е.А., Григорьева И.Л. Оценка выноса биогенных элементов и тяжелых металлов малыми притоками в Иваньковское водохранилище // Труды IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». –Том 1. – Пермь, 2023. –Издательство: Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь). – С. 143-149.
6. Чекмарева Е.А., Григорьева И.Л. Содержание тяжелых металлов в воде притоков Иваньковского водохранилища //Сборник материалов VIII Всероссийской конференции по водной экотоксикологии, посвященной 85-летию со дня рождения Бориса Александровича

Флёрова «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН – Изд-во: Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (Борок), 2023. – С. 67-70.

INTERANNUAL AND INTRAANNUAL VARIABILITY OF THE CONTENT OF MICROELEMENTS IN THE WATER OF THE IVANKOVSKOYE RESERVOIR AND ITS MAIN TRIBUTARIES

Irina L. Grigoryeva, Ekaterina A. Chekmareva, Natalya U. Pankova, Irina L. Trochina

Abstract. The temporal variability of concentrations of total iron, copper, zinc, manganese, lead, nickel and cadmium elements at the entry and exit points the Ivankovo Reservoir and in the water of the Volga and Tvertsa tributaries was studied. We indicated the ranges of microelement concentrations for 2022-2024. The work showed high MPC for water-based fishing objects and for potable/nonpotable and recreational water use.

Keywords: Ivankovo reservoir, Volga, Tvertsa, trace elements, maximum permissible concentrations.