

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ»
(РУП «ЦНИИКИВР»)

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОГО
И КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ», ПРИУРОЧЕННОЙ
КО ВСЕМИРНОМУ ДНЮ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

22–24 марта 2023 года, г. Минск

Минск

Национальная библиотека Беларуси

2023

УДК 556.182(06) + 502.51:502.17(06) + 628.3(06)
ББК 38.761.2я431 + 26.22я431
С23

Ответственный редактор – кандидат биологических наук О. В. Ковзунова

Технический редактор – В. Д. Бладыко

Редакционная коллегия:

- Секция 1 «Гидрология. Гидрохимия и гидробиология водных объектов. Водоохранные территории» –
О. М. Таврыкина, к.с.х.н., доцент;
Секция 2 «Мониторинг поверхностных и подземных вод. Государственный водный кадастр.
Чрезвычайные ситуации на водных объектах. Моделирование» – И. А. Булак;
Секция 3 «Условия формирования, отведение, очистка и сброс сточных вод» – Ю. В. Голод;
Секция 4 «Охрана подземных вод при осуществлении хозяйственной деятельности» –
Е. А. Микулич;
Секция 5 «Водное богатство. Инвентаризация водных объектов Республики Беларусь» –
Е. И. Громадская;
Секция 6 «Молодежь в науке» – Д. В. Цубленок

Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные
С23 вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов», приуроченной
ко Всемирному дню водных ресурсов (Минск, 22–24 марта 2023 г.) / Министерство природных
ресурсов и охраны окружающей среды, РУП «ЦНИИКИВР» ; [отв. ред. О. В. Ковзунова]. –
Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2023. – 231 с., ил.
ISBN 978-985-7293-38-4.

В сборнике освещены современные и актуальные вопросы эффективного, всестороннего и комплексного использования водных ресурсов. Издание рассчитано на работников учреждений образования, научных сотрудников, профессорско-преподавательский состав, аспирантов, докторантов, студентов высших учебных заведений и учреждений последиplomного образования, а также специалистов в области природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Стилистика, пунктуация и орфография авторов сохранены. Автор несет ответственность за достоверность публикуемых данных.

УДК 556.182(06) + 502.51:502.17(06) + 628.3(06)
ББК 38.761.2я431 + 26.22я431

ISBN 978-985-7293-38-4

- © Составление. Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», 2023
- © Оформление. Государственное учреждение «Национальная библиотека Беларуси», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1 Гидрология. Гидрохимия и гидробиология водных объектов. Водоохранные территории.	4
СЕКЦИЯ 2 Мониторинг поверхностных и подземных вод. Государственный водный кадастр. Чрезвычайные ситуации на водных объектах. моделирование.	79
СЕКЦИЯ 3 Условия формирования, отведение, очистка и сброс сточных вод.	115
СЕКЦИЯ 4 Охрана подземных вод при осуществлении хозяйственной деятельности.	156
СЕКЦИЯ 5 Водное богатство. Инвентаризация водных объектов Республики Беларусь.	185
СЕКЦИЯ 6 Молодежь в науке	199

Оценка загрязненности донных отложений Иваньковского водохранилища тяжелыми металлами

Григорьева И.Л., Чекмарева Е.А.

Институт водных проблем РАН, Иваньковская НИС, г. Конаково, Россия
irina_grigorieva@list.ru

Резюме. Проведена оценка загрязненности донных отложений Иваньковского водохранилища водорастворимыми формами железа, марганца, меди, цинка, свинца, хрома с использованием индекса геоаккумуляции Мюллера (I_{geo}), суммарного показателя загрязнения Саета (Zn), коэффициента концентрации химического элемента (Kc) и коэффициента донной аккумуляции ($KДА$). Рассчитаны фоновые концентрации, получены формулы геохимических ассоциаций для наиболее загрязненных участков водохранилища. Проведено сравнение уровня загрязненности донных отложений в 2016–2019 гг. и в середине 90-х годов прошлого столетия.

Pollution assessment of the bottom sediments with heavy metals in the Ivankovo reservoir

Grigoryeva I., Chekmareva E.

Summary. Pollution was assessed in the bottom sediments by soluble in water forms of iron, manganese, copper, zinc, lead, chromium in the Ivankovo reservoir and then they used the index of geoaccumulation of the Muller classification (I_{geo}), the index pollution of the Saeta classification, the coefficient chemical element concentration (Cc) and the coefficient of bottom accumulation (CBA). Background concentrations were calculated and formulas of geochemical associations were obtained for polluted reservoir sites. We compared the level of pollution of bottom sediments in 2016–2019 and in the middle of 1990s of the XX century.

Введение

Донные отложения (ДО) – многокомпонентные образования, скапливающиеся на дне водоемов и водотоков в результате осаждения взвешенных частиц из толщи воды, абразионных процессов, отмирания водных организмов. Являются важной составной частью экосистемы водохранилищ и при определенных условиях могут быть источником вторичного загрязнения воды. Одними из наиболее токсичных загрязнителей донных отложений являются тяжелые металлы.

Цель исследований – количественная оценка загрязненности ДО Иваньковского водохранилища тяжелыми металлами.

Объект исследования – донные отложения Иваньковского водохранилища, первой ступени Волжско-Камского каскада водохранилищ и одного из основных источников питьевого водоснабжения Москвы. Водоохранилище является крупным водоемом долинного типа с коэффициентом водообмена около 10 год^{-1} осуществляющим сезонное регулирование стока. Водоохранилище мелководно, площадь акватории с глубинами до 2 м составляет около 50% от площади водного зеркала при НПУ (124 м абс.).

Материалы и методы исследования

Исследование загрязненности ДО проводили в 2016–2019 гг., точки отбора представлены на рисунке 1. Отбор и хранение проб ДО проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01–80, РД 52.24.609–2013. Пробы высушивали до воздушно-сухого состояния, проводили анализ по аттестованным методикам в химической лаборатории ИВНИС ИВП РАН (аттестат аккредитации RA.RU.21АН96). Водорастворимые формы тяжелых металлов (медь, цинк, свинец, хром, марганец) определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-6800F (производитель корпорация SHIMADZU, Япония).

Оценку химического состава ДО проводили с использованием: количественного индекса геоаккумуляции Мюллера (I_{geo}) [8], суммарного показателя загрязнения Саета Ю.Е. (Zc) [7], коэффициента концентрации химического элемента (Kc) [2], характеризующий интенсивность техногенной аномалии (отношение содержания элемента в ДО относительно его фонового содержания), коэффициента донной аккумуляции ($KДА$) [6], коэффициента среднего

накопления химических элементов R_x (как вариант коэффициента накопления Моксхэма) [3]. Использовалась формула геохимической ассоциации, которая характеризует качественный состав и структуру возможной геохимической аномалии, ее записывают с использованием коэффициента концентрации химического элемента (K_c). В геохимическую ассоциацию включаются элементы со значением $K_c \geq 1.5$ (то есть, где концентрация элемента в 1.5 раза превышает фон).

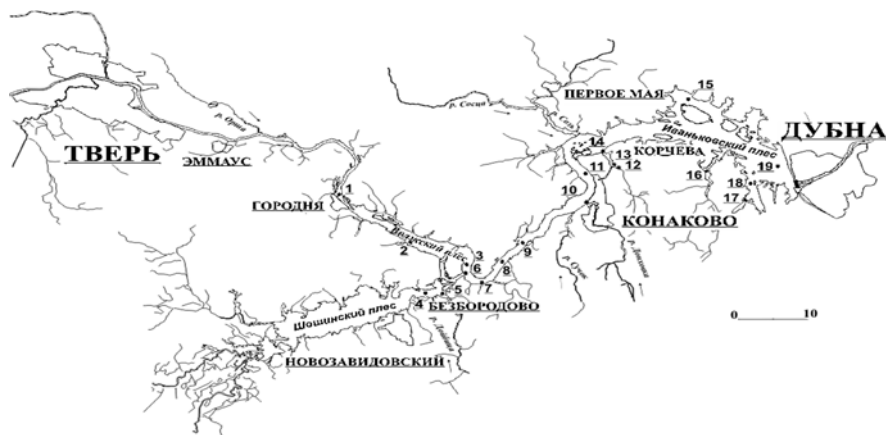


Рисунок 1 – Схема отбора проб донных отложений и проб воды Иваньковского водохранилища в 2018–2019 гг.

Точки отбора: 1 – с. Городня, 2 – п. Ст. Мелково, 3 – о. Низовка, 4 – Шошинский плес/д. Безбородово, 5 – устье р. Дойбица, 6 – устье Шошинского плеса, 7 – устье р. Терехова, 8 – «Дунькина гора», 9 – д. Плоски, 10 – устье р. Донховка, 11 – ниже г. Конаково/ЛЭП, 12 – Мошковичский залив/выше очистных сооружений г. Конаково, 13 – Мошковичский залив/очистные сооружения г. Конаково, 14 – устье Моковичского залива, 15 – устье Перетрусовского залива, 16 – устье Федоровского залива, 17 – устье Коровинского залива, 18 – устье Домкинского залива, 19 – верхний бьеф Иваньковской ГЭС

Анализ результатов

Фоновую концентрацию (C_f) ДО для Иваньковского водохранилища в целом и отдельно Мошковичского залива (таблица 1) определяли по каждому химическому элементу, она представляла собой минимальное содержание элемента в водохранилище в отобранной партии проб за летний сезон.

Таблица 1 – Фоновые концентрации C_f (мг/кг) элементов в пробах ДО за 2019 г.

№	Место отбора	Fe _{общ.}	Cu	Pb	Zn	Cr	Mn
1	Иваньковское вдхр.	129.16	0.70	0.14	2.08	0.16	1.91
2	Мошковичский залив	2.10	2.72	5	2.14	4	871

Уровень загрязнения донных отложений подвижными формами донных отложений по значению индекса I_{geo} в Иваньковском водохранилище изменяется от «незагрязненного» (0) до «чрезмерно загрязненного» (6) по концентрациям меди, «незагрязненного» (0) до «умеренно загрязненного» (2) по концентрациям марганца, свинца и цинка, от «незагрязненного» (0) до «сильно загрязненного» (4) по концентрациям хрома.

Для водохранилища характерны участки с удовлетворительным (благоприятным) экологическим состоянием водной экосистемы. По концентрациям меди «чрезмерно загрязненный» участок (зона бедствия) отмечен в верхнем бьефе Иваньковской ГЭС, «сильно загрязненный участок» у г. Конаково, участки с неблагоприятным состоянием (зона «кризиса») отмечены у п. Старое Мелково, Дунькина Гора, д. Свердлово, д. Плоски, устье р. Донховка, выше Мошковичского залива, в заливах Омутнинский и Перетрусовский и районе слияния Коровинского и Домкинского заливов. «Сильно загрязненный» (зона кризиса) участок для концентраций хрома расположен в р. Донховка, «среднезагрязненные» участки встречаются в д. Старое Мелково, на участке от устья Шошинского плеса до г. Конаково, заливах Омутнинский, Перетрусовский и в районе слияния Коровинского и Домкинского заливов).

Формулы геохимических ассоциаций для наиболее загрязненных участков Ивановского водохранилища следующие:

Шошинский плес (д. Безбородово): $Fe_{10.9} - Zn_{15.36} - Cu_{46.9} - Pb_9 - Cr_3 - Mn_{28}$

р. Дойбица (устье): $Zn_{17} - Fe_{4.8} - Cu_{45} - Pb_7 - Cr_{17} - Mn_{28.4}$

Шошинский плес (устье): $Zn_{17} - Fe_{9.3} - Cu_{44.7} - Pb_9 - Cr_{17} - Mn_{43.4}$

р. Терехова (устье): $Zn_{21.9} - Fe_{7.1} - Cu_{45.6} - Pb_8 - Cr_{25} - Mn_{35.6}$

Дунькина гора (русло): $Zn_{13.9} - Fe_{14.4} - Cu_{45.3} - Pb_8 - Cr_{23} - Mn_{26.4}$

д. Свердлово (левый берег): $Zn_{16.9} - Fe_{10.2} - Cu_{45} - Pb_7 - Cr_{16} - Mn_{62.2}$

р. Донховка (устье): $Zn_3 - Fe_{12.7} - Cu_6 - Pb_5 - Cr_2 - Mn_{30}$

залив Коровинский: $Zn_{1.5} - Fe_{4.1} - Cu_{2.3} - Pb_6 - Cr_2 - Mn_2$

Домкинский и Коровинский зал. (слияние): $Zn_{3.4} - Fe_{5.2} - Cu_{5.7} - Pb_{10} - Cr_9 - Mn_{79.8}$

R_x для исследованных проб ДО Ивановского водохранилища в 2019 г. равен 28.3 ед.

Для исследованных проб ДО в Ивановском водохранилище в 2019 г. Z_c равен 108.2 ед.

Оценка межгодового изменения коэффициента концентрации (K_c) по всему водохранилищу и на его отдельных участках показала, что наблюдается тенденция к увеличению всех элементов с середины 90-х годов XX века к настоящему времени. Концентрация марганца увеличилась от 0.5 до 2.7 единиц в период 1982–1998 гг. до 123.6 – в 2019 г., концентрация меди – от 0.9 до 5.5 единиц в период 1982–1998 гг. до 16.65 – в 2019 г., цинка – от 4.0 до 56.7 единиц в период 1982–1998 гг. до 7.51 – в 2019 г. Увеличение концентраций меди, цинка, свинца и марганца происходит преимущественно в устьях малых рек и ручьев, в заливах. Динамика средних значений коэффициента концентрации (K_c) в ДО заливов выявила, что происходит накопление свинца, меди и хрома в Коровинском и свинца в Мошковичском заливах с 1994 г. по настоящее время, заметно снижение K_c для цинка с начала 90-х годов XX века к настоящему периоду.

Анализ содержания тяжелых металлов в поровых водах выявил концентрации меди 0.0081–0.0234 мг/кг, цинка 0.0869–0.2188 мг/кг, хрома 0.291 мг/кг, марганца 0.7557–2.1413 мг/кг. Высокие концентрации цинка в ДО у п. Старое Мелково, очевидно, обусловлены деятельностью зверохозяйства «Мелковское». Марганец в ДО присутствует, в основном, в легко подвижной форме (до 77%) [4].

Средние значения коэффициента концентрирования тяжелых металлов в ДО Ивановского водохранилища в 2019 гг. превысили средние значения за период с 1982 по 1998 г. [1]. Максимальных значений из коэффициентов концентрирования за период оценки (1982–2017 гг.) достиг Pb (3.2 ед.).

Таблица 2 – КДА в донных отложениях Ивановского водохранилища, 2016–2017 гг., по [8]

№	Место отбора	$Fe_{общ.}$	Cu	Pb	Zn	Cr
1	Федоровский залив	$2.1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10$	7.0	$7.9 \cdot 10$	$2.4 \cdot 10$
2	Перетрусовский залив	$5.7 \cdot 10^4$	$5.5 \cdot 10$	$1.9 \cdot 10^2$	$9.0 \cdot 10$	$5.1 \cdot 10$
3	Омутнинский залив	$1.8 \cdot 10^5$	$5.9 \cdot 10$	$2.4 \cdot 10$	$1.0 \cdot 10^2$	$9.6 \cdot 10$
4	Домкинский залив	$1.3 \cdot 10^5$	$6.9 \cdot 10$	$2.7 \cdot 10$	$6.5 \cdot 10$	$4.8 \cdot 10^2$
5	Мошковичский залив	$3.6 \cdot 10^4$	$3.4 \cdot 10$	$4.1 \cdot 10$	$2.9 \cdot 10$	$8.9 \cdot 10$
6	Новосельский залив	$1.5 \cdot 10^5$	$8.3 \cdot 10$	$1.8 \cdot 10$	$4.5 \cdot 10$	$6.9 \cdot 10^2$
7	Коровинский залив	$9.4 \cdot 10^3$	$1.7 \cdot 10$	$2.5 \cdot 10$	$3.5 \cdot 10$	$2.5 \cdot 10$
8	д. Свердлово	$5.6 \cdot 10^4$	$2.7 \cdot 10$	–	1.9	–
9	д. Плоски	$6.9 \cdot 10^4$	$6.1 \cdot 10$	–	$1.0 \cdot 10$	–
10	уст. р. Донховка	$6.9 \cdot 10^4$	$6.1 \cdot 10$	–	$3.6 \cdot 10$	–
11	«Дунькина Гора»	$6.8 \cdot 10^4$	6.9	–	8.0	–
12	уст. р. Терехова	$4.5 \cdot 10^4$	$2.5 \cdot 10$	–	8.4	–
13	д. Заборье	$6.3 \cdot 10^4$	$2.8 \cdot 10$	–	$1.1 \cdot 10$	–
14	Шошинский плес	$8.8 \cdot 10^4$	$3.9 \cdot 10$	–	0.6	–

Наиболее высокие значения коэффициента донной аккумуляции наблюдаются у железа общего ($9.4 \cdot 10^3$ – $2.1 \cdot 10^5$). Железо общее является загрязняющим веществом природного происхождения, характерным для данного региона, в связи с высокой заболоченностью

водосборной территории Иваньковского водохранилища. Накопление различных форм железа происходит в водохранилище повсеместно, в основном, железа 2-х валентного (Fe^{2+}), что связано, предположительно, с выносом железа со сточными водами. Так, в районе очистных сооружений г. Конаково (Мошковичский залив), в 2018 г. зафиксировано содержание Fe^{2+} составило 43354 мг/кг. Исключение составляют заливы Омутнинский, Перетрусовский, Федоровский, Домкинский, где преобладает железо 3-х валентное (Fe^{3+}), поступающее в залив с водами с заболоченного водосбора. Содержание железа общего в пробах ДО в 2019 г. изменялось в пределах от 2310 мг/кг до 34879 мг/кг, снижаясь на проточных участках, при этом преобладали ионы Fe^{3+} в общем содержании элемента. Коэффициент донной аккумуляции (КДА) для железа общего в донных отложениях Иваньковского водохранилища изменяется с $1.6 \cdot 10^4$ по $1.1 \cdot 10^6$, т.е. наблюдается стойкое «высокое хроническое загрязнение».

Выводы

Исследования показали, что в ДО Иваньковского водохранилища идет накопление основных загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, на участках, испытывающих значительную антропогенную нагрузку, это: устье рр. Донховка и Терехова, район очистных сооружений г. Конаково, устья ряда заливов Иваньковского плеса, участки дна около населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных зон. На этих участках при определенных условиях возможно локальное вторичное загрязнение воды водохранилища. Накопление загрязняющих веществ в ДО водохранилища часто связывают с органическим веществом. Это позволяет выделить возможные зоны загрязнения водохранилища в зависимости от типов отложений. Для Иваньковского водохранилища загрязняющим донные отложения веществом природного происхождения является железо общее, техногенного – цинк и свинец.

Со сточными водами в водоемы и водотоки поступают: хлориды, сульфаты, взвешенные вещества, легкоокисляющиеся органические вещества по БПК_{полн} и БПК₅, органический и минеральный фосфор, аммонийный и нитратный азот, нефтепродукты, СПАВ, медь, цинк, никель, хром. Химические соединения в составе сточных вод могут являться депонирующей средой и накапливать загрязняющие вещества.

При оценке уровня загрязнения ДО в водохранилищах необходимо учитывать региональные фоновые показатели и особенности гидрологического и гидрохимического режимов водохранилища, выявлять участки с высокой нагрузкой, используя данные об источниках загрязнения.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН.

Список литературных источников

1. Бреховских, В. Ф. Донные отложения Иваньковского водохранилища: состояние, состав, свойства / В. Ф. Бреховских, В. Д. Казмирук, Т. Н. Казмирук. – М. : Наука, 2006. – 176 с.
2. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М. : Минприроды РФ, 1992. – 58 с.
3. Р 52.24.763–2012. Рекомендации. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей / утв. Росгидрометом 03.04.2012. – Ростов-на-Дону, 2012. – 22 с.
4. Формы нахождения микроэлементов в донных отложениях Иваньковского водохранилища / О. А. Липатникова [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – М. : РАН, 2014. – № 1. – С. 37–48.
6. МУ 2.1.7.730–99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест : утв. 05.02.1999 г. – 1999. – 19 с.
7. Геохимия окружающей среды / Сает Ю. Е. [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
8. Чекмарева, Е. А. Донные отложения как источник вторичного загрязнения Иваньковского водохранилища / Е. А. Чекмарева, И. Л. Григорьева // Сборник материалов Всерос. научно-практич. конференции «Водохранилища Российской Федерации. Современные экологические проблемы, состояние, управление», 23–29.09.2019 г., г. Сочи. – Новочеркасск : ЛИК, 2019. – С. 437–442.
9. Muller, G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. – Veränderungen seit 1971. / Muller G. // Umschau in Wissenschaft and Technik. – 1979. – Vol. 79. – S. 778–783.