

SECTION: ECOLOGY

Макаренко Татьяна Викторовна,
Попичева Екатерина Александровна
Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
(Гомель, Беларусь)

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ МЕДИ
И СВИНЦА В КОМПОНЕНТАХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ Г. ГОМЕЛЯ**

Аннотация. *Статья посвящена исследованию содержания и накопления меди и свинца в биотических и абиотических компонентах водоёмов г. Гомеля. Наиболее загрязнены соединениями меди все компоненты водоёма в оз. У-образное, где поступление металла в растения в большей степени идёт из донных отложений. Минимальное загрязнение медью характерно для компонентов озёр Волотовское и Володькино. Высокая доступность соединений свинца характерна для оз. Шапор с максимальным значением коэффициентов накопления как по воде, так и по донным отложениям и с минимальным содержанием в воде и донных отложениях. Загрязнены все компоненты водоёма с высокой доступностью металла как в воде, так и в донных отложениях в оз. У-образное. Низкая доступность свинца отмечена в, казалось бы, загрязнённом оз. Дедно, о чём свидетельствуют низкие значения коэффициентов накопления.*

Ключевые слова: *тяжёлые металлы, медь, свинец, макрофиты, донные отложения, поверхностные воды, коэффициент накопления.*

*Makarenko Tatyana Viktorovna,
Popicheva Ekaterina Alexandrovna,
Gomel State University named after F. Skorina
(Gomel, Belarus)*

**ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE CONTENT AND ACCUMULATION
OF COPPER AND LEAD IN COMPONENTS OF AQUATIC
ECOSYSTEMS OF GOMEL**

Annotation. *The article is devoted to the study of the content and accumulation of Copper and Lead in biotic and abiotic components of Gomel reservoirs. All components of the reservoir in the I. U-shaped are most contaminated with Copper compounds, where the flow of metal into plants is more from bottom sediments. Minimum contamination of Copper is typical for components of lakes Volotovskiy and Volodkina. High availability of Lead compounds is typical for I. Shapor with the maximum value of accumulation coefficients for both water and bottom sediments and with the minimum content in water and bottom sediments. All components of the reservoir with high availability of*

metal in both water and bottom sediments in the I. U-shaped are contaminated. Low availability of Lead is noted in a seemingly polluted I. Dedno. It is unclear what the low values of the accumulation coefficients indicate.

Keywords: heavy metals, copper, lead, macrophytes, bottom sediments, surface waters, accumulation coefficient.

Введение. В совокупности проблем экологического мониторинга одно из главных мест занимает исследование окружающей среды городов и прилегающих к ним территорий, поскольку активное функционирование промышленно-индустриальных центров приводит к деградации, а зачастую и к полному уничтожению природных экосистем и слагающих их компонентов. Водоёмы городской зоны являются важными составляющими городской среды и наиболее подвержены воздействию техногенных веществ, основными из которых являются тяжёлые металлы [1, с. 112].

В последние десятилетия в процессы миграции тяжёлых металлов в природной среде интенсивно включалась антропогенная деятельность человека. Количества химических элементов, поступающие в окружающую среду в результате техногенеза, в некоторых случаях значительно превосходят уровень их естественного поступления [2, с. 357]. Они не подвергаются распаду, в отличие от органических токсикантов, и при попадании в биогеохимический цикл остаются в нём, включаясь в круговорот веществ [1, с. 112].

Основными путями поступления тяжёлых металлов в водоём являются промышленные, промышленно-бытовые и сельскохозяйственные стоки, содержащие пестициды, минеральные удобрения, а также продукты их распада, органические вещества и другие химические соединения [3, с. 220]. Мониторинг накопления тяжёлых металлов водной растительностью является одним из важнейших инструментов контроля процессов техногенного воздействия на окружающую среду, вызванного функционированием различных предприятий города [4, с. 100].

Высшие водные растения – неотъемлемый элемент водной экосистемы, формирующий биологическое разнообразие и являющийся биологическим ресурсом, а также индикатором состояния водной экосистемы. Сложившаяся система контроля загрязнения водоёмов основывается на анализе воды водоёмов, которая характеризуется подвижностью и неустойчивостью концентрации и состава химических элементов во времени, что снижает информативность и достоверность получаемых данных. Для оценки состояния водных объектов значительное внимание уделяется анализу депонирующих сред: высшей водной растительности и донным отложениям. Способность макрофитов и донных осадков накапливать вещества в концентрациях, превышающих значения в водной среде, обусловила их активное использование в системе мониторинга и контроля за состоянием окружающей среды [5, с. 111-118].

Цель работы: проведение сравнительного анализа содержания и накопления меди и свинца в донных отложениях, поверхностных водах и высших водных растениях водоёмов г. Гомеля для определения степени влияния городской агломерации на уровень загрязнения водоёмов.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в летний период 2018 г. Для этого был выбран один вид макрофитов, относящийся по классификации В. М. Катанской [6, с. 5] ко второй экологической группе: кубышка жёлтая (*Nuphar lutea* (L.) Sm.). Растения данной группы – плавающие на поверхности воды прикреплённые растения (укореняющиеся гидрофиты с плавающими листьями), которые, помимо водной массы, получают значительную часть химических элементов из донных отложений. Отбор проб макрофитов производился в водоёмах г. Гомеля, различающихся по характеру антропогенной нагрузки, и была проанализирована их наземная часть. После тщательного ополаскивания пробы растений последовательно высушивали и озоляли в муфельной печи при 450°C. Содержание никеля в золе растений определяли атомно-эмиссионным спектральным методом на спектрофотометре PGS-2 в лаборатории аналитического контроля РУП «Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт» [1, с. 113].

Для исследования были выбраны следующие водоёмы г. Гомеля, испытывающие различную антропогенную нагрузку: озёра Шапор, Волотовское, Володькино, У-образное и Дедно. Озёра Шапор и Дедно – пойменные водоёмы, не утратившие связь с коренным руслом р. Сож. В оз. Шапор поступают поверхностные стоки с территории предприятий ОАО «Гомельдрев», «Гомельобой» и ФСК. Оз. Дедно через небольшую земляную дамбу связано с водоёмом, принимающим стоки Прудковского и Хатаевичского коллекторов, а также стоки автопредприятий и фабрики «Спартак». Оз. Волотовское и оз. У-образное остались после осушения болот и некоторое время имели связь с р. Сож. Сейчас оз. Волотовское – полностью замкнутый непроточный водоём городской зоны отдыха, однако практически со всех сторон окружён автотрассой. В оз. У-образное поступают стоки с крупной городской автомагистрали, автостоянки на берегу водоёма и стоки с территории крупного городского рынка «Прудковский». Оз. Володькино – водоём, возникший в результате расширения коренного русла р. Сож в месте впадения в него р. Ипать. Оно расположено в черте города и активно используется в рекреационных целях, однако подвержено влиянию разбавленных сточных вод предприятий г. Добруша.

Отбор проб воды на различных участках указанных водоёмов проводился батометром, по методике, описанной в источнике [7, с. 1]. На ААС «PerkinElmer – 406» атомно-абсорбционным методом определялось содержание тяжёлых металлов в исследуемых образцах поверхностных вод на базе Государственного 29 учреждения «Гомельский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья».

Донные отложения отбирались в летнюю межень (июль – август) 2018 г. с использованием дночерпателя Борущкого и Петерсена. Каждый образец составлялся из 5 частных проб с однородного участка. Отобранные в полиэтиленовые ёмкости образцы в дальнейшем высушивались до воздушно-сухого состояния. Ситовым методом выделялась для исследования фракция менее 1 мм, затем пробы озолялись при 450 °С. Содержание органического вещества оценивалось по потерям в массе после прокаливания (ППП) воздушно-сухих образцов при температуре 450 °С в течение 8 часов. В

процессе исследования были проанализированы образцы отложений, отобранные из водоёмов Гомеля и прилегающих территорий, испытывающих различную антропогенную нагрузку. В образцах определялось содержание тяжёлых металлов атомно-эмиссионным спектральным методом на спектрофотометре PGS-2 в лаборатории аналитического контроля РУП «Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт».

Были рассчитаны коэффициенты накопления (далее – K_n) изучаемого металла в системах «высшие водные растения – донные отложения» и «высшие водные растения – вода» (1).

Коэффициент накопления элемента – это величина, которая рассчитывается как отношение концентрации элемента в золе водных растений к его содержанию в донных отложениях (воде). Расчет производился по формулам:

$$K_n = \frac{C_x}{C_y}, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент накопления; C_x – концентрация металла в высших водных растениях; C_y – концентрация металла в донных отложениях или воде водоёма.

Коэффициент накопления свидетельствует о наличии факта «контроля» со стороны растений за поступлением загрязнителей в метаболически важные центры и позволяет косвенно судить о степени доступности элемента в среде обитания для растительных организмов и о поведении поллютантов в системах «донные отложения – высшие водные растения» и «вода – высшие водные растения» [8, с. 157].

Результаты и их обсуждение. Результаты анализа проб донных отложений на содержание соединений меди и свинца представлены в таблице 1. Соединения меди и свинца содержатся в донных отложениях в значительном количестве, поэтому данные металлы можно использовать для оценки состояния водных экосистем, основываясь на концентрациях данных элементов.

Водоём	Cu	Pb
Оз. Шапор	11,8	9,9
Оз. Волоотовское	23,0	10,2
Оз. Володькино	8,2	12,8
Оз. У-образное	32,8	20,6
Оз. Дедно	24,4	10,7

Таблица 1 – Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях водоёмов г. Гомеля (мг/кг)

При изучении концентрации меди в донных отложениях водоёмов г. Гомеля максимальное содержание металла определено в образцах оз. У-образное, что составляет 32,8 мг/кг сухого вещества. В водоём длительное время поступали стоки предприятия «Электроаппаратура», использующего медь в производственных процессах, чем можно объяснить значительное количество изучаемого металла в отложениях. В настоящий момент выбросы предприятий прекращены, однако, как было сказано выше, донные отложения являются депонирующей фракцией и могут накапливать и

удерживать загрязнители длительное время. Высокое содержание меди отмечено также в донных отложениях озёр Дедно и Волотовское – 24,4 и 23,0 мг/кг сухой массы соответственно. Оз. Дедно испытывает высокую антропогенную нагрузку, поскольку связано через земляную дамбу с отстойником, принимающим стоки 11 предприятий г. Гомеля. Оз. Волотовское является полностью замкнутым непроточным водоёмом и расположено в городской зоне отдыха. Ранее оз. У-образное и оз. Волотовское представляли собой единую систему и, возможно, высокий уровень содержания металла в донных отложениях оз. Волотовское является следствием поступления стоков в единую водную экосистему.

Относительно низкое количество меди зафиксировано в донных отложениях оз. Шапор – 11,8 мг/кг сухой массы, невзирая на тот факт, что водоём испытывает значительную антропогенную нагрузку, так как принимает поверхностный сток с территории предприятий «Гомельобои» и «Гомельдрев». Это говорит о том, что стоки предприятий, поступающие в водоём, содержат соединения металла в небольших количествах. Минимальная концентрация меди отмечена в оз. Володькино – 8,2 мг/кг сухой массы. Водоём является расширением коренного русла р. Сож в месте впадения в р. Сож р. Ипать, имеет течение и принимает воду р. Ипать. Возможно, течение и низкое содержание меди в воде р. Сож и р. Ипать обуславливает низкое содержание металла в донных отложениях.

Максимальное содержание свинца в донных отложениях также было определено для оз. У-образное. Объяснить данный факт можно длительным поступлением в водоём загрязнённых сточных вод.

Низкое содержание металла отмечено в донных отложениях озёр Дедно, Волотовское и Шапор и находится практически на одинаковом уровне – 10,7, 10,2 и 9,9 мг/кг соответственно. Объяснить данный факт сложно, так как в настоящее время водоёмы испытывают высокую антропогенную нагрузку, а донные отложения содержат разное количество органического вещества.

Незначительное превышение содержания свинца, относительно вышеперечисленных водоёмов, отмечено в оз. Володькино. Можно предположить, что соединения металла поступают в водоём в больших количествах, чем медь.

Результаты анализа проб поверхностных вод на содержание соединений меди и свинца представлены в таблице 2.

Водоём	Cu	Pb
Оз. Шапор	0,005	0,001
Оз. Волотовское	0,003	0,001
Оз. Володькино	0,004	0,008
Оз. У-образное	0,015	0,001
Оз. Дедно	0,002	0,007
ПДК [7]	0,005	0,014

Таблица 2 – Содержание тяжёлых металлов в поверхностных водах водоёмов г. Гомеля (мг/дм³)

Максимальное содержание меди в поверхностных водах, как и в донных отложениях, наблюдается в оз. У-образное и составляет $0,015 \text{ мг/дм}^3$, что превышает значение ПДК в 3,0 раза. Высокая концентрация металла отмечена также в оз. Шапор – $0,005 \text{ мг/дм}^3$. Данное значение находится на одном уровне с ПДК. Близкое к ПДК содержание меди наблюдается в оз. Володькино – $0,004 \text{ мг/дм}^3$, что превышает уровень ПДК в 3,8 раз, хотя в донных отложениях концентрация металла минимальная, это говорит о поступлении его в водоём с поверхностным стоком и с водой р. Ипать.

Минимальное количество меди наблюдается в воде водоёмов Волоотовское и Дедно – $0,003$ и $0,002 \text{ мг/дм}^3$ соответственно, что ниже значений ПДК. Поскольку в донных отложениях данных водоёмов металл содержится в максимально высоких концентрациях, можно предположить, что отложения данных водоёмов обладают высокой сорбционной способностью и идёт процесс самоочищения водоёмов.

Согласно установленным нормам качества воды, значения содержания свинца в пробах поверхностных вод всех изучаемых водоёмов не превышают значений ПДК. Максимальное содержание металла зафиксировано в воде водоёмов Володькино и Дедно, испытывающих различную антропогенную нагрузку, – $0,008$ и $0,007 \text{ мг/дм}^3$, что ниже ПДК в 1,8 и 2,0 раза соответственно. Если для оз. Дедно высокое содержание свинца можно объяснить контактом водоёма с отстойником, то в оз. Володькино – только привнесом металла с водами р. Ипать.

Практически на одном уровне количество свинца содержится в воде озёр Шапор, Волоотовское и У-образное и составляет $0,001 \text{ мг/дм}^3$ в каждом из них, что в 14 раз ниже значений ПДК. Так как в донных отложениях всех исследуемых водоёмов металл содержится в высоких концентрациях, вероятно, это также связано с высокой способностью данных водоёмов к самоочищению, когда соединения свинца сорбируются донными отложениями, за счёт чего очищаются водные массы водоёмов.

Результаты анализа проб высших водных растений представлены в таблице 3.

Водоём	Cu	Pb
Оз. Шапор	10,99	25,20
Оз. Волоотовское	5,54	0,46
Оз. Володькино	3,85	1,05
Оз. У-образное	30,09	9,45
Оз. Дедно	19,83	0,37

Таблица 3 – Содержание тяжёлых металлов в кубышке жёлтой (*Nuphar lutea* (L.) Sm.) водоёмов г. Гомеля (мг/кг)

Как показывают проведённые исследования, наиболее загрязнены соединениями меди растения оз. У-образное, где содержание металла в донных отложениях и водных массах максимально высокое. Концентрация меди в исследуемых растительных пробах составляет $30,09 \text{ мг/кг}$ сухого вещества. Высокое содержание металла и в донных отложениях, и в растениях оз. У-образное свидетельствует о его доступности в абиотических компонентах водоёма для макрофитов. Скорее всего, в тканях растений

данного водоёма медь содержится в значительных количествах из-за срыва механизма блокировки поступления металлов в растительный организм.

Благодаря данным механизмам блокировки некоторые растения способны ограничивать накопление тяжёлых металлов в тканях. В чистом водоёме живые организмы накапливают все доступные формы металла, а в загрязнённом водоёме существует предел накопления, после которого поступление токсиканта в организм практически прекращается, однако при достижении определённой концентрации в воде и донных отложениях металла начинает поступать в организм пропорционально содержанию в воде и донных отложениях. В результате происходит так называемый срыв работы механизма блокировки и поступление металла в организм идёт бесконтрольно.

Все механизмы блокировки можно разделить на две группы:

- 1) внешние, не позволяющие ионам проникнуть в клетку, в результате чего растение избегает их токсического действия на внутриклеточные процессы;
- 2) внутренние, обезвреживающие действие тяжёлых металлов внутри клетки.

В случае активной работы данных механизмов растение способно нормально расти и развиваться, даже несмотря на высокий уровень загрязнения окружающей среды. Однако в случае их срыва происходит неконтролируемое поступление металла в макрофит и окружающую его водную среду обитания. В результате данного процесса концентрация накопленного металла может достигать такого уровня, при котором растение начинает погибать [9, с. 39].

Высокое содержание меди наблюдается также в макрофитах водоёмов Дедно и Шапор – 19,83 и 10,99 мг/кг сухого вещества. Поскольку в донных отложениях указанных водоёмов металл содержится в значительных количествах, скорее всего, донные отложения являются источником загрязнения растительных образцов.

Низкое содержание меди в растениях определено для оз. Волоотовское. Несмотря на то, что водоём не испытывает высокую антропогенную нагрузку, в донных отложениях и воде металл содержится в значительной концентрации. Однако растения водоёма накапливают соединения меди в незначительных количествах – 5,54 мг/кг сухого вещества. Вероятно, это связано с тем, что донные отложения и водные массы содержат соединения металла в недоступной для растений форме, либо у растений хорошо работает механизм блокировки.

Минимальное содержание меди, 3,85 мг/кг сухого вещества, характерно для макрофитов оз. Володькино. Незначительная концентрация металла как в растениях, так и донных отложениях может быть обусловлена отсутствием меди в стоках воды, поступающих в водоём с р. Ипать.

Максимальное содержание свинца в высших водных растениях наблюдается в оз. Шапор – 25,20 мг/кг сухого вещества. Несмотря на то, что в донных отложениях содержание металла относительно низкое, в отобранных пробах макрофитов концентрация свинца значительная. Данный факт можно объяснить высокой доступностью металла для растений, когда он активно поступает по безбарьерному типу в растительный организм. Относительно высокая концентрация свинца отмечена в оз. У-образное – 9,45 мг/кг сухого

вещества. Несмотря на то, что водоём испытывает высокую антропогенную нагрузку, в донных отложениях металл содержится в незначительных количествах, что подтверждает возможность срыва механизма блокировки даже при низких концентрациях металла.

Низкое количество свинца наблюдается в оз. Володькино – 1,05 мг/кг сухого вещества, что, скорее всего, является следствием работы механизма блокировки, поскольку в воде данного водоёма металл содержится в максимальных количествах. Минимальное содержание свинца характерно для макрофитных озёр Волотовское и Дедно – 0,46 и 0,37 мг/кг сухого вещества соответственно. Как в растениях, так и донных отложениях содержание металла незначительное, что свидетельствует об отсутствии металла в стоках, поступающих в водоём.

Доступность металлов в донных отложениях и воде, а также его поглощение растениями показывает коэффициент накопления, который рассчитывается по описанной выше формуле (1). Результаты вычисления данных коэффициентов накопления представлены в таблице 4.

Водоём	Cu	Pb
Оз. Шапор	0,93	2,55
Оз. Волотовское	0,24	0,05
Оз. Володькино	0,47	0,08
Оз. У-образное	0,92	0,46
Оз. Дедно	0,85	0,03

Таблица 4 – Коэффициенты накопления тяжёлых металлов в водоёмах г. Гомеля в системе «высшие водные растения – донные отложения»

Стоит отметить, что в большинстве водоёмов, где донные отложения сильно загрязнены медью, загрязнены и растения. Коэффициенты накопления также имеют высокие значения. Исключение составляет оз. Шапор. В водоёме, несмотря на низкое содержание металла в отложениях, определена высокая концентрация в растениях, что свидетельствует о доступности меди в абиотических компонентах водоёма для растительных организмов.

Однако общая тенденция по накоплению металла следующая: при увеличении концентрации меди в донных отложениях коэффициент накопления металла в растениях уменьшается. В оз. Володькино отмечено низкое накопление меди в растительных тканях и низкое содержание в донных отложениях и растениях, что может быть связано с незначительной антропогенной нагрузкой водоёма.

В случае со свинцом можно проследить обратную закономерность: в водоёмах, где донные отложения сильно загрязнены металлом, зафиксированы низкое содержание в растениях и низкие значения коэффициентов накопления. Полученный факт свидетельствует о контроле со стороны растений за поступлением соединений свинца в ткани растений. Исключение составляет оз. Дедно, где низкое содержание металла в донных отложениях, но высокое в растениях, а также высокое значение коэффициента накопления, что указывает на срыв работы механизмов блокировки.

По формуле (1) были рассчитаны коэффициенты накопления

изучаемых металлов в системе «высшие водные растения – вода». Результаты вычисления данных коэффициентов накопления представлены в таблице 5.

Водоём	Cu	Pb
Оз. Шапор	2198,0	25200,0
Оз. Волотовское	1846,7	460,0
Оз. Володькино	962,5	131,3
Оз. У-образное	2006,0	9450,0
Оз. Дедно	9915,0	52,9

Таблица 5 – Коэффициенты накопления тяжёлых металлов в водоёмах г. Гомеля в системе «высшие водные растения – вода»

Стоит отметить, что при высоких концентрациях меди в водных массах коэффициенты накопления металла в растениях, как правило, высокие. Исключение составляет лишь оз. Володькино, где накопление металла в макрофитах незначительное при высоком содержании в воде. Высокие значения коэффициентов накопления меди в растениях могут свидетельствовать о преимущественном поступлении металла в растения из водных масс.

Водоёмы, испытывающие значительную антропогенную нагрузку, характеризуются низким содержанием свинца в воде, но высоким содержанием в растениях, что свидетельствует о доступности металла для растений в воде водоёмов данной группы. Стоит отметить низкое накопление свинца из водных масс в водоёмах с высоким содержанием в воде.

По полученным данным были построены ряды содержания металлов в компонентах водоёмов (табл. 6, 7).

Наиболее загрязнены все компоненты водоёма в оз. У-образное, которое занимает в рядах лидирующее положение. Поступление меди в растения водоёма в большей степени идёт из донных отложений, по сравнению с водными массами. Высокое загрязнение характерно для компонентов оз. Дедно, причём преимущественно поступление металла отмечено из водных масс. Минимальное загрязнение медью характерно для компонентов озёр Волотовское и Володькино.

Компонент водоёма	Ряды водоёмов
Донные отложения	Оз. У-образное > оз. Дедно > оз. Волотовское > оз. Шапор > оз. Володькино
Вода	Оз. У-образное > оз. Шапор > оз. Володькино > оз. Волотовское > оз. Дедно
Ткани кубышки жёлтой	Оз. У-образное > оз. Дедно > оз. Шапор > оз. Волотовское > оз. Володькино
Коэффициент накопления в системе «высшие водные растения – донные отложения»	Оз. Шапор > оз. У-образное > оз. Дедно > оз. Володькино > оз. Волотовское
Коэффициент накопления в системе «высшие водные растения – вода»	Оз. Дедно > оз. Шапор > оз. У-образное > оз. Волотовское > оз. Володькино

Таблица 6 – Последовательности водоёмов по содержанию и накоплению меди в биотических и абиотических компонентах в порядке убывания

Компонент водоёма	Ряды водоёмов
Донные отложения	Оз. У-образное > оз. Володькино > оз. Дедно > оз. Волотовское > оз. Шапор
Вода	Оз. Володькино > оз. Дедно > оз. У-образное, оз. Волотовское, оз. Шапор
Ткани кубышки жёлтой	Оз. Шапор > оз. У-образное > оз. Володькино > оз. Волотовское > оз. Дедно
Коэффициент накопления в системе «высшие водные растения – донные отложения»	Оз. Шапор > оз. У-образное > оз. Володькино > оз. Волотовское > оз. Дедно
Коэффициент накопления в системе «высшие водные растения – вода»	Оз. Шапор > оз. У-образное > оз. Волотовское > оз. Володькино > оз. Дедно

Таблица 7 – Последовательности водоёмов по содержанию и накоплению свинца в биотических и абиотических компонентах в порядке убывания

Высокая доступность соединений свинца характерна для оз. Шапор с максимальным значением коэффициентов накопления как по воде, так и по донным отложениям и с минимальным содержанием в воде и донных отложениях. Загрязнены все компоненты водоёма с высокой доступностью металла как в воде, так и в донных отложениях в оз. У-образное. Низкая доступность свинца отмечена в, казалось бы, загрязнённом оз. Дедно, о чём свидетельствуют низкие значения коэффициентов накопления.

Заключение. Высокие концентрации изучаемых металлов определены в донных отложениях водоёмов, ранее подверженных влиянию стоков промышленных предприятий (озёра У-образное и Волотовское), а также в водоёме, имеющем контакт с водоёмом-отстойником сточных вод предприятий (оз. Дедно).

Содержание свинца в воде водоёмов ниже допустимых уровней, а для меди отмечено превышение ПДК только в оз. У-образное, принимавшем долгое время стоки промышленных предприятий. Факт загрязнения воды оз. У-образное является, скорее всего, результатом вторичного загрязнения воды, когда из донных отложений соединения металлов переходят в воду водоёмов. Высокое содержание свинца отмечено в воде оз. Володькино, не испытывающем антропогенную нагрузку. Это может быть, скорее всего, следствием поступления в водоём р. Ипуть.

Наиболее загрязнены все компоненты водоёма в оз. У-образное, которое занимает в рядах лидирующее положение. Поступление меди в растения водоёма в большей степени идёт из донных отложений, по сравнению с водными массами. Высокое загрязнение характерно для компонентов оз. Дедно, причём преимущественно поступление металла отмечено из водных масс. Минимальное загрязнение медью характерно для компонентов озёр Волотовское и Володькино.

Высокая доступность соединений свинца характерна для оз. Шапор с максимальным значением коэффициентов накопления как по воде, так и по донным отложениям и с минимальным содержанием в воде и донных

отложениях. Загрязнены все компоненты водоёма с высокой доступностью металла как в воде, так и в донных отложениях в оз. У-образное. Низкая доступность свинца отмечена в, казалось бы, загрязнённом оз. Дедно, о чём свидетельствуют низкие значения коэффициентов накопления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Макаренко, Т. В. Загрязнение высших водных растений водоёмов и водотоков Гомеля и прилегающих территорий / Т. В. Макаренко // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2013. – № 5 (80). – С. 121 – 121.
2. Шашуловская, Е. А. О накоплении тяжёлых металлов в высшей водной растительности Волгоградского водохранилища / Е.А. Шашуловская // Поволжский экологический журнал. – 2009. – № 4. – С. 357 – 360.
3. Дайнеко, Н. М. Акумуляцыя радыецезія і цяжэлых металоў прыбярэжна-воднай расліннасцю ў некаторых раёнах Гомельскай абласці (Рэспубліка Беларусь), прыгранічных з Бранскай абласцю Расіі / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323, № 1. – С. 220 – 224.
4. Дайнеко, Н. М. Минимально и максимальное накопление тяжёлых металлов прибрежно-водной растительностью водоёмов вблизи промышленного центра г. Речица / Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев, С. В. Жадько // Бюллетень науки и практики. – 2017. – № 2. – С. 99 – 109.
5. Власов, Б. П. Содержание тяжёлых металлов в водных растениях водоёмов и водотоков Беларуси по данным мониторинга / Б.П. Власов, Н. Д. Грищенкова // Вестник БГУ. – 2011. – Сер. 2, № 3. – С. 117 – 121.
6. Катанская, В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР: методы изучения / В. М. Катанская. – Ленинград: Наука, 1981. – 187 с.
7. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов [Электронный ресурс]: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 30 марта 2015 г. № 13 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21529808 &p1=1>. – Дата доступа: 06.11.2019).
8. Орлов, Л. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Л. С. Орлов. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.
9. Титов, А. Ф. Физиологические основы устойчивости растений к тяжёлым металлам: учебное пособие / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина / Институт биологии КарНЦ РАН. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. – 2011. – 77 с.