

УДК 546.56 + 546.74+546.73+546.81+ 556.5 + 543.3+502.11

Анализ факторов, влияющих на уровень накопления микроэлементов в донных отложениях водоемов г. Гомеля и окрестностей

Т.В. МАКАРЕНКО, А.А. МАХНАЧ

Развитие промышленности и сельского хозяйства в последние десятилетия шло, в основном, с использованием традиционных методов без особого учета современных экологических требований. Все это привело к проблеме качества водных ресурсов, так как они наиболее подвержены антропогенному прессу. Донные отложения водоемов играют значительную роль в формировании их гидрохимического режима, являясь либо аккумулятором веществ-загрязнителей, либо источником их поступления в поверхностные воды. Достаточно сильно выражена накопительная способность донных отложений водоемов в отношении микроэлементов, в частности тяжелых металлов. Вместе с тем, в определенных условиях содержание многих микроэлементов в природных объектах может достигать критических величин, переводя эти элементы в разряд токсикантов. В этом аспекте донные отложения являются более информативными по сравнению с поверхностными водами. Изучение химического состава донных отложений дает возможность проследить динамику накопления микроэлементов на протяжении большого промежутка времени, тогда как концентрации металлов в поверхностных водах варьируют в зависимости от метеоусловий и сезона [1].

В настоящее время все водные объекты Республики Беларусь испытывают в той или иной степени антропогенное влияние. Особенно оно контрастно для водоемов, находящихся на урбанизированных территориях, где наряду с глобальным поступлением токсикантов с атмосферными осадками присутствует риск локального загрязнения. В этом плане практически не изучено распределение микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях озер на территории крупного промышленного центра – г. Гомеля. Необходимость данных исследований не вызывает сомнений, так как большинство водоемов городской зоны используются для проведения культурно-массовых, спортивных и других мероприятий.

Цель работы – анализ факторов, влияющих на уровень накопления некоторых тяжелых металлов в донных отложениях озер городской черты г. Гомеля и прилегающих к городу территорий, испытывающих различную антропогенную нагрузку.

Процессы накопления микроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях водоемов обусловлены многочисленными факторами. Их интенсивность зависит от химического и гранулометрического состава отложений, их типа, окислительно-восстановительных условий, pH среды, мощности осадков, а также сезона и метеоусловий. При этом для каждого водоема может быть свойственен свой механизм аккумуляции микроэлементов при сочетании некоторых перечисленных факторов.

По данным Мур Дж. [2], можно выделить соединения, в форме которых тяжелые металлы локализируются в донных отложениях:

- кобальт – в целом характеризуется низким содержанием, а иногда и полным отсутствием мобильных форм, может находиться в нерастворимой форме.
- медь – в илах распределяется со следующей закономерностью: от 45% до 65% безвозвратно захоранивается, 25-52% ассоциировано с органическим веществом, 2-15% – с гидроксидами, 3% – мобильные формы.
- свинец – характеризуется низким содержанием мобильных форм (0.6-10.9%). Основные же запасы распределяются между труднодоступными (40- 75%) и совершенно недоступными (26-48%) для гидробионтов формами.

• цинк – содержание мобильных форм составляет 3%. Основные запасы – 50-72% ассоциированы с оксидами железа и марганца.

Согласно научным данным [3], рост уровня загрязнения ландшафтного объекта определенным элементом обычно коррелирует с ростом вариабельности его концентраций. Оценочным показателем степени изменчивости является коэффициент вариации, который представляет собой отношение стандартного отклонения к средней величине.

Анализ проб донных отложений озер городской зоны [4] выявил высокую вариабельность по степени обогащения осадков элементами Cu, Pb, Ni, Cr, несколько меньшую для Co и незначительную для Mn. Значения коэффициентов вариации содержания этих элементов, в целом, по водоемам города составили 123 %, 114%, 65%, 61%, 55% и 28% соответственно.

Абсолютного максимума концентрация свинца достигает в донных отложениях озер У-образное и Волотовское. В среднем, в 4-5 раз ниже содержание этого элемента в осадках оз. Малое и Круглое. Далее водоемы по накоплению свинца распределяются в следующем порядке: Дедно > Шапор > Любенское > Гребной канал > Володькино > Сож. В отношении содержания меди в осадках городских озер наблюдается сходная картина распределения. Таким образом, наиболее критическими по накоплению Pb и Cu являются водоемы с замедленным водотоком, небольшие по площади. Аналогичные тенденции прослеживаются при анализе данных по концентрациям хрома и никеля.

На фоне сравнительно равномерного распределения кобальта по озерам г. Гомеля отмечается его высокое содержание в донных отложениях оз. Волотовское. Накопление марганца варьирует по водоемам независимо от их гидрологического режима.

В таблице 1 приведены значения коэффициента парной корреляции, характеризующего степень сходства механизмов накопления элементов, в целом, по водоемам города.

Таблица 1

Степень корреляции микроэлементов при их распределении
в донных осадках городских водоемов

Элемент	Коэффициент корреляции r				
	Pb	Cu	Mn	Co	Cr
Ni	0.81	0.77	0.45	0.87	0.65
Cr	0.83	0.84	0.40	0.36	
Co	0.65	0.55	0.62		
Mn	0.41	0.33			
Cu	0.99				

На основе данных корреляционного анализа можно выделить группу элементов по синхронному характеру их распределения по городским озерам. Это металлы свинец, медь, хром и никель. В отношении их водоемы резко контрастируют между собой. При повышении концентрации одного из этих элементов в донных отложениях водоема следует ожидать сходного поведения и других металлов этой группы. Напротив, содержание марганца в осадках имеет маловыраженную степень связи с остальными элементами. В этом аспекте является примечательным поведение кобальта, уровень накопления которого в осадках коррелирует как со свинцом, медью, хромом и никелем, так и с марганцем.

В целом, различия в степени концентрирования того или иного элемента в донных отложениях могут быть вызваны как особенностями водного режима и типом осадков водоема, так и дополнительным поступлением веществ в результате деятельности человека.

Интегральным способом оценки загрязнения донных осадков тяжелыми металлами является суммарный показатель техногенного воздействия, представляющий собой сумму отношений концентрации металлов в донных фракциях исследуемого водоема к концентрациям этих же металлов в донных отложениях индикаторного водоема, находящегося вне зоны влияния:

$$Z_{\text{сум}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\text{фон}}} \right) - (n-1),$$

где $Z_{\text{сум}}$ – суммарный показатель техногенного воздействия;

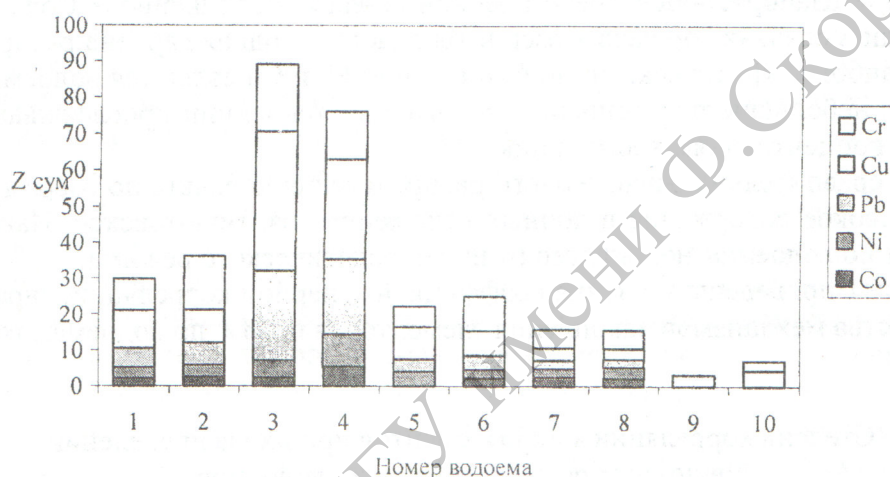
C_i – концентрация металла в донных отложениях исследуемого водоема;

$C_{\text{фон}}$ – концентрация металла в донных отложениях фонового водоема;

n – количество нормируемых металлов.

О загрязнении можно говорить, когда степень накопления тяжелых металлов в объектах превышает их фоновые значения в 1.5 – 2.0 раза [5].

Гистограмма, представленная на рис. 1, отражает значения суммарного показателя загрязненности донных осадков исследуемых водоемов. В качестве фоновых значений принималось содержание микроэлементов в отложениях индикаторного водоема (старица р. Сож у д. Поляновка, Ветковский р-н, Гомельская область).



1. Оз. Малое; 2. оз. Круглое; 3. оз. У-образное; 4. оз. Волотовское;
 5. оз. Шапор; 6. оз. Дедно; 7. оз. Любенское; 8. Гребной канал;
 9. оз. Володькино; 10. р. Сож

Рис. 1. Суммарный показатель загрязненности донных отложений тяжелыми металлами $Z_{\text{сум}}$ озерных и речных водоемов г. Гомеля

Максимальной степенью загрязнения тяжелыми металлами отличаются донные отложения озер У-образное и Волотовское. Несколько ниже общее содержание загрязнителей в осадках озер Круглое и Малое. Для водоемов Шапор и Дедно наблюдается сходный уровень накопления исследуемых металлов. Донные отложения оз. Любенского и Гребного канала характеризуются средней степенью загрязнения. Общее содержание микроэлементов в осадках р. Сож и оз. Володькино приближается к таковому в индикаторном водоеме.

В таблице 2 приведены сведения по степени вклада каждого элемента в величину суммарного показателя загрязненности донных отложений. Практически идентичной по своей структуре является картина распределения концентраций токсикантов в донных осадках озер Волотовское и У-образное, что указывает на общий источник загрязнения этих водоемов. Для водоемов Малое, Круглое, Дедно, Любенское, Шапор также характерна определенная степень сходства по участию металлов в превышении фоновых величин. Донные отложения Гребного канала отличаются от осадков других водоемов по количественному присутствию загрязнителей.

В целом, наиболее распространенными загрязнителями донных отложений городских водоемов являются хром и медь. Участие остальных анализируемых элементов в формировании техногенной нагрузки на водоемы в черте г. Гомеля убывает в следующем порядке: $Pb > Ni > Co$.

Таблица 2

Вклад микроэлементов в величину суммарного показателя загрязненности
донных отложений тяжелыми металлами

Водоем	Микроэлементы
Оз. Малое	Cu>Cr>Pb>Ni>Co
Оз. Круглое	Cr>Cu>Pb>Ni>Co
Оз. У-образное	Cu>Pb>Cr>Ni>Co
Оз. Волотовское	Cu>Pb>Cr>Ni>Co
Оз. Шапор	Cu>Cr>Ni>Pb
Оз. Дедно	Cr>Cu>Pb>Ni>Co
Оз. Любенское	Cr>Cu>Pb>Co>Ni
Гребной канал	Cr>Ni>Cu>Pb>Co
Оз. Володькино	Cr>Pb
Р. Сож	Cu>Cr

Как уже отмечалось ранее, важное значение в процессе аккумуляции микроэлементов в осадках имеют особенности химического состава донных грунтов. Поэтому оценка техногенного воздействия на водоем должна основываться не только на анализе данных по абсолютному содержанию загрязнителей, а с учетом комплекса геохимических и гидрологических факторов.

Трудность выявления источников поступления микроэлементов и тяжелых металлов в водоемы заключается в том, что все эти элементы (природного и антропогенного происхождения) накапливаются в донных отложениях одновременно. Статистически выделенные аномальные концентрации металлов легко интерпретировать лишь тогда, когда очевидны источники загрязнения. В случае неконтролируемого загрязнения водоема, например, при аэральном пути поступления токсиканта, оказываются загрязненными водоемы, находящиеся на значительном удалении от промышленных зон. Поэтому более высокий уровень оценки аномалий должен основываться на определении естественного геохимического баланса.

Из опубликованных данных [6] известно, что химический и минералогический состав, а также гранулометрические характеристики донных отложений контролируют изменение в них микроэлементов. В таком случае предполагается, что существует линейная связь между этими параметрами и концентрацией элемента.

Влияние указанных факторов можно устранить нормированием концентраций анализируемых микроэлементов относительно основных компонентов химического состава донных отложений. Например, осадки обследуемых водоемов характеризуются разным содержанием органики. Поскольку органическое вещество является депонирующей фракцией донных грунтов для большинства микроэлементов [7, 8], то концентрация металлов в донных отложениях водоемов должна пропорционально изменяться в зависимости от удельного содержания органического вещества. Такого рода зависимость функционально описывается уравнением линейной регрессии:

$$[Me] = ППП \times a + b,$$

где $[Me]$ – удельная концентрация металла, мг/кг;

ППП – содержание органического вещества в процентах (потери массы осадка после прокаливании);

a, b – числовые константы

На рис. 2 графически отображено пропорциональное изменение концентрации хрома с увеличением доли органической компоненты в донных отложениях обследуемых водоемов.

На основании этих данных можно предположить, что 1) поступление хрома в озеро городской зоны имеет равномерный уровень и разность концентраций в донных отложениях между отдельными водоемами связана с особенностями седиментогенеза, 2) загрязнению подвергаются в равной степени все водоемы, что характерно при атмосферных выпадениях токсиканта. Это заключение подтверждается при анализе зависимости концентрации хрома от содержания оксида магния (как показателя присутствия глинистых минералов) в пробах

отложений исследуемых водоемов. Как и органическое вещество, глины также являются природными сорбентами металлов. Рост концентрации хрома при увеличении содержания оксида магния носит линейный характер и продемонстрирован на рис. 3.

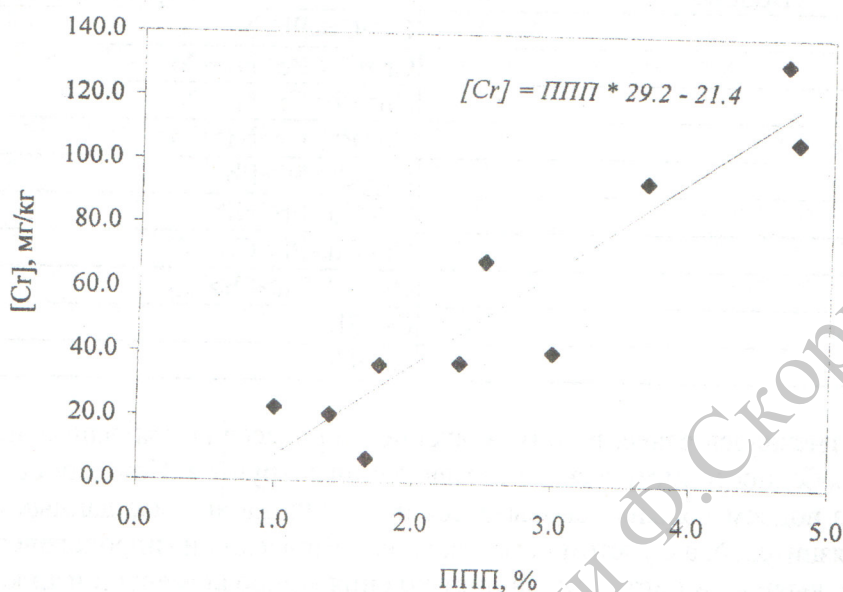


Рис. 2. Концентрация хрома в донных отложениях в зависимости от содержания органического вещества.

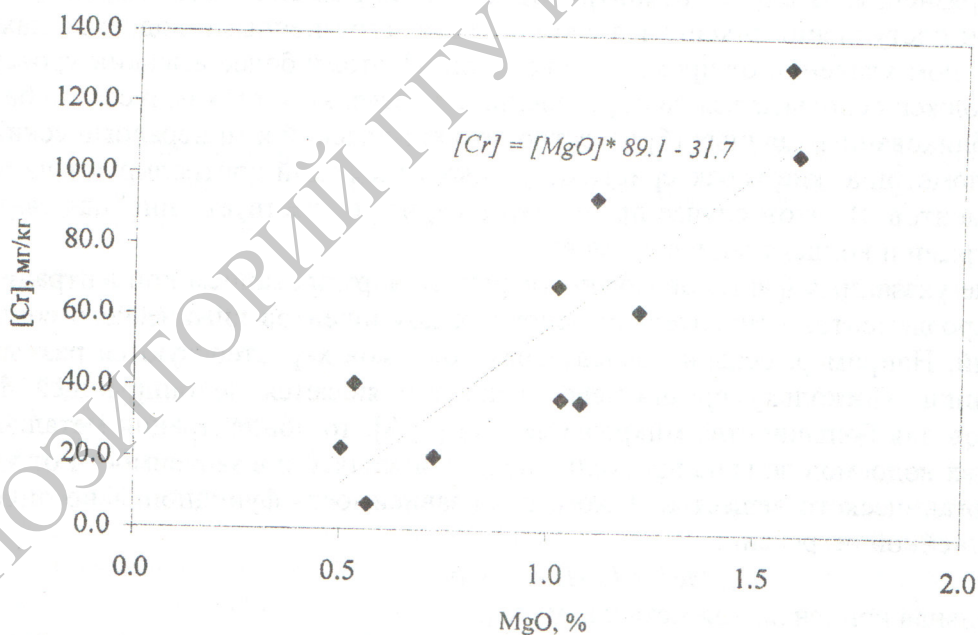


Рис. 3. Концентрация хрома в донных отложениях в зависимости от содержания оксида магния.

Отклонения отдельных вариантов от общей линейной зависимости концентрации металла от изменчивости химического состава донных отложений могут возникать при точечном загрязнении водоемов. На рис. 4 представлено изменение содержания кобальта при соответствующем увеличении доли оксида магния. Значение концентрации этого металла в осадках оз. Волотовское не соответствует тенденции для остальных водоемов. Такой аномально высокий уровень накопления кобальта нельзя объяснить общим техногенным фоном при аэральном пути загрязнения городских водоемов. В этом случае, возможно, имело место локальное поступление металла в данное озеро из специфического источника загрязнения.

Аналогичная ситуация наблюдается в отношении озер У-образное и Волотовское при анализе концентрации свинца в донных отложениях водоемов в зависимости от содержания органического вещества (рис. 5). Водоемы У-образное и Волотовское в настоящее время не являются коллеторами отходов промышленной деятельности. Объяснение факта локального происхождения anomalно высоких концентраций меди, свинца, никеля и кобальта в донных отложениях этих озер требует дальнейших исследований.

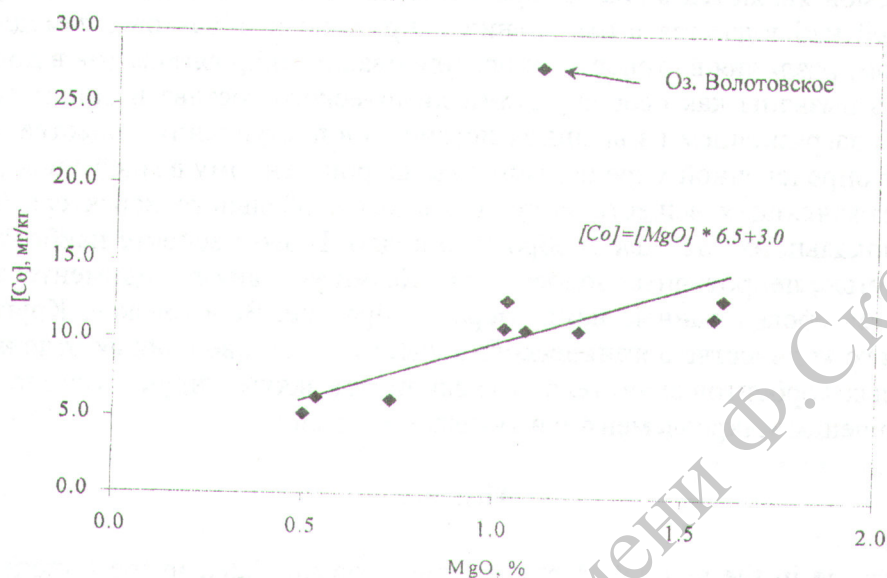


Рис. 4 – Концентрация кобальта в донных отложениях в зависимости от содержания оксида магния.

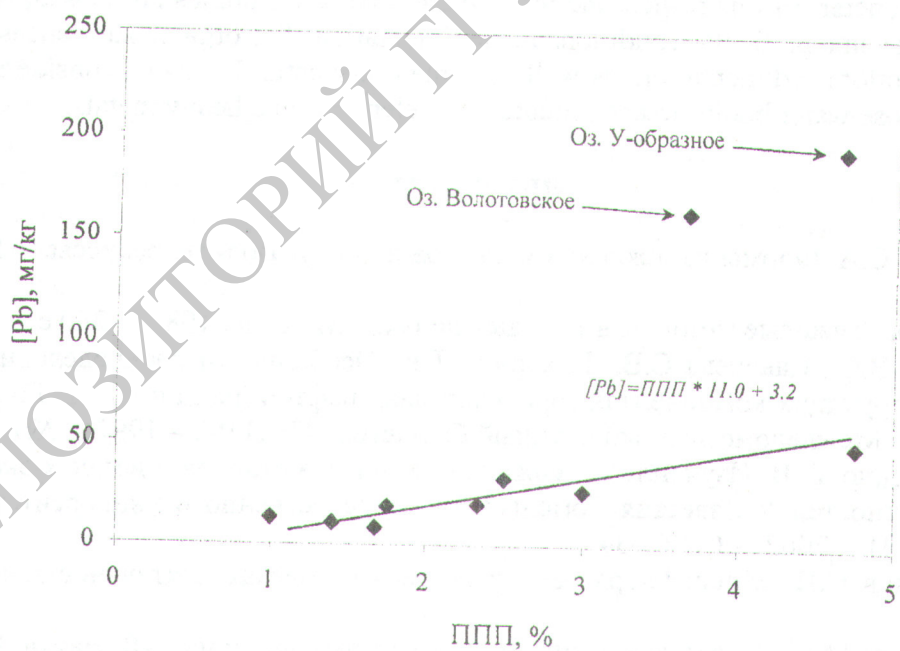


Рис. 5. Концентрация свинца в донных отложениях в зависимости от содержания органического вещества.

Результаты микроэлементного анализа донных отложений выявили довольно контрастную картину распределения свинца, меди, хрома и никеля в осадках обследованных водоемов. При этом максимальной степенью накопления данных металлов отличаются донные отложения озер У-образное, Волотовское, Круглое, Малое, Шапор, Дедно. На фоне сравни-

тельно равномерного распределения кобальта по озерам г. Гомеля отмечается его высокое содержание в донных отложениях оз. Волотовское. В отношении марганца не обнаружено значительной вариабельности концентраций.

Превышение фоновых концентраций хрома, меди, свинца, никеля и кобальта в два и более раз отмечено для озер У-образное, Волотовское, Круглое, Малое, Дедно, Шапор, Любенское, Гребной канал. Наиболее распространенными загрязнителями донных отложений городских водоемов являются металлы хром и медь. Экстремальные концентрации металлов-загрязнителей наблюдаются в отношении непроточных объектов с замедленным водообменом. В целом, различия в степени концентрирования микроэлементов в донных отложениях могут быть вызваны как особенностями химического состава и типом осадков, так и дополнительным загрязнением из внешних источников поступления вещества. Все озера городской черты в определенной мере подвержены антропогенному воздействию, причем пути поступления загрязняющих веществ могут быть как глобального характера (атмосферные осадки), так и локального (сточные и сбросные воды). В этом аспекте наиболее уязвимыми являются замкнутые, непроточные водоемы с особыми условиями седиментогенеза. К такому типу относятся обследованные нами озера У-образное, Волотовское, Круглое и Малое. Наличие большого количества органического вещества в составе донных отложений, а также других природных сорбентов значительно увеличивает аккумуляционную способность этих водоемов в отношении микроэлементов и тяжелых металлов.

Abstract

The difference in the amount of microelements accumulated in the bottom sedimentation may be caused by the peculiarities of the chemical composition and the type of sedimentation, as well as by the additional pollution from external sources. Besides, the way the pollutants get into the water bodies can be of both global (atmospheric precipitation) and local (sewage and industrial waste waters) character. In this respect the most vulnerable water bodies are closed, badly-drained water bodies with some particular conditions for sedimentation. The organic substances found in the composition of bottom sedimentation, as well as some other natural sorbents, considerably increase the capacity of those water bodies to accumulate microelements and heavy metals.

Литература

1. Царева С.А. Формы нахождения металлов в воде // Водные ресурсы. – 1999. – Т.26, №1. – С. 71-75.
2. Мур Дж. Тяжелые металлы в тяжелых водах. – М.: Мир, 1985. – 280 с.
3. Хомич В.С., Какарека С.В., Кухарчик Т.И. Особенности распределения микроэлементов в депонирующих компонентах городских ландшафтов (на примере г. Гомеля) // Природные ресурсы. Межведомственный научный бюллетень НАН РБ. – 1997. – №1. – С.85-93.
4. Макаренко Т. В. Изучение содержания тяжелых металлов в водных экосистемах г. Гомеля и окрестностей // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, №4 (13). – 2002. – С. 26–34.
5. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. – Л.: Наука, 1970. – 440 с.
6. Прыткова М.Я. Осадконакопление в малых водохранилищах. – Л.:Наука, 1981. – 152 с.
7. Курзо Б. В., Сенкевич Л.П., Гордобудская О.М., Рязанцева В.Д., Бурак Ю.Л. Состав современных осадков озер как индикатор природных и техногенных процессов // Природные ресурсы. Межведомственный научный бюллетень НАН РБ. – 1998. – №1. – С.98-108.
8. Гапеева М.В., Законнов В.В., Гапеев А.А. Локализация и распределение тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ верхней Волги // Водные ресурсы. – 1997. – Т.24, № 2. – С. 174-180.