

**Т. В. Макаренко, Н. М. Силивончик**

*Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь*

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ВОДЕ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ Г. ГОМЕЛЯ

*В статье представлены результаты исследований содержания тяжелых металлов в донных отложениях и воде р. Сож и водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий, которые проводились в период с 2001 г по 2014 г. По результатам исследований произведена оценка влияния Гомельской городской агломерации на качество воды изучаемых водоемов.*

➤ **Ключевые слова:** *тяжелые металлы, донные отложения, фоновый водоем, участки р. Сож выше и ниже г. Гомеля.*

### **Введение**

Среди основных загрязнителей водной среды выделяют тяжелые металлы, обладающие токсическим действием на жизнедеятельность биоты и консервативным действием в ее инерционном звене – донных отложениях. По химическому составу донных осадков можно получить полную информацию об уровне техногенного загрязнения, и поэтому их исследование имеет большое значение в оценке экологического состояния водоема [1, 2]. Металлы в природной среде, а особенно в донных отложениях, находятся в непрерывном процессе миграции, которая может осуществляться как в механической форме (вместе со слагающими частями осадка), так и в растворенной и коллоидальной форме, причем при этом происходит непрерывный обмен между гидросферой и литосферой через одну из известнейших геохимических барьерных зон «дно–вода». Металлы, являясь составной частью донных отложений, попадают в организмы бентосов, далее – рыб и по трофическим цепям – в пищу человека и могут накапливаться в костях и тканях [3, 4].

### **Материалы и методы исследования**

Объектами наших исследований, которые проводились с 2001 г. по 2014 г., являлись вода и донные отложения водоемов и водотоков Гомеля и прилегающих территорий, в том числе р. Сож. Для изучения были выбраны водные объекты существенно разные по степени и специфике хозяйственного освоения и техногенной нагрузки. На территории города располагаются озера Дедно, Шапор, Любенское, Малое, У-образное, Волотовское, в пригородной зоне отдыха – Гребной канал, озера Володькино и Круглое.

Для оценки влияния Гомельской городской агломерации на качество воды в р. Сож выполнялся отбор проб из реки выше города в районе д. Клёнки и ниже города по течению в районе д. Чёнки. Изучалась также, связанная с коренным руслом р. Сож старица у д. Поляновка (Ветковский район) в 10 км выше города по течению реки.

Изученные объекты имеют разный гидрологический режим. Озера Малое, Круглое, У-образное, Волотовское являются полностью замкнутыми непроточными водоемами. Гребной канал, озера Шапор, Дедно, Любенское, имеющие выход в Сож, обладают неодинаковой степенью проточности в зависимости сезона, которая достигает своего максимума во время половодий. Для оз. Володькино, которое представляют собой расширение русла реки, характерна наибольшая скорость течения.

Отбор проб воды проводился с помощью батометра с глубины 1,0 метр, далее пробы переливали в полиэтиленовые бутылки емкостью 1,0 л, предварительно (за 2–3 суток) заполненные водой водоемов для насыщения сорбции на стенках. Пробы фильтровались через фильтр «синяя лента» и консервировались добавлением концентрированной  $\text{HNO}_3$  до  $\text{pH} = 2-3$ . В большинстве случаев определение содержания тяжелых металлов в воде водоемов проводилось в день отбора проб. Содержание металлов в воде определялось атомно-абсорбционным методом на ААС «Perkin Elmer – 406» в лабораториях КПУП «Гомельводоканал» (г. Гомель). Донные отложения отбирались в летнюю межень (июль – август) с использованием дночерпателя Боруцкого и Петерсена [5]. Каждый образец состав-

лялся из 5 частных проб с однородного участка. Отобранные в полиэтиленовые емкости образцы в дальнейшем высушивались до воздушно-сухого состояния. Ситовым методом выделялась для исследования фракция менее 1 мм, и пробы озолялись при 450 °С. Содержание органического вещества оценивалось по потерям в массе после прокаливании (ППП) воздушно-сухих образцов при температуре 450 °С в течение 8 часов [6, 7].

Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях определялось атомно-эмиссионным методом на спектрофотометре PGS-2 в лаборатории РУП «Белорусский научно-исследовательский геолого-разведочный институт».

### *Результаты исследований и их обсуждение*

#### **1. Среднее содержание тяжелых металлов в донных отложениях р. Сож и водоемов города и прилегающих территорий.**

В качестве фонового водоема для оценки содержания загрязнителей в Гомельском районе была выбрана старица р. Сож д. Поляновка, расположенная выше города по течению реки в среднем на 15 км. Исследования, проведенные ранее, выявили водоем как наиболее чистый. В результате новых исследований, проведенных в 2014 году, установлено, что среднее содержание металлов в донных осадках фонового водоема не существенно ниже, чем в водоемах города. Следует отметить, что средняя концентрация свинца в донных отложениях фонового водоема в среднем в 2,0 раза ниже, чем в водоемах города, что видно на рис. 1.

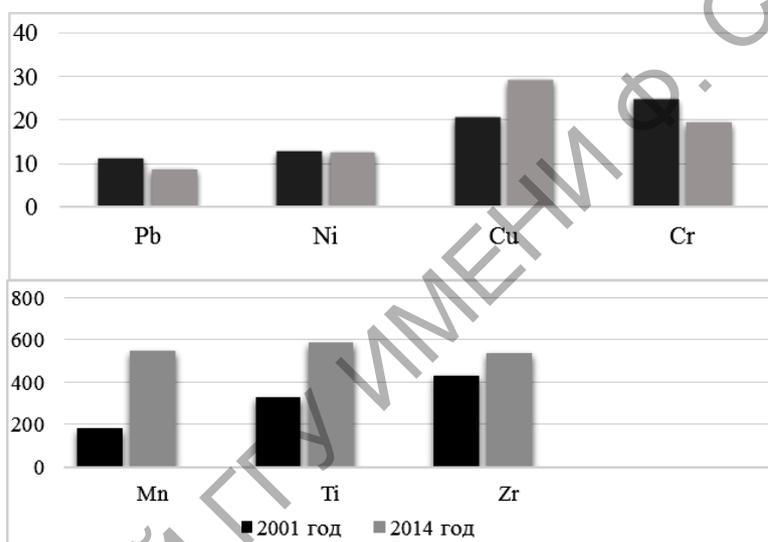


Рисунок 1 – Сравнительный обзор среднего содержания (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях фонового водоема

Только содержание никеля в донных отложениях практически не изменилось, а концентрация хрома и свинца уменьшилась. Однако концентрации остальных тяжелых металлов за данный интервал времени возросли весьма существенно – в 1,5–3,0 раза. Причем максимальное увеличение отмечено для марганца. Содержание данного элемента во всех исследуемых водоемах, включая фоновый, заметно превышает кларковые величины [8], что, вероятно, связано с аномалиями природного происхождения в рассматриваемой геохимической провинции. Концентрация марганца, зафиксированная в донных отложениях в пределах Березинского биосферного заповедника, составляет 4100 мг/кг [9].

Значительное повышение содержания таких металлов как титан и цирконий объяснить сложно по той причине, что они практически не участвуют в производных процессах предприятий г. Гомеля и не являются загрязнителями изучаемой территории. Возможно, это связано с увеличением выбросов соединений данных металлов с продуктами горения различных видов топлива, а также переработкой полезных ископаемых на предприятиях города. Данный факт требует дальнейшего изучения в связи с тем, что данная тенденция отмечена в водоеме, который не испытывает видимой антропогенной нагрузки и расположен существенно выше города по течению реки. Динамика содержания металлов в донных отложениях фонового водоема связана также с изменением гидрологического режима в связи со снижением уровня речной воды. Связь старицы с р. Сож с течением времени сократилась, в результате чего в водоеме почти отсутствует течение, которое наблюдалось ранее.

Что касается водоемов города (рис. 2), то здесь отмечены следующие тенденции: заметно снизилось среднее содержание всех исследуемых металлов в донных отложениях, что свидетельствует об уменьшении антропогенной нагрузки, оказываемой на водоемы.

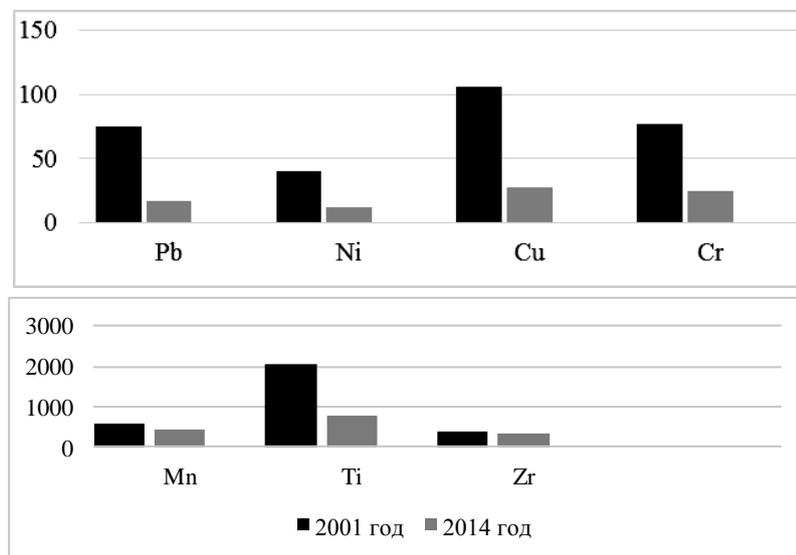


Рисунок 2 – Сравнительный обзор среднего содержания (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях водоемов г. Гомеля

Максимально снизилась концентрация меди и свинца – в среднем в 4,0 раза соответственно. Незначительное снижение отмечено для марганца и циркония – в среднем в 1,1 и 1,75 раз соответственно.

Тенденция изменения содержания всех изучаемых металлов на участке реки до принятия стоков города и ниже города по течению реки имеет общее направление, что видно исходя из рис. 3 и рис.4.

В свою очередь концентрация меди, хрома и титана заметно снижается, что в незначительной степени характерно и для марганца.

На участке реки выше города по течению содержание металлов в донных отложениях колеблется в более широких пределах в сравнении с участком реки ниже города.

Анализируя данные 2014 года по содержанию изучаемых металлов в донных отложениях водоемов г. Гомеля, можно сделать вывод, что, несмотря на наличие течения, наиболее загрязненным водоемом является р. Сож, что свидетельствует о влиянии Гомельской городской агломерации на речную экосистему. Концентрация всех изучаемых металлов в отложениях реки превышает их содержание в городских и фоновом водоемах в среднем в 1,1–8,0 раз.

Максимальные концентрации свинца и никеля были зафиксированы на участке реки в районе пос. Кленки (выше города по течению), что может свидетельствовать о том, что данные металлы не являются основными загрязнителями поверхностного стока города. Наиболее высокое содержание всех остальных металлов отмечено на участке ниже города по течению – в районе пос. Ченки, что указывает на факт поступления металлов со стоками города.

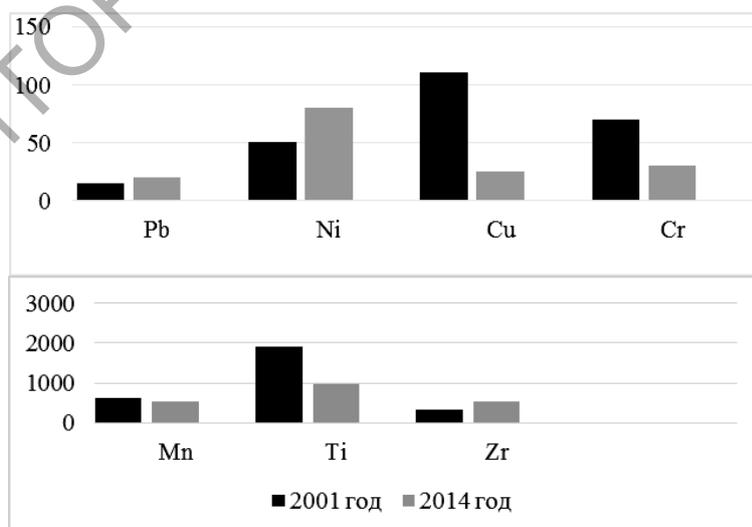


Рисунок 3 – Сравнительный обзор среднего содержания (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях р. Сож пос. Кленки (выше города)

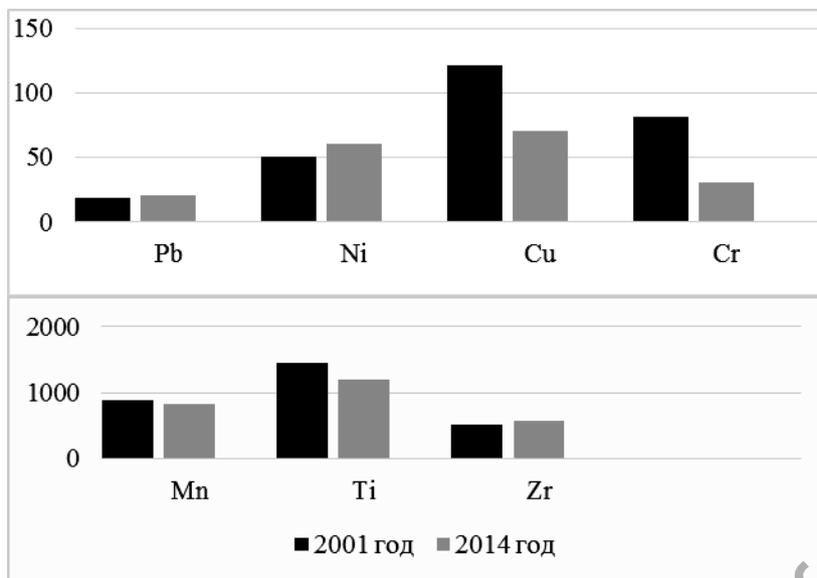


Рисунок 4 – Сравнительный обзор среднего содержания (мг/кг) тяжелых металлов в донных отложениях р. Сож пос. Ченки (ниже города)

## 2. Среднее содержание тяжелых металлов в воде р. Сож и водоемов города и прилегающих территорий.

Несмотря на отсутствие видимой антропогенной нагрузки и значительной удаленности от городов и поселков, вода фоновое водоема загрязнена соединениями свинца и марганца. В 2001 году содержание свинца превышало ПДК в 3,3 раза, в 2014 году – в среднем в 16,3 раза. Это, возможно, связано с вторичным загрязнением воды фоновое водоема и поступлением металлов из донных отложений. Концентрация марганца превысила нормативный уровень в только 2014 году, в среднем, в 1,3 раза, как это видно из табл. 1

Таблица 1

Среднее содержание (мг/кг) тяжелых металлов в воде фоновое водоема

металл \ год	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni
2001	0,100	0,006	0,157	0,007	0,007	0,001
2014	0,490	0,045	0,116	0,129	0,006	0,003
ПДК*	0,0300	1,0	1,0000	0,1000	0,5000	0,1000

Примечание: «\*» – ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Сравнивая между собой количественные данные, представленные в табл. 1, следует отметить, что концентрация исследуемых металлов, за исключением цинка и хрома, в воде фоновое водоема в 2014 году выше, чем в 2001 году. Причем, в весьма значительной степени возросло содержание таких металлов как свинец, марганец и медь – в среднем в 48,0, 18,0 и 7,0 раз соответственно. В сравнении с фоновым водоемом, в 2001 году в воде водоемов города (табл. 1 и табл. 2) концентрация свинца и цинка снизилась в среднем в 11,1 и 1,2 раз соответственно, а содержание таких металлов как медь, марганец и хром увеличилось – в среднем в 2,6, 16,1 и 2,4 раз соответственно, концентрация никеля не изменилась. В 2014 году в сравнении с фоном в воде городских водоемов содержание всех исследуемых металлов снизилось – в среднем в 1,5–45,0 раз. Причем, минимально снизилось содержание никеля – в среднем в 1,5 раза, а максимально снизилось содержание меди – в среднем в 45,0 раз.

Значительное увеличение концентрации свинца, вероятно, обусловлено изменением гидрологического режима. Известно, что ранее фоновый водоем имел связь с р. Сож, однако, в настоящее время эта связь значительно сократилась, что обусловило незначительную скорость течения водоема. Уровень воды в р. Сож за последние годы снизился практически на 1,0 м, что повлияло на изменение физико-химических условий водоема. Можно предполагать, что в экосистеме фоновое водоема происходит перераспределение свинца из донных отложений в водные массы; о чем свидетельствует уменьшение его содержания в донных отложениях. Для таких металлов как медь и марганец отмечена тенденция увеличения общего содержания к 2014 году.

Содержание исследуемых металлов в воде исследуемых водоемов не превышало допустимую концентрацию, что видно исходя из табл. 2.

Таблица 2

Среднее содержание (мг/кг) тяжелых металлов в воде исследуемых водоемов

металл / год	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni
2001	0,009	0,016	0,134	0,113	0,017	0,001
2014	0,018	0,001	0,063	0,055	0,001	0,002
ПДК*	0,0300	1,0000	1,0000	0,1000	0,5000	0,1000

Примечание: «\*» – ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

В воде городских водоемов в 2014 году в сравнении с 2001 годом снизилось содержание марганца и цинка – в среднем в 2,0 раза, а также меди и хрома – в среднем в 15,0 и 17,0 раз соответственно. В донных отложениях исследуемых водоемов среднее содержание меди, марганца и хрома также снижается, что указывает на общую тенденцию снижения антропогенного воздействия на водоемы города. Тенденция увеличения содержания, в сравнении с 2001 годом, отмечена для свинца – в среднем в 20,0 раз и в незначительной степени для никеля. Заметный рост средней концентрации свинца в воде может быть связан с его поступлением в воду из донных отложений, так как содержание данного металла в них снизилось почти в 4,0 раза.

Согласно табл. 3, вода р. Сож загрязнена соединениями металлов, что видно по превышению уровней нормативных концентраций. Содержание свинца в воде реки в 2001 году превысило ПДК как выше, так и ниже черты города в среднем в 25,0 и 19,6 раз соответственно. Концентрация остальных металлов за период исследований соответствовала допустимой норме.

Таблица 3

Среднее содержание (мг/кг) тяжелых металлов в воде р. Сож

металл / год	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni
2001	0,750	0,006	0,113	0,120	0,004	0,001
	0,590	0,008	0,206	0,100	0,004	0,001
2014	0,030	0,032	0,023	0,025	0,0003	0,0006
	0,008	0,005	0,007	0,023	< п. о	0,002
ПДК [10]*	0,0300	1,0000	1,0000	0,1000	0,5000	0,1000

Примечание: над чертой – выше черты города, под чертой – ниже черты города; «\*» – ПДК хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

В 2014 году в воде реки выше города, в сравнении с участком ниже черты города, содержание меди и цинка увеличилось в среднем в 6,0 и 3,3 раза соответственно. Изменения в содержании марганца и никеля в 2014 году незначительны, а концентрация хрома в реке на участке ниже города ниже предела обнаружения. Имеются основания предполагать, что повышенное содержание меди в воде реки на участке выше города может быть обусловлено двумя причинами. Во-первых, среднее содержание меди в донных отложениях данного участка реки за период исследований снизилось, что, вероятно, вызвано изменением физико-химических условий водоема, и этот факт может указывать на миграцию данного металла из донных осадков в воду. Во-вторых, увеличение меди может быть связано с поступлением медьсодержащих соединений с поверхностным стоком, который поступает в реку и содержит остатки гербицидов, фунгицидов и удобрений частного сектора и сельхозугодий, подходящих близко к урезу воды.

Содержание исследуемых металлов в 2014 году в воде реки за чертой города снизилось в сравнении с 2001 годом. Содержание свинца уменьшилось в среднем в 77,0 раз, меди – в среднем в 2,0 раза, цинка – в среднем в 32,0 раза, марганца – в среднем в 4,0 раза. Причем, концентрация хрома в 2014 году оказалась ниже предела обнаружения. Содержание никеля практически не изменилось.

В 2014 году отмечена тенденция уменьшения содержания свинца, меди и цинка, на участке реки ниже города по сравнению с участком выше города в среднем на 72,0–85,0%, содержание марганца снизилось в среднем на 6,0%. Концентрация никеля в 2014 году на участке реки ниже черты города увеличилась в среднем на 60,0%.

В 2001 году на участке реки вниз по течению отмечается следующая тенденция: содержание меди, цинка и хрома увеличилось в среднем на 16,0–45,0%, концентрация марганца и свинца снизилась в среднем на 13,0% и 22,0% соответственно, содержание никеля в 2001 году – не изменилось.

В точке отбора проб воды из р. Сож выше города, в 2014 году по сравнению с 2001 годом, увеличилась концентрация меди на 82,0%. Содержание остальных металлов уменьшилось в среднем на 40,0–95,0%.

На участке р. Сож ниже города в 2014 году по сравнению с 2001 годом увеличилось содержание никеля в среднем на 33,0%. Концентрация остальных металлов уменьшилась на 42,0–99,0%.

Резюмируя изложенное выше, можно предположить, что в 2014 году воздействие городской агломерации на речную систему являлось менее выраженным в сравнении с 2001 годом. Возможно, это объясняется заметным улучшением качества очистки сточных вод промышленности, произошедшим за минувшие 30 лет, а также уменьшением техногенной нагрузки на реку, исходящей от промышленных предприятий Гомеля.

### **Выводы**

Только в фоновом водоеме было отмечено увеличение концентрации меди в донных отложениях за весь период исследований. Кроме этого, в донных отложениях фонового водоема зафиксировано повышенное содержание титана и циркония, что представляет интерес для дальнейших исследований.

Результаты исследований динамики содержания металлов в донных отложениях водоемов города показали, что, в сравнении с 2001 годом, в 2014 году концентрация всех изучаемых металлов уменьшилась, что указывает на тенденцию снижения антропогенной нагрузки оказываемой на водоемы города. За весь период исследований в донных отложениях р. Сож содержание таких металлов как медь, хром, марганец и титан заметно снизилось, в то время как концентрация свинца, никеля и циркония незначительно возросла. Данные результаты указывают на снижение негативного воздействия городской агломерации на реку. В 2014 году наиболее высокое содержание металлов установлено в донных отложениях р. Сож. Причем, участок реки, расположенный ниже города по течению, загрязнен в большей степени в сравнении с участком выше города по течению реки. Данный факт связан с влиянием поверхностного стока города на экосистему р. Сож.

В фоновом водоеме за период исследований отмечено заметное увеличение средней концентрации свинца, марганца и меди, что обусловлено значительным уменьшением скорости течения и снижением уровня воды, что вызвано, в свою очередь, изменением физико-химических условий водоема. Кроме этого, вероятно, внутри фонового водоема происходит перераспределение металлов из донных осадков в воду.

За весь период исследований во всех исследуемых водоемах в весьма значительной степени увеличилось среднее содержание свинца. Данный факт, вероятно, связан со вторичным загрязнением водоемов вследствие миграции свинца из донных отложений в водные массы, о чем свидетельствует снижение его содержания в донных отложениях исследуемых водоемов.

Для всех исследуемых водоемов города в указанный интервал времени отмечена тенденция уменьшения антропогенного влияния на основании заметного снижения в воде водоемов концентраций таких металлов как медь, цинк и марганец, а также очень незначительного колебания содержания хрома и никеля, что указывает на эффективность комплексных экологических мероприятий, которые осуществляются в Беларуси. В воде р. Сож в 2014 году отмечено снижение содержания тяжелых металлов в сравнении с 2001 годом, что особенно заметно в случае свинца на участке реки выше черты города – в среднем в 21,0 раз, а также на участке реки ниже города – в среднем в 77,0 раз.

В 2001 году не наблюдалось общей закономерности изменения содержания металлов в воде вниз по течению реки. Концентрация исследуемых металлов в 2014, за исключением никеля, в воде р. Сож вниз по течению уменьшилась. Вероятно, тенденция снижения содержания металлов в воде вниз по течению реки в 2014 году связана с уменьшением техногенной нагрузки оказываемой на р. Сож, что связано главным образом с модернизацией оборудования промышленных предприятий г. Гомеля.

В р. Сож пос. Кленки (выше города) заметно увеличилось содержание меди. Данный факт может быть обусловлен поступлением медьсодержащих фунгицидов вместе с поверхностным стоком из сельскохозяйственных участков поселка, а также перераспределением меди из донных отложений в речную воду.

### **Список литературы**

1. Другов, Ю. С. Экологическая аналитическая химия : учеб. пособие для вузов / Ю. С. Другов. – М.: Химия, 2000. – 432 с.
2. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – С. 408.

3. Никаноров, В. М. Глобальная экология / В. М. Никаноров, Т. А. Хоружая. – М.: Дрофа, 2000. – 285 с.
4. Чекренев, С. А. Анализ компонентного состава донных отложений / С. А. Чекренев, Н. Е. Панова // Международная научная конференция «Современные тенденции развития химии и технологии полимерных материалов». – СПб.: СПГУТД, 2008. – С. 60.
5. Макаренко, Т. В. Исследование накопления тяжелых металлов в донных отложениях водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий / Т. В. Макаренко, С. П. Калтович // Молодежь в науке – 2009 : прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі». В 5 ч. Ч.1 Сер. хім. навук – 2010. – С. 146–149.
6. Абакумов, В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В. А. Абакумов. – Л. : Гидрометеиздат, 1983. – 240 с.
7. Савченко В. В. Микроэлементы в илах водохранилищ р. Свислочи / В. В. Савченко // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23, № 4. – С. 444–447.
8. Гордобудская, О. М. Анализ регионального накопления микроэлементов в сапропелях / О. М. Гордобудская, Б. В. Курзо, Ю. Л. Бурак // Природопользование. – 1996. – № 1. – С. 17–24.
9. Савченко, В. В. Эколого-геохимическое изучение аллювиальных осадков Березины и Свислочи. – авториферат дис. канд. геол.-мин. наук. – Минск, 1993. – 22 с.
10. Сборник гигиенических нормативов по разделу коммунальной гигиены. Республиканские санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. – Минск, 2004. – 96 с.

**T. V. Makarenko, N. M. Silivonchik**

## **HEAVY METALS CONTENT IN THE BOTTOM SEDIMENT OF GOMEL'S RESERVOIRS AND CHANNELS**

*Compared with 2001, in 2014 the concentration of all researched metals except lead decreased, which indicates a reduction of anthropogenic load on aquatic ecosystems. It has been revealed in the research of the dynamics of metals accumulation in the waters and bottom sediments of Gomel's reservoirs. The lead content in water reservoirs is largely increased, while it is decreased in the bottom sediments. This fact is probably due to the secondary contamination of water reservoirs during the metals transition from sediments. The bottom sediments of the downstream reach of the river Sozh contain lead in higher concentrations in comparison with those on the upstream reach of the river. But the reverse tendency takes place concerning the water of the river Sozh: the area above the city is contaminated with the researched metals more than that one outside the city.*