

УДК 549.25/28:594.32(282.247.321.7)(476.2-21 Гомель)

## ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МЯГКИХ ТКАНЯХ ЖИВОРОДКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*VIVIPARUS VIVIPARUS L.*), ОБИТАЮЩЕЙ В Р. СОЖ В РАЙОНЕ Г. ГОМЕЛЯ

Т. В. МАКАРЕНКО<sup>1)</sup>, И. В. ГРИЩЕНКО<sup>1)</sup>, А. И. МАКАРЕНКО<sup>2)</sup>, А. Н. НИКИТИН<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,  
ул. Советская, 108, 246028, г. Гомель, Беларусь

<sup>2)</sup>Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам,  
ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Беларусь

<sup>3)</sup>Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Беларусь

Мягкие ткани моллюсков являются одним из тех компонентов, которые позволяют установить степень влияния городской агломерации на загрязнение компонентов водной экосистемы, не имеющих видимой антропогенной нагрузки, соединениями тяжелых металлов. Содержание изучаемых тяжелых металлов (за исключением никеля) уменьшилось в сравнении с данными, полученными в 2002 г., что свидетельствует о снижении антропогенной нагрузки на водные экосистемы р. Сож. Высокое содержание меди, кобальта и никеля на участке до принятия стоков города, подтверждает поступление загрязнителей с поверхностным стоком агроселитебных территорий и населенных пунктов, расположенных выше города по течению реки. Однонаправленное снижение концентрации меди вниз по течению р. Сож свидетельствует о протекании процессов самоочищения экосистемы. Подтверждением данных процессов является значительное снижение содержания свинца и хрома на участке за чертой города, в сравнении с участком реки в городской черте. Аномально высокая концентрация свинца и хрома в мягких тканях живородки обыкновенной *Viviparus viviparus L.* на участке реки в пределах черты города, а никеля и кобальта – ниже черты города, говорит о поступлении металлов в реку с поверхностным стоком города. Высокий уровень содержания металлов в старичном комплексе показывает необходимость проведения исследования по содержанию поллютантов в водных экосистемах, не испытывающих видимой антропогенной нагрузки, но используемых населением в рекреационных целях.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы; антропогенная нагрузка; водные экосистемы; поверхностный сток; экологический мониторинг; мягкие ткани; моллюски.

### Образец цитирования:

Макаренко ТВ, Грищенко ИВ, Макаренко АИ, Никитин АН. Изучение содержания некоторых тяжелых металлов в мягких тканях живородки обыкновенной (*Viviparus viviparus L.*), обитающей в р. Сож в районе г. Гомеля. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2021;1:29–39. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-1-29-39>

### For citation:

Makarenko TV, Hryshchanka IV, Makarenko AI, Nikitin AN. Study of the content of certain heavy metals in the soft tissue of the (*Viviparus viviparus L.*) that inhabitates the river of Sozh in Gomel. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2021;1:29–39. Russian. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-1-29-39>

### Авторы:

**Татьяна Викторовна Макаренко** – доцент, кандидат биологических наук; доцент кафедры химии биологического факультета.

**Илья Владимирович Грищенко** – студент 4 курса биологического факультета.

**Андрей Игоревич Макаренко** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии.

**Александр Николаевич Никитин** – кандидат сельскохозяйственных наук; заведующий лабораторией радиоэкологии.

### Authors:

**Tatiana V. Makarenko**, PhD (biology), docent; associate professor at the department of chemistry, faculty of biology.

[tmakarenko1968@bk.ru](mailto:tmakarenko1968@bk.ru)

**Ilya V. Hryshchanka**, 4th year student, faculty of biology.

[ilian11111@mail.ru](mailto:ilian11111@mail.ru)

**Andrei I. Makarenko**, PhD (biology), senior researcher of the laboratory of hydrobiology.

[amakarenko198989@mail.ru](mailto:amakarenko198989@mail.ru)

**Alexander N. Nikitin**, PhD (agriculture); head of the laboratory for radioecology.

[nikitinale@gmail.com](mailto:nikitinale@gmail.com)

## STUDY OF THE CONTENT OF CERTAIN HEAVY METALS IN THE SOFT TISSUE OF THE (*VIVIPARUS VIVIPARUS* L.) THAT INHABITATES THE RIVER OF SOZH IN GOMEL

T. V. MAKARENKO<sup>a</sup>, I. V. HRYSHCHANKA<sup>a</sup>, A. I. MAKARENKO<sup>b</sup>, A. N. NIKITIN<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Francisk Skorina Gomel State University,  
108 Saveckaja Street, 246028 Gomel, Belarus

<sup>b</sup>Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources,  
27 Akademičnaja Street, 220072 Minsk, Belarus

<sup>c</sup>Institute of Radiobiology, National Academy of Sciences of Belarus,  
4 Fiadziuninskaga Street, 246007 Gomel, Belarus  
Corresponding author: T. V. Makarenko (tmakarenko1968@bk.ru)

The soft tissues of molluscs are the components that make it possible to establish the degree of influence of the urban agglomeration on the pollution of the components of the aquatic ecosystem, which do not have a visible anthropogenic load, with compounds of heavy metals. The content of the heavy metals under investigations (except for nickel) decreased in comparison with the data obtained in 2002, which indicates a decrease in anthropogenic load on the aquatic ecosystems of the Sozh. The high content of copper, cobalt and nickel before the city's wastewater is received confirms the influx of pollutants with the surface runoff of agro-residential areas and settlements located upstream of the city along the river. Unidirectional decrease in copper concentration downstream of the Sozh testifies to the course of ecosystem self-cleaning processes. Confirmation of these processes is a significant decrease in the content of lead and chromium in the area outside the city, in comparison with the section of the river within the city limits. The abnormally high concentration of lead and chromium in the soft tissues of *Viviparus viviparus* L. in the river section within the city limits, nickel and cobalt below the city limits, indicates the flow of metals into the river with the surface runoff of the city. The high level of metal content in the old complex shows the need to conduct a study on the content of pollutants in aquatic ecosystems that do not have a visible anthropogenic load, but are used by the population for recreational purposes.

**Keywords:** heavy metals; anthropogenic load; aquatic ecosystems; surface runoff; environmental monitoring; soft tissues; shellfish.

### Введение

Мониторинг окружающей среды городов и прилегающих территорий является одной из важнейших тем для экологических исследований. Отходы производства загрязняют почву, водные ресурсы, фитоценозы и приводят к уничтожению экосистем городов, что в конечном итоге пагубно сказывается на жизни и здоровье человека.

Комплексное исследование рек и водоемов городов позволяет дать полную картину передвижения загрязнителей в водных экосистемах, а также в цепях питания и оценить техногенную нагрузку на водоемы и их водосборы [1]. Большая площадь г. Гомеля в совокупности с высокой численностью населения и многочисленными источниками воздействия на р. Сож (большое количество предприятий, находящихся недалеко от водных объектов) создают предпосылки для изучения представленных экосистем, а также выявления различных сочетаний природных и техногенных факторов, на них влияющих.

Особое место среди техногенных загрязнений принадлежит тяжелым металлам. Их главной особенностью как загрязнителей является устойчивость и увеличение концентрации при переходе по трофическим цепям [2]. В отличие от органических токсикантов тяжелые металлы не разрушаются под действием природных факторов. Их выведение из водоемов и водотоков возможно только за счет улетучивания (ртуть) или захоронения в донных осадках [3]. Металлы в природной среде, а особенно в донных отложениях, находятся в непрерывном процессе миграции, которая может осуществляться как в механической, так и в растворенной и коллоидальной формах, при этом происходит непрерывный обмен между гидро- и литосферой через одну из известных геохимических барьерных зон «дно-вода». Металлы, являясь составной частью донных отложений, попадают в организмы бентоса, далее – рыб и по трофическим цепям – в пищу человека, где могут накапливаться в органах и тканях [4; 5].

Изучением проблемы накопления тяжелых металлов занимаются ученые во многих странах мира, так как с ростом производства увеличивается и количество загрязнителей [6–8].

Целью настоящей работы явилось проведение сравнительного анализа содержания некоторых тяжелых металлов в мягких тканях живородки обыкновенной *Viviparus viviparus* L., обитающей в р. Сож на различных ее участках в районе г. Гомель.

## Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран представитель класса брюхоногих моллюсков – живородка обыкновенная *V. viviparus* L., широко распространенный вид в водоемах Республики Беларусь. Отбор проб производился в летне-осенний период 2019 г. Использовался метод ручного сбора по стандартной методике [9]. Для анализа использовались только мягкие ткани. Пробы последовательно высушивали, затем озоляли до белой золы в муфельной печи при 450 °С в течении 8 часов [10]. Содержание тяжелых металлов в золе брюхоногих моллюсков определяли методом ISP масс-спектрометрии, на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Elan DRCe (Perkin Elmer), на базе лаборатории радиэкологии «Института радиобиологии НАН Беларуси». Для оценки влияния Гомельской городской агломерации на экосистему р. Сож были выбраны точки отбора проб в 4 км выше черты города (район д. Кленки), в черте города в районе Гомельского городского парка и ниже административной черты города в районе Гомельского объездного моста. Так же отбирались пробы в старичном комплексе р. Сож, расположенном в 15 км выше города и не испытывающем никаких видимых антропогенных нагрузок. В весенне-осенний период в него поступает вода из р. Сож через небольшой перешеек. На участке реки в районе д. Кленки (выше города по течению) вдоль берега расположено большое количество приусадебных огородов и дачных участков, в некоторых случаях, подходящих близко к урзу реки. Берег на данном участке во многих местах обрывистый, что дает возможность поверхностному стоку беспрепятственно поступать в реку. В парковой зоне водоток принимает стоки ливневых канализаций города, а также поверхностный сток с территории Гомельского городского порта.

Вдоль участка реки ниже административной черты города располагаются различные зоны рекреации. На участке ниже парковой зоны и до административной черты города р. Сож принимает воду из оз. Шапор и нескольких речных заливов. В свою очередь, оз. Шапор принимает поверхностный сток с территории Гомельских городских промышленных комплексов, таких как: ОАО «Гомельдрев», ОАО «Гомельобой» и ЧПУП «Фанерно-спичечный комбинат», что может являться дополнительным источником загрязнения речной системы.

## Результаты исследований и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что в мягких тканях *V. viviparus* L., отловленных в 2019 г., примерно 59 % от всех изучаемых тяжелых металлов приходится на медь (рис. 1).

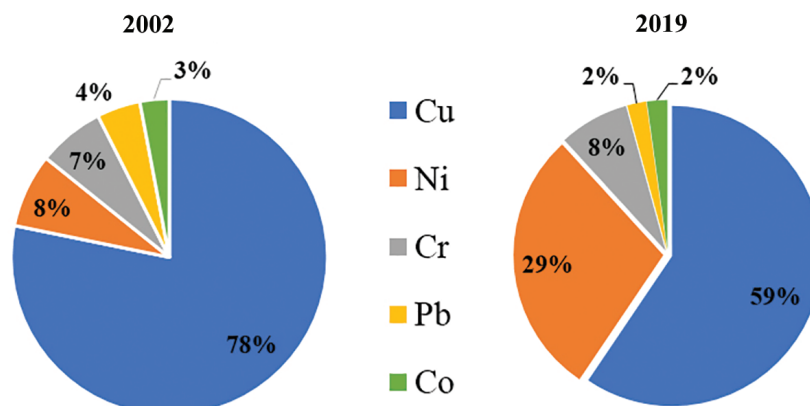


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в мягких тканях *V. viviparus* L. в водоемах г. Гомеля в 2002 и 2019 гг.

Fig. 1. The percentage of heavy metals in soft tissues *V. viviparus* L. in water bodies of Gomel in 2002 and 2019

Медь активно используется моллюсками в процессе жизнедеятельности, встречается в большом количестве ферментов, например, в цитохром с-оксидазе, активирующей гемоцианин [11]. Медь и цинк содержатся в ферменте супероксиддисмутазе и в переносящем молекулярный кислород белке гемоцианине. В составе гемоцианина в виде имидазольного комплекса ион меди играет роль, аналогичную роли порфиринового комплекса железа в молекуле белка гемоглобина в крови позвоночных животных [12]. Предполагается, что медь и цинк конкурируют друг с другом в процессе усваивания в пищеварительном тракте, поэтому избыток одного из этих элементов в пище может вызвать недостаток другого элемента [11].

На втором месте по содержанию в тканях находится никель – 29 %. Он играет большую роль в метаболизме живых организмов, в тканях которых он конкурирует только с пятью жизненно важными элементами – кальцием, кобальтом, медью, железом и цинком. Медь и никель проявляют антогонизм в тканях гидробионтов. Из негативных эффектов можно выделить сильное мутационное действие соединений никеля [11].

Третье место занимает хром – 8 %, который может оказывать положительное влияние на организм, входя в состав хелатных комплексов, но также проявляет токсическое действие на организм моллюсков,

угнетая их рост и дыхание. Отмечается высокий канцерогенный и мутагенный эффекты соединений хрома для многих организмов [11].

Минимальное процентное содержание в мягких тканях живородки приходится на свинец и кобальт. Если кобальт всегда содержится в организмах моллюсков в незначительных количествах [13], то концентрация свинца может быть значительно выше, что определено в настоящих исследованиях. Физиологическая роль свинца в организме человека и животных до настоящего времени не установлена, но организмы могут приобретать в процессе жизнедеятельности устойчивость к воздействию данного металла [11]. Низкое содержание свинца в мягких тканях моллюсков, отловленных в 2019 г., может свидетельствовать о снижении поступления металла в изучаемые водоемы. Кобальт, в свою очередь, один из микроэлементов, жизненно важных для организма, он влияет на обмен и биологическое действие кальция и фосфора. Ионы кобальта снижают активность сукцинатдегидрогеназы и цитохромоксидазы, но в то же время соединения металла являются очень токсичными и обладающими мутагенным действием. При избытке кобальта идет процесс торможения самовоспроизведения гидробионтов, замедляются процессы самоочищения водоемов [12].

В сравнении с данными, полученными в 2002 г., процентное содержание меди, кобальта и свинца в тканях моллюсков снизилось с 78 до 59 %, с 3 до 2 % и с 4 до 2 % соответственно. Содержание хрома незначительно увеличилось, а вот для соединений никеля увеличение составило 3,6 раза с 8 до 29 %, хрома – с 7 до 8 %.

Если соотнести данные настоящих исследований с результатами, полученными в 2002 г., то абсолютная концентрация уменьшилась для меди в 3,7 раза с 38,59 до 8,36 мг/кг, кобальта – в 4,2 раза с 1,29 до 0,31 мг/кг, свинца – в 6,2 раза с 1,83 до 0,29 мг/кг, хрома – в 2,2 раза с 2,36 до 1,06 мг/кг. В свою очередь концентрация никеля увеличилась в 1,6 раза, с 2,49 до 4,04 мг/кг [14]. Учитывая все вышесказанное, можно говорить о снижении антропогенной нагрузки на водные экосистемы что, скорее всего, явилось следствием контроля за выбросами в атмосферу промышленных предприятий и сокращения сброса сточных вод в водные экосистемы. Одним из важных критериев снижения содержания токсикантов является протекание внутри водоемов процессов самоочищения [15], когда они депонируются в донных отложениях в недоступных для биологических объектов формах.

Особое место в изучении динамики содержания металлов в мягких тканях живородки занимает свинец. У особей в старичном комплексе и на участке реки, протекающей через центр Гомеля, отмечается аномально высокая концентрация металла, которая в среднем в 12,0 раза выше, чем у моллюсков, обитающих на всех остальных изучаемых участках р. Сож. Такого факта не наблюдалось в исследованиях, проводимых с 2002 г. и по настоящий момент. Если не учитывать эти аномально высокие концентрации, то общий уровень содержания свинца в тканях моллюсков снизился в 21,0 раза в сравнении с данными, полученными ранее. Следует обратить внимание на то, что соединения свинца стали значительно меньше использоваться в производственных процессах и автомобильном транспорте. Важно отметить, что у моллюсков в водоемах, где отмечено высокое содержание свинца, определена также высокая концентрация хрома. Такие изменения могут быть следствием как антропогенного влияния на вышеуказанные водные системы, так и изменения биологической доступности соединений изучаемых металлов в воде и донных отложениях водоемов.

Полученные в настоящих исследованиях данные имеют такие же диапазоны варьирования, как и у исследователей, работающих с моллюсками на р. Иртыш [16], но содержание меди у живородки в р. Сож приблизительно в 2,0 раза выше. Анализируя данные, полученные для водоемов, расположенных в окрестностях г. Карабаш [7], являющимся одним из промышленных городов России, испытывающих значительную антропогенную нагрузку, то в тканях брюхоногих моллюсков водоемов Гомеля содержание меди в 44,5 раза ниже. Моллюски водоемов в окрестностях г. Карабаш накапливают соединения изучаемых металлов больше, чем в экосистеме р. Сож – никеля в 5,1 раза, хрома и кобальта в 8,0–9,6 раза (хрома и кобальта), свинца – в 70,7 раза (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Содержание тяжелых металлов в мягких тканях брюхоногих моллюсков в водотоках России и Беларуси (мг/кг)

T a b l e 1

The content of heavy metals in the soft tissues of gastropods in watercourses of Russia and Belarus (mg/kg)

Водоток	Тяжелые металлы				
	Cu	Co	Pb	Cr	Ni
р. Иртыш	4,751	< п.о.	5,655	5,716	5,018
Водоемы г. Карабаш	371,758	2,883	20,425	8,453	20,528
Система р. Сож	8,36	0,30	0,29	1,06	4,05

Примечание: < п.о. – ниже предела обнаружения.

Ожидание высокой концентрации металлов у особей, отобранных ниже городской черты по течению, не оправдалось. У моллюсков на участке ниже черты города показатели содержания свинца, хрома и меди имели минимальные значения по сравнению с остальными точками отбора проб, и только содержание никеля в тканях моллюсков на данном участке оказалось высоким.

Максимальное количество меди в тканях живородки определено на участке реки до принятия стоков города. Кроме того, высокая концентрация металла была обнаружена и у особей, обитающих значительно выше города по течению в старичном комплексе р. Сож. Как показали исследования, проведенные ранее на тех же участках с водными растениями [17], содержание меди у макрофитов реки, собранных выше города по течению, превышало концентрацию у растений на участке после принятия сточных вод города. Вероятно, что участок реки выше города по течению загрязняется поверхностным стоком с агроселитебных территорий. Это подходящие к урезу воды огороды дачных участков и деревень, таких как д. Кленки и д. Плесы, где ведется активное сельское хозяйство. В исследованиях [18–20] загрязнения наземных и водных экосистем показано, что удобрения содержат много соединений меди. Высокий обрывистый берег предполагает свободное поступление поверхностного стока в реку на данном участке [21], который несет с собой большое количество минеральных и органических удобрений, являющимися одним из источников поступления в почву и воду тяжелых металлов. Возможно, все вышеперечисленные факторы оказали влияние не только на загрязнение растений, но и на высокое содержание меди в мягких тканях живородки участка реки выше городской черты. Концентрация металла у особей, обитающих на участке до черты города, значительно выше, чем на городском участке реки и участке ниже черты города (рис. 2).

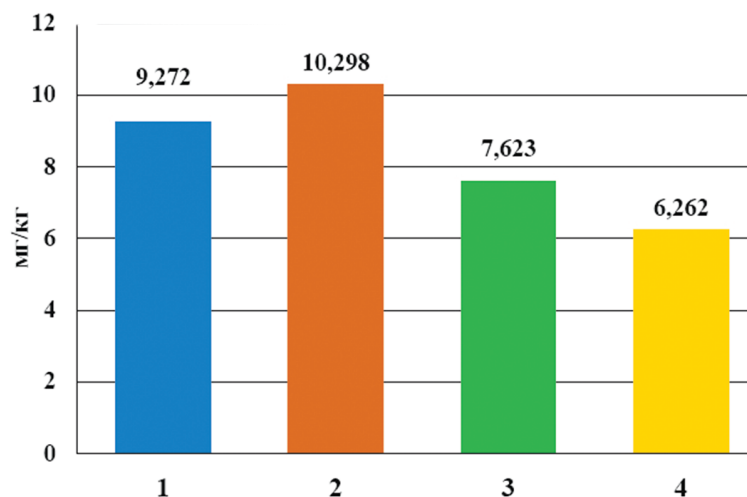


Рис. 2. Содержание меди в мягких тканях *V. viviparus* L. водной экосистемы р. Сож, г. Гомель (1 – р. Сож старичный комплекс, 2 – р. Сож выше черты города по течению, 3 – р. Сож в центре города, 4 – р. Сож ниже черты города по течению)

Fig. 2. The content of copper in the soft tissues of *V. viviparus* L. in the aquatic ecosystem of the r. Sozh, Gomel (1 – r. Sozh old complex, 2 – r. Sozh upstream of the city, 3 – r. Sozh in city center, 4 – r. Sozh below the city limits downstream)

Высокое содержание меди в старичном комплексе, не испытывающем видимую антропогенную нагрузку, можно объяснить влиянием речной воды р. Сож, с которой периодически контактирует старица, либо высокой доступностью форм металла в воде и донных отложениях водоема. Концентрация металла у *V. viviparus* L. из старицы превышает содержание меди у живородки на участке реки, принимающем поверхностный сток с территории г. Гомеля.

Различия в содержании меди у особей, собранных в старичном комплексе и на участке реки выше города по течению не имеют достоверных отличий ( $t_{4,31} = 2,73$ ;  $p \leq 0,05$ ). Также отсутствуют различия ( $t_{4,31} = 4,03$ ;  $p \leq 0,05$ ) в концентрации металла у моллюсков, обитающих выше черты города и на участке парковой зоны. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что загрязнение медью р. Сож на данных участках является следствием влияния агропромышленных комплексов, расположенных значительно выше города по течению.

Снижение содержания соединений меди у особей, обитающих на участке за чертой города, может быть следствием самоочищения р. Сож, когда металлы из водной толщи переходят в донные отложения в малодоступные для живых организмов формы. Проведенные исследования показывают отсутствие влияния поверхностного стока города на загрязнение речной системы соединениями меди.

Изменение концентрации кобальта (рис. 3) в мягких тканях моллюсков, отловленных на участке до черты города и в черте города, носит такой же характер, как и у соединений меди. Объяснить его высокое содержание на участке до принятия стоков города не представляется возможным без проведения дальнейших

исследований. У моллюсков участка реки, принимающей стоки города (район городского парка), отмечено низкое содержание металла, примерно на таком же уровне, как и в старичном комплексе р. Сож. В отличие от меди, содержание кобальта на участке за чертой города достоверно выше ( $t_{4,31} = 7,44 - 11,51$ ;  $p \leq 0,05$ ), чем в парковой зоне, в 1,3 раза. Низкая концентрация соединений кобальта на участке парковой зоны объясняется действием механизма блокировки, когда при высоком содержании металла в окружающей среде организм блокирует избыток его поступления в свои ткани. Данные о низком накоплении металлов в тканях моллюсков при высоком количестве загрязняющих веществ в окружающей среде получены учеными Вьетнама [22]. Незначительное, но достоверное ( $t_{4,31} = 6,11 - 7,15$ ;  $p \leq 0,05$ ) снижение содержания кобальта у особей за чертой города в сравнении с участком выше черты города может свидетельствовать о протекании процессов самоочищения водной системы от соединений данного металла. Повышение концентрации кобальта у особей на участке реки ниже черты города в сравнении с парковой зоной может быть как следствием поступления в реку за парковой зоной воды из оз. Шапор, принимающего поверхностный сток предприятий, так и увеличением доступности металла в донных отложениях. Изменения в содержании кобальта в мягких тканях *V. viviparus* L. на различных участках реки менее вариабельны чем для меди.

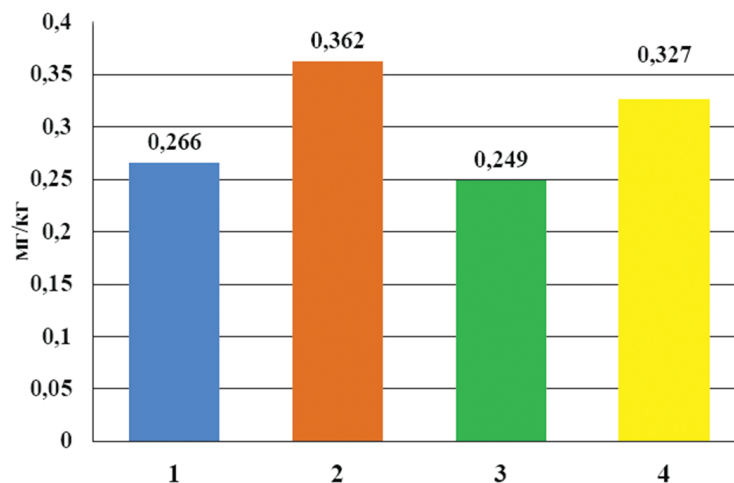


Рис. 3. Содержание кобальта в мягких тканях *V. viviparus* L. водной экосистемы р. Сож, г. Гомель (1 – р. Сож, старичный комплекс, 2 – р. Сож выше черты города по течению, 3 – р. Сож, центр города, 4 – р. Сож ниже черты города по течению)

Fig. 3. The content of cobalt in the soft tissues of *V. viviparus* L. in the aquatic ecosystem of the r. Sozh, Gomel (1 – r. Sozh old complex, 2 – r. Sozh upstream of the city, 3 – r. Sozh in city center, 4 – r. Sozh below the city limits downstream)

Сходная динамика в изменении концентрации в мягких тканях моллюсков наблюдается для свинца и хрома (рис. 4 и 5). Максимальное содержание металлов определено на участке реки в центре города, принимающего поверхностный сток города, и в старичном комплексе, что в 12,1 и 7,0 раза соответственно превышает содержание хрома и свинца в мягких тканях *V. viviparus* L., собранных на других участках реки. Концентрация свинца у данных особей, обитающих ниже черты города, превышает таковую величину для участка выше города в 4,1 раза. Это указывает на влияние городской агломерации Гомеля на накопление соединений свинца в тканях моллюсков р. Сож. Концентрация соединений хрома у особей на участке до принятия стоков города и ниже черты города не имеет достоверных различий ( $t_{4,31} = 1,12 - 3,16$ ;  $p \geq 0,05$ ), что так же может свидетельствовать о процессах самоочищения. Можно предположить, что хром и свинец имеют одинаковые пути поступления и аккумуляции в мягких тканях живородки. Объяснить высокое содержание хрома и свинца в районе парка можно влиянием поверхностного стока города, где соединения металлов находятся, скорее всего, в доступных для живородки формах. Но не стоит исключать факт срыва механизма блокировки и беспрепятственного поступления металлов. А вот высокую концентрацию хрома и свинца у моллюсков старичного комплекса, сравнимую с содержанием соединений металлов у живородки в парковой зоне, объяснить в настоящий момент сложно. Можно предположить, что в старичном комплексе соединения вышеперечисленных металлов в донных отложениях и воде находятся в доступной для моллюсков форме и бесконтрольно поступают в мягкие ткани, когда механизм блокировки поступления металлов нарушен. Как известно из литературы [17; 22], при нарушении данного механизма все доступные форма металла беспрепятственно накапливаются в тканях живых организмов. Низкое содержание хрома и свинца на участке ниже черты города в очередной раз показывает, что в реке достаточно ресурсов для разбавления поверхностных стоков, и река способна к самоочищению.

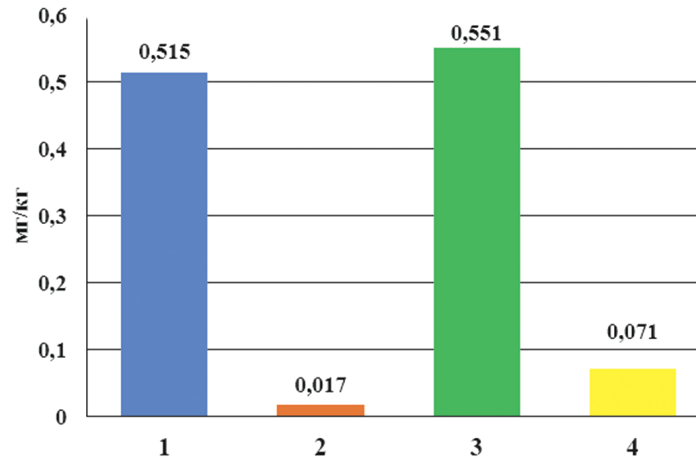


Рис. 4. Содержание свинца в мягких тканях *V. viviparus* L. водной экосистемы р. Сож, г. Гомель (1 – р. Сож, старичный комплекс, 2 – р. Сож выше черты города по течению, 3 – р. Сож, центр города, 4 – р. Сож ниже черты города по течению)

Fig. 4. The content of lead in the soft tissues of *V. viviparus* L. in the aquatic ecosystem of the r. Sozh, Gomel (1 – r. Sozh old complex, 2 – r. Sozh upstream of the city, 3 – r. Sozh in city center, 4 – r. Sozh below the city limits downstream)

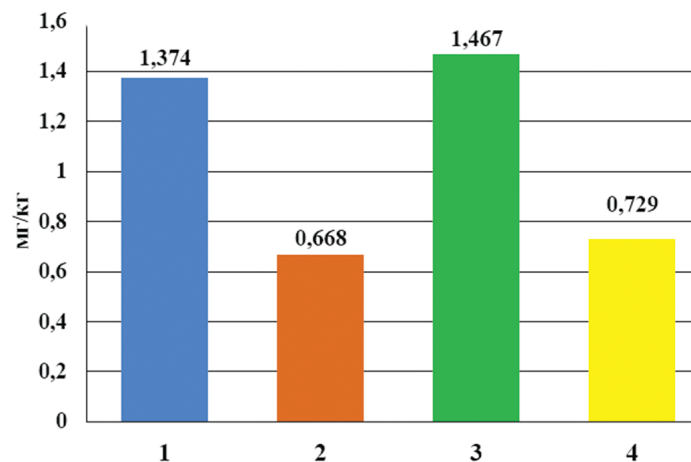


Рис. 5. Содержание хрома в мягких тканях *V. viviparus* L. водной экосистемы р. Сож, г. Гомель (1 – р. Сож старичный комплекс, 2 – р. Сож выше черты города по течению, 3 – р. Сож центр города, 4 – р. Сож ниже черты города по течению)

Fig. 5. The content of chromium in the soft tissues of *V. viviparus* L. in the aquatic ecosystem of the r. Sozh, Gomel (1 – r. Sozh old complex, 2 – r. Sozh upstream of the city, 3 – r. Sozh city center, 4 – r. Sozh below the city limits downstream)

Схожая с хромом и свинцом закономерность накопления, в тканях моллюсков на всех участках р. Сож, характерна и для кобальта, что может быть связано с одинаковым путем поступления этих металлов в организм гидробионтов. Максимальная концентрация наблюдается у особей ниже черты города, что указывает на влияние городского комплекса на состояние речной системы р. Сож. На участке реки, принимающем стоки города, содержание металла ниже, чем до принятия стоков города, что так же может быть связано с работой механизмов блокировки.

Из всех изучаемых металлов только концентрация никеля (рис. 6) у особей старичного комплекса была ниже, чем в иных точках сбора. Стоит отметить высокое содержание металла на участке ниже принятия стоков города, что не характерно для других элементов. Различия в концентрации соединений никеля *V. viviparus* L. на участках реки до черты города и в городской черте составляет примерно 1,3 раза, что не является достоверным ( $t_{4,31}=1,58-3,27$ ;  $p \geq 0,05$ ) и свидетельствует об отсутствии влияния поверхностных стоков города на загрязнение воды р. Сож соединениями металла.

Старичный комплекс р. Сож, расположенный выше города по течению, не имеет видимого антропогенного воздействия и может загрязняться воздушными массами города, которые распространяются на значительное расстояние от городских комплексов, а также весной в период разлива загрязнители могут поступать с водой р. Сож. По результатам работ [18; 23] аэротехногенное загрязнение территории города и прилегающих к городу территорий зависит не только от размещения источников выбросов, но и от географического расположения изучаемых территорий и движения загрязненных воздушных масс.

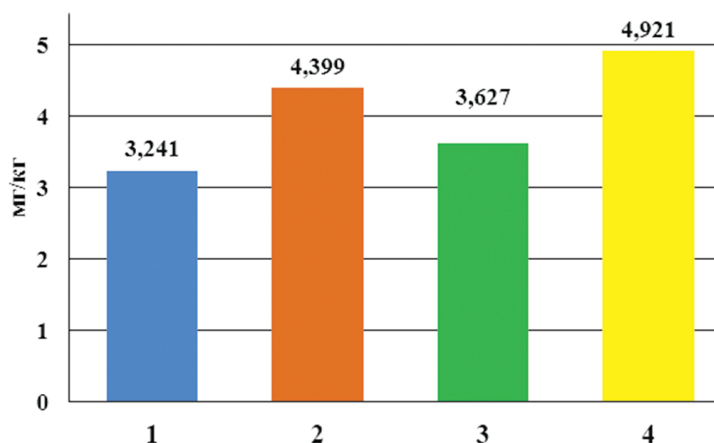


Рис. 6. Содержание никеля в мягких тканях *V. viviparus* L. водной экосистемы р. Сож, г. Гомель (1 – р. Сож старичный комплекс, 2 – р. Сож выше черты города по течению, 3 – р. Сож, центр города, 4 – р. Сож ниже черты города по течению)

Fig. 6. The content of nickel in the soft tissues of *V. viviparus* L. in the aquatic ecosystem of the r. Sozh, Gomel (1 – r. Sozh old complex, 2 – r. Sozh upstream of the city, 3 – r. Sozh in city center, 4 – r. Sozh below the city limits downstream)

В 2002 г. содержание металлов в мягких тканях *V. viviparus* L. старичного комплекса было значительно ниже в сравнении с концентрациями металлов, определенных для особей городских водоемов. Это позволило принять полученные данные по содержанию металлов как фоновые и использовать водоем как контрольный при проведении экологического мониторинга водоемов изучаемой территории.

Но к 2019 г. состояние старичного комплекса изменилось. По данным Белгидрометцентра г. Гомеля [24], уровень воды в р. Сож постоянно снижается и в настоящее время снизился более чем на метр, что разорвало связь старицы с рекой. В старице исчезло течение, стала бурно развиваться растительность, что привело к накоплению органического вещества в донных отложениях: Количество органического вещества составило 10 % от массы донных отложений, что в 3–4 раза выше, чем в исследованиях, проводимых ранее. Органические вещества могут переводить соединения металлов как в труднодоступные, так и в биологически доступные для живых организмов формы. Органоминеральные комплексы металлов активно поглощаются растениями, что способствует в дальнейшем передаче по цепям питания загрязнителей в ткани брюхоногих моллюсков, использующих растения как объект питания. Все вышеперечисленные факторы могут оказывать влияние на накопление металлов до высоких уровней в тканях моллюсков. Но стоит учитывать и тот факт, что в относительно чистых водных экосистемах живые организмы могут накапливать все доступные формы металла, тогда как в загрязненных водоемах у живых организмов включается в работу механизм блокировки, контролирующей поступление токсикантов в ткани [25]. Данные предположения подтверждаются высоким уровнем содержания металлов в тканях моллюсков старичного комплекса в сравнении с концентрацией металлов на изучаемых участках в р. Сож. Так, концентрация меди в моллюсках старичного комплекса была выше, чем у живородок р. Сож, отловленных ниже черты города, в 1,7 раза. Содержание остальных изучаемых металлов у моллюсков старичного комплекса было на таком же уровне, либо незначительно ниже, что и у особей на различных участках р. Сож. Учитывая вышесказанное, старичный комплекс не может быть использован как водоем сравнения при проведении экологических исследований.

В сложившихся условиях выделить фоновый водоем сложно и для оценки экологического состояния р. Сож исследователи предлагают использовать следующие величины: Pb – 0,017, Co – 0,249, Ni – 3,241, Cu – 6,257 и Cr – 0,668 мг/кг.

При изучении корреляционных связей между содержанием металлов в мягких тканях *V. viviparus* L. была установлена высокая степень связи между накоплением хрома и свинца (табл. 2). Полученные данные могут объяснить одинаковую динамику содержания металлов в тканях моллюсков на различных участках реки. Средняя степень связи характерна для никеля и кобальта, что так же может объяснить схожесть в динамике накопления этих металлов. Проведенные расчеты показывают наличие антагонистических отношений у никеля с такими металлами как хром и свинец ( $r = -0,82$ ). Поступление свинца в ткани моллюсков будет блокироваться накоплением в организме соединений кобальта. Антогонизм меди и никеля, описанный в работе [11] проявляется у моллюсков водоемов в слабой степени ( $r = -0,39$ ).



Коэффициент корреляции между содержанием металлов в мягких тканях *V. viviparus* L. в р. Сож (г. Гомель)

Table 3

Correlation coefficient between content metals in soft tissues of *V. viviparus* L. in Sozh (Gomel)

Металл	Pb	Ni	Co	Cu
Cr	0,76	-0,82	-0,68	0,26
Pb	–	-0,82	-0,84	0,08
Ni	–	–	0,56	-0,39
Co	–	–	–	0,27

### Заключение

Содержание изучаемых тяжелых металлов (за исключением никеля) в мягких тканях *V. viviparus* L. р. Сож уменьшилось в 2,2–6,2 раза в сравнении с данными, полученными в 2002 г., что свидетельствует о снижении антропогенной нагрузки на водные экосистемы р. Сож.

Высокое содержание меди, кобальта и никеля в мягких тканях *V. viviparus* L., обитающей на участке до принятия стоков города, говорит о поступлении загрязнителей в р. Сож с поверхностным стоком агро-селитебных территорий, поселков и деревень, расположенных выше города по течению реки.

Однонаправленное снижение концентрации меди в мягких тканях *V. viviparus* L. при движении вниз по течению реки указывает на протекание процессов самоочищения экосистемы р. Сож. Подтверждением процессов самоочищения водной экосистемы данной реки является значительное снижение содержания свинца и хрома, на участке за чертой города, в сравнении с участком реки в городской черте.

Аномально высокая концентрация свинца и хрома в мягких тканях *V. viviparus* L. на участке реки в пределах черты города, а никеля и кобальта – ниже черты города, свидетельствует о поступлении металлов в реку с поверхностным стоком города.

Вследствие снижения антропогенного влияния на водные экосистемы изучаемой территории, возникла необходимость в определении новых фоновых концентраций для проведения экологических исследований в водоемах изучаемой территории, а именно р. Сож, что было выполнено в данной работе.

Загрязнение моллюсков старичного комплекса, не испытывающего видимой антропогенной нагрузки, может быть следствием доступности металлов в компонентах водной экосистемы. Нельзя исключать влияние загрязненных воздушных масс города, распространяющихся на значительные расстояния от городского комплекса, на изучаемую экосистему. Высокий уровень содержания металлов в старичном комплексе указывает на необходимость проведения исследования по содержанию поллютантов в водных экосистемах, не испытывающих видимой антропогенной нагрузки, но используемых населением в рекреационных целях.

### Библиографические ссылки

1. Романкевич ЮА. Комплексная эколого-геохимическая оценка состояния водных объектов малого города Беларуси (на примере г. Несвижа). *Природопользование*. Минск: СтройМедиаПроект; 2015. с. 85–94.
2. Мисейко ГН. *Биологический анализ качества пресных вод*. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2001. 201 с.
3. Бзматерных ДМ. Моллюски прудовик обыкновенный и прудовик яйцевидный как аккумулятивные индикаторы загрязнения пресных вод тяжелыми металлами (на примере р. Барнаулки). *Проблемы биогеохимии и геохимической экологии*. 2008;1(5):112–117.
4. Никаноров ВМ. *Глобальная экология*. Москва: Дрофа; 2000. 285 с.
5. Чекренев СА, Панова НЕ. Анализ компонентного состава донных отложений. *Международная научная конференция «Современные тенденции развития химии и технологии полимерных материалов»*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2008. с. 60.
6. Bille L, et al. Lead, mercury and cadmium levels in edible marine molluscs and echinoderms from the Veneto region (north-western Adriatic Sea – Italy). *Food Control*. 2015;50(3):62–70.
7. Дерягин ВВ, Назаренко НН, Девятова ЕВ. Аккумуляция тяжёлых металлов представителями семейства Lymnaeidae как отклик на критические уровни техногенного загрязнения водоемов южного Урала. *Самарский научный вестник*. 2019;8:3:31–38.
8. Кожахметова АН, Бигалиев АБ, Шаметов АК. Биондикационное исследование аккумуляции нефтепроизводных тяжелых металлов в организме гидробионтов казахстанской зоны Каспия. *Фундаментальные исследования*. 2015;2(1):58–62.
9. Будников ГК. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем. *Соросовский образовательный журнал*. 2016;5:23–29.
10. Абакумов ВА. *Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.

11. Мур ДжВ, Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния. Москва: Мир, 1987. 287 с.
12. Шилова НА. Влияние тяжелых металлов на представителей пресноводного фито- и зоопланктона в условиях засоления: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Саратов; 2014. 133 с.
13. Макаренко ТВ, Штанько АИ, Иванов АО. Изучение содержания тяжелых металлов в мягких тканях моллюсков и водоёмах г. Гомеля. *Переяслав-Хмельницкий*. 2018;11(43):6:79–85.
14. Макаренко ТВ. Изучение содержания тяжелых металлов в водных экосистемах г. Гомеля и его окрестностей. *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины*. 2002;4(13):26–35.
15. Савченко ВВ. Микроэлементы в илах водохранилищ р. Свислочи. *Водные ресурсы*. 1996;23(4):444–447.
16. Чемагин АА. Биотическая аккумуляция тяжелых металлов макрозообентосом нижнего Иртыша. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;5:616
17. Макаренко ТВ, Косматков АС. Динамика содержания тяжелых металлов в донных отложениях и водных растениях р. Сож в районе Гомеля. *Журнал Белорусского Государственного Университета. Экология*. Минск, 2018;1:48–60 с.
18. Хомич ВС. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск: РУП «Минсктиппроект»; 2004. 260 с.
19. Карпухин АИ, Бушуев НН. Влияние применения удобрений на содержание тяжелых металлов в почва длительных полевых опытов. *Агрохимия*. 2007;5:76–78.
20. Горунова НС, Стулин АФ. Содержание тяжелых металлов при длительном применении удобрений в агроценозах кукурузы на черноземах выщелоченных. *Вестник ВГУ. Серия Химия. Биология. Фармация*. 2016;4:49–54.
21. Бреховских ВФ, Кочарян АГ, Сафронова КИ. Влияние изменения антропогенной нагрузки на гидрохимический и гидробиологический режимы Иваньковского водохранилища. *Водные ресурсы*. 2002;29(1):85–91.
22. Чыонг ВТ. Детоксикация свинца моллюском *Meretrix lyrata* при искусственном разведении в условиях Вьетнама. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2019;1:122–128.
23. Куимова НГ, Сергеева АГ, Шумилова ЛП и др. Эколого-геохимическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированной территории по состоянию снежного покрова. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2012;5:422–435.
24. Интернет-портал Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Интернет; процитировано 19 января 2021 г]. Доступно по: <http://www.pogoda.by/gidroarchive>.
25. Головатый СЕ. Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2002. 239 с.

## References

1. Romankevich UA. Comprehensive ecological and geochemical assessment of the state of water bodies of a small town in Belarus (on the example of Nesvizh). *Prirodopol'zovanie* [Nature management]. Minsk: StroyMediaProekt; 2015; c. 85–94. Russian.
2. Misesjko GN. *Biologicheskij analiz kachestva presnyh vod* [Biological analysis of fresh water quality]. Barnaul, Altai State University, 2001. 201 p. Russian.
3. Bezmaternyh DM. Mollusks common pond snail and ovoid pond snail as accumulative indicators of fresh water pollution by heavy metals (by the example of the Barnaulka river). *Problemy biogeohimii i geohimicheskoy ekologii* [Problems of biogeochemistry and geochemical ecology]. 2008;5:112–117. Russian.
4. Nikanorov VM, Horuzhaya TA. *Global'naya ekologiya* [Global ecology]. Moscow: Drofa, 2000. 285 p. Russian.
5. Chekrenev SA, Panova NE. Analysis of the component composition of bottom sediments. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Sovremennye tendencii razvitiya himii i tekhnologii polimernyh materialov»* [International Scientific Conference «Modern Trends in the Development of Chemistry and Technology of Polymeric Materials»]. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2008. p. 60. Russian.
6. Bille L, et al. Lead, mercury and cadmium levels in edible marine molluscs and echinoderms from the Veneto region (north-western Adriatic Sea – Italy). *Food Control*. 2015;50(3):62–70.
7. Deryagin VV, Nazarenko NN, Devyatova EV. Accumulation of heavy metals by members of the Lymnaeidae family as a response to critical levels of technogenic pollution of water bodies in the southern Urals. *Samarskij nauchnyj vestnik* [Samara Scientific Bulletin]. 2019;8:3:31–38. Russian.
8. Kozhahmetova AN, Bigaliev AB, SHametov AK. Biological study of the accumulation of oil-derived heavy metals in the body of aquatic organisms in the Kazakhstan zone of the Caspian Sea. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research]. 2015;2(1):58–62. Russian.
9. Budnikov GK. Heavy metals in environmental monitoring of water systems. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal* [Soros Educational Journal]. 2016;6:23–29. Russian.
10. Abakumov VA. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnyh vod i donnyh otlozhenij* [Guide to Methods for Hydrobiological Analysis of Surface Water and Bottom Sediments]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983. 240 p. Russian.
11. Mur JV, Ramamurti S. *Tyazhelye metally v prirodnyh vodah: kontrol' i ocenka vliyaniya* [Heavy metals in natural waters: control and impact assessment]. Moscow: Mir, 1987. 287 p. Russian.
12. Shilova NA. *Vliyaniye tyazhelyh metallov na predstavitelej presnovodnogo fito- i zooplanktona v usloviyah zasoleniya: dissertatsiya na soiskaniye uchenoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk*. [The influence of heavy metals on representatives of freshwater phyto- and zooplankton under salinization: dissertation for the degree of candidate of biological sciences]. Saratov, 2014. 133 p. Russian.
13. Makarenko TV, Shtan'ko AI, Ivanov AO. Study of the content of heavy metals in soft tissues of mollusks and water bodies of the city of Gomel. *Переяслав-Хмель'nickij* [Переяслав-Khmelnitsky]. 2018;43:11:79–85. Russian.
14. Makarenko TV. Study of the content of heavy metals in aquatic ecosystems of Gomel and its environs. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny* [Bulletin of Gomel State University after name F. Skorina]. 2002;13:4:26–35. Russian.
15. Savchenko VV. Trace elements in silts of reservoirs of the river Svisloch. *Vodnye resursy* [Water resources]. 1996;23(4):444–447. Russian.
16. Chemagin AA. Biotic accumulation heavy metals by macrozoobenthos of the lower Irtysh. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2015;5:616. Russian.

17. Makarenko TV, Kosmat'kov AS. Dynamics of the content of heavy metals in bottom sediments and aquatic plants of the river. Sozh near Gomel. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* [Journal of the Belarusian State University. Ecology]. 2018;1:48–60. Russian.
18. Khomich VS, Kakareka SV, Kukharchik TI. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus]. Minsk: RUE «Minskipproekt»; 2004. 260 p. Russian.
19. Karpuhin AI, Bushuev NN. Influence of the application of fertilizers on the content of heavy metals in the soil of long-term field experiments. *Agrohimiya* [Agrochemistry]. 2007;5:76–78. Russian.
20. Gorunova NS, Stulin AF. The content of heavy metals during long-term use of fertilizers in agrocenoses of corn on black soil leached. *Vestnik VGU, Seriya Himiya. Biologiya. Farmaciya* [VSU Bulletin, Chemistry Series. Biology. Pharmacy]. 2016;4:49–54. Russian.
21. Brehovskih VF, Kocharjan AG, Safronova KI. Influence of the change in the anthropogenic load on the hydrochemical and hydrobiological regimes of the Ivankovo Reservoir. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2002;29:1:85–91. Russian.
22. Chyong VT. Lead detoxification with *Meretrix lyrata* under artificial breeding in Vietnam. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries.]. 2019;1:122–128. Russian.
23. Kuimova NG, Sergeeva AG, Shumilova LP, et al. Ecological and geochemical assessment of aerotechnogenic pollution of the urbanized territory according to the state of the snow cover. *Geojekologija. Inzhenernaja geologija. Gidrogeologija. Geokriologija* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology.]. 2012;5:422–435. Russian.
24. Site of the Republican Center for Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control and Environmental Monitoring / Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus. [Internet; cited 2021 January 19]. Available from: <http://www.pogoda.by/gidroarchive>.
25. Golovatj SE. *Tyazhelye metally v agroekosistemah* [Heavy metals in agroecosystems]. Minsk: RUE «Institute of Soil Science and Agrochemistry»; 2002. 239 p. Russian.

*Статья поступила в редколлегию 10.02.2021.*  
*Received by editorial board 10.02.2021.*