
ВЛИЯНИЕ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКОСИСТЕМЫ

УДК 546.81:546.83+546.56+546.47+546.76+546.711:594(476.2-2Гом:28)

Т. В. Макаренко

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ТКАНЯХ МОЛЛЮСКОВ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ ГОМЕЛЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Самые высокие коэффициенты накопления металлов из донных отложений также, как и их абсолютные величины содержания в тканях, наблюдаются у моллюсков для элементов с ярко выраженной метаболической активностью (марганец, медь и цинк). Коэффициенты накопления металлов из донных отложений выше у брюхоногих моллюсков, за исключением цинка и марганца. Видовые особенности моллюсков по характеру аккумуляции элементов проявляются, в основном, в отношении никеля и свинца.

По величине K_n по донным отложениям для определения степени загрязнения абиотических компонентов водоемов медью и цинком можно рекомендовать живородку, свинцом – катушку, для определения загрязнения кобальтом, хромом и никелем – прудовика, для загрязнения марганцем – двустворчатых моллюсков.

- **Ключевые слова:** *тяжелые металлы, брюхоногие и двустворчатые моллюски, донные отложения, коэффициент накопления.*

Введение

Моллюски давно привлекают внимание специалистов по биомониторингу доступностью для сбора, удобством препарирования и хранения, высокими коэффициентами накопления загрязняющих агентов, в частности тяжелых металлов и радионуклидов. Моллюскам принадлежит наиболее существенная роль среди других беспозвоночных в аккумуляции тяжелых металлов как из корма, так и из водной среды или донных грунтов [1, 2].

Наряду с анализом абсолютных значений содержания различных элементов в водных организмах, существенное значение имеет исследование относительных показателей их аккумуляции как из воды, так и из донных отложений. Показатели миграции и аккумуляции элементов в трофических звеньях чаще всего выражаются в коэффициентах накопления (коэффициенты концентрации или биологического поглощения) и дают количественное представление о способности организмов к аккумуляции, т. к. связывают концентрацию минеральных элементов в тканях, рассчитанную на основе сырой или сухой массы, с их концентрацией в воде или донных отложе-

ниях [3]. Коэффициент накопления свидетельствует о наличии факта «контроля» со стороны организма за поступлением загрязнителей в метаболически важные центры и позволяет косвенно судить о степени доступности элемента в среде обитания для живых организмов и о поведении поллютантов в системе «среда обитания – организм» [4].

На почвенных животных показано, что концентрация элементов в организме мало коррелирует с их концентрацией в почве, но хорошо – с концентрацией в пище [5]. Было бы более показательно использовать индекс накопления по пище. Однако для водных беспозвоночных это невозможно не только практически, но и из-за отсутствия в большинстве случаев четких различий в спектрах питания животных. Поэтому были использованы индексы накопления по отношению к донным отложениям. Коэффициент накопления K_H рассчитывался по следующей формуле:

$$K_H = \frac{C_{org}}{C_c},$$

где K_H – коэффициент накопления; C_{org} – концентрация элемента в организме, мг/кг сухого вещества; C_c – концентрация элемента в субстрате, мг/кг сухого вещества для донных отложений [3].

В наших исследованиях в качестве исходного потенциального поставщика тяжелых металлов в организм моллюсков рассматривались донные отложения.

Как известно, способность гидробионтов в различной степени накапливать тяжелые металлы может быть отражена с помощью условного подразделения их на группы: макро-, микро- и деконцентраторы [3]. В качестве критерия для такого разделения можно использовать K_H . К макроконцентраторам условно отнесены живые организмы с $K_H > 2$, к микроконцентраторам – организмы с $K_H = 1-2$ и к деконцентраторам – с $K_H < 1$. Один и тот же вид при разных уровнях содержания металлов в среде обитания может одновременно относиться к разным классификационным группам [6]. Важно отметить, что выделяемые по данной классификации группы в значительной мере условны и предлагаются исключительно для удобства рассмотрения изучаемых организмов по содержанию в них металлов.

Цель работы – изучить особенности накопления тяжелых металлов в мягких тканях пресноводных моллюсков водоемов Гомеля и прилегающих территорий.

Материалы и методы

Исследования проводились в течение 2000–2003 гг. Для отлова моллюсков использовали дночерпатель и применяли ручной сбор. Мягкие ткани отделяли от раковин и далее анализировали отдельно. Мягкие ткани моллюсков сушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы, затем подвергали сухому озолению в муфельной печи [5]. Содержание тяжелых металлов в животных образцах определялось атомно-эмиссионным спектральным методом [7, 8] на спектрофотометре PGS-2 в лаборатории физико-химического анализа Института геохимии и геофизики НАН Беларуси. Для исследования выбраны следующие виды моллюсков из класса брюхоногих (Gastropoda) – прудовик обыкновенный (*Limnaea stagnalis* L.), живородка речная (*Viviparus viviparus* L.), катушка окаймленная (*Planorbis planorbis* L.); из класса двустворчатых (Bivalvia) – беззубка обыкновенная (*Anodonta cygnea* L.), перловица обыкновенная (*Unio pictorum* L.).

Донные отложения отбирались в летнюю межень (июль–август) с использованием дночерпателя Борущкого и Петерсена [7, 8]. Каждый образец составлялся 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 озолались при 450 °С [7, 8].

Обследовано 11 водоемов, проанализировано 218 проб донных отложений, 285 проб мягких тканей моллюсков.

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты показывают (рис. 1), что для донных отложений изучаемые виды моллюсков являются деконцентраторами свинца и никеля, а также микроконцентраторами меди, что было установлено и в более ранних исследованиях [9]. Для меди живородка относится

к группе макроконцентраторов. Двустворчатые моллюски выделяются высокой поглотительной способностью по отношению к марганцу и относятся к группе макроконцентраторов, что отмечается и другими исследователями [10, 11]. Микроконцентраторами цинка выступают двустворчатые моллюски и живородка. У прудовика и катушки максимальная величина K_n рассчитана так же, как и у двустворчатых моллюсков для марганца, что не характерно для живородки. По отношению к вышеназванному элементу прудовик и живородка являются микроконцентраторами. Катушка в равной степени извлекает из донных отложений марганец и медь. Коэффициенты накопления металлов из донных отложений, за исключением цинка и марганца, выше у брюхоногих моллюсков.

Из представленной информации видно, что степень перехода тяжелых металлов из загрязненной среды в организм моллюсков неодинакова для разных элементов и зависит от вида моллюска. В среднем, значения коэффициентов накопления для анализируемых металлов возрастают в ряду $Pb < Ni < Zn < Cu < Mn$. Наиболее высокие коэффициенты накопления наблюдаются для биофильных элементов.

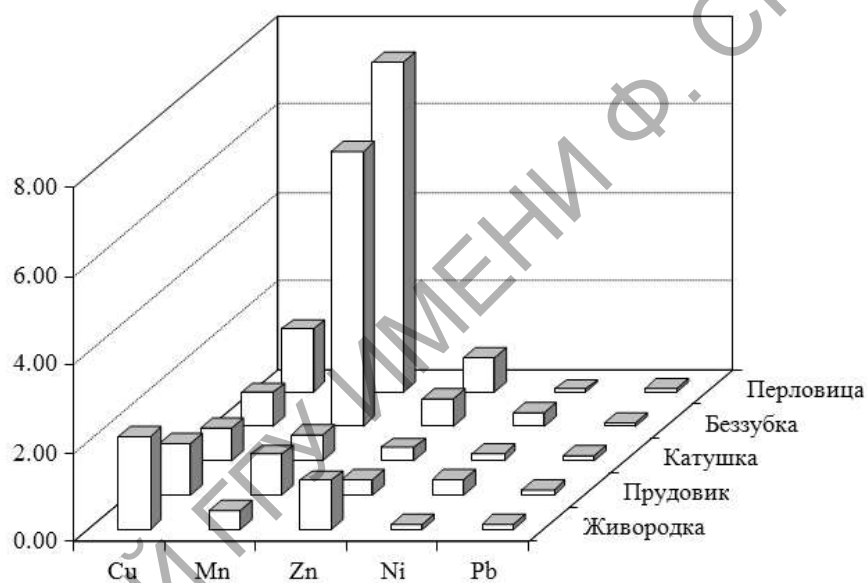


Рис. 1. Средние значения коэффициентов накопления тяжелых металлов в тканях пресноводных моллюсков

В табл. 1 представлены видовые особенности моллюсков в процессе аккумуляции элементов.

Таблица 1
Видовые особенности накопления тяжелых металлов в тканях двустворчатых и брюхоногих моллюсков

Металл	Величина коэффициента накопления
Свинец	Катушка > Живородка > Прудовик > Беззубка > Перловица
Медь	Живородка > Перловица > Прудовик > Беззубка > Катушка
Цинк	Живородка > Перловица > Беззубка > Прудовик > Катушка
Марганец	Перловица > Беззубка > Прудовик > Катушка > Живородка
Никель	Прудовик > Беззубка > Катушка > Живородка > Перловица

Корреляционный анализ рядов значений K_n металлов для каждого вида моллюска показал, что существуют определенные различия на таксономическом уровне. На рисунке 2 наглядно

представлена степень сходства величин коэффициентов накопления элементов у исследованных видов брюхоногих и отдельно у двустворчатых моллюсков. В качестве меры дистанции между видами применялся модифицированный коэффициент корреляции $1-r$, и значения по шкале, близкие к нулю, указывают на максимальную степень сходства.

Интересно отметить, что наиболее близкими соседями в группе брюхоногих оказываются легочные моллюски прудовик и катушка, жаберный моллюск живородка является более отдаленным от них в плане накопительной способности в отношении тяжелых металлов.

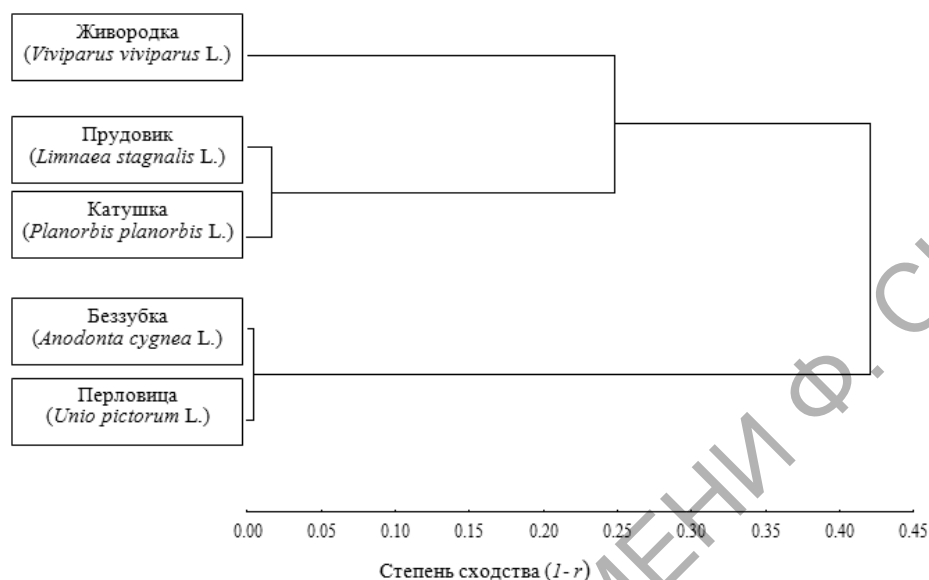


Рис. 2. Распределение видов моллюсков по степени сходства величин коэффициентов накопления

При сопоставлении сопряженных данных по концентрации металлов в тканях моллюсков и донных отложениях, полученных на обследованных водоемах, более четкая корреляция получена только для одного вида моллюска – живородки (для свинца и меди). Отсутствию связей для других исследованных видов могут служить следующие объяснения:

- 1) высокая индивидуальная изменчивость в содержании анализируемых элементов;
- 2) нахождение элементов в воде и донных отложениях в недоступных для живых организмов формах;
- 3) сложный характер трофических взаимоотношений в системе «среда–организм»;
- 4) неустановленные дополнительные источники поступления в организм тяжелых металлов.

С этих позиций, для выявления эффективных видов-индикаторов среди зообентоса пресноводных водоемов для оценки их экологического состояния требуются дальнейшие исследования. Графические и математические выражения зависимости накопления тяжелых металлов тканями моллюсков от их содержания в донных отложениях и воде показаны на рис. 3–5 (каждая точка на графике представляет среднее значение для водоема). Снижение величины коэффициента накопления металлов в тканях при увеличении содержания элементов в абиотических компонентах водных экосистем подтверждает наличие блокировочного механизма у зоогидробионтов. Для растений пороговую концентрацию, превышение которой влечет за собой практически полное прекращение поступления токсиканта в ткани и органы при дальнейшем увеличении его в окружающей среде, определяют по графику, где отмечают точку, после которой идет плавное снижение значения K_n металла при значительном увеличении токсиканта в окружающей среде [12]. По такой же схеме ведется определение пороговой концентрации в исследованиях с дальневосточными мидиями [13]. Однако полученные данные являются довольно приблизительными, т. к. зависят от субъективного мнения исследователя. Например, определение пороговой концентрации для меди с использованием графика (рис. 3) представляется сложным из-за отсутствия четко выраженного перегиба на графике. Для марганца (рис. 4) концентрация, равная приблизи-

тельно 400 мг/кг сухой массы в донных отложениях, является для живородки пороговой. Для никеля (рис. 5) пороговая концентрация элемента находится в диапазоне 15–20 мг/кг.

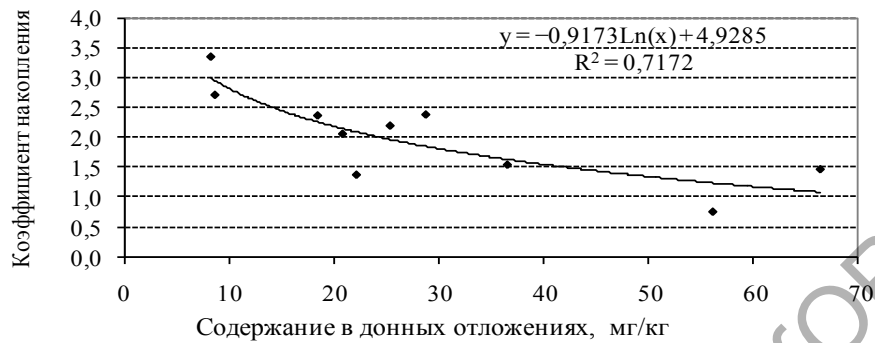


Рис. 3. Зависимость величины коэффициента накопления меди мягкими тканями живородки от содержания металла в донных отложениях

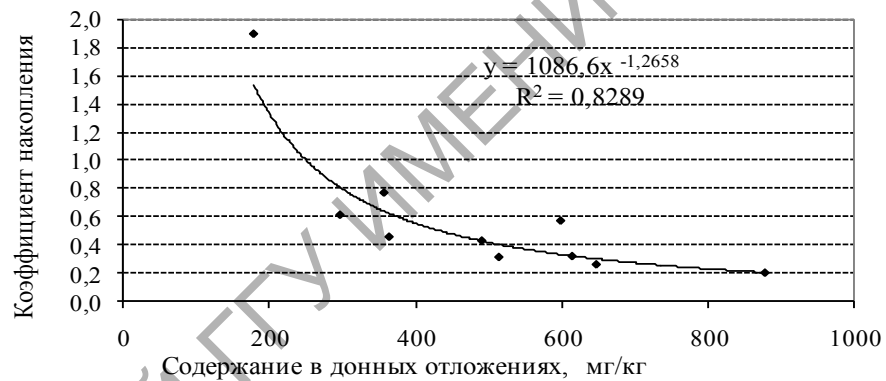


Рис. 4. Зависимость величины коэффициента накопления марганца мягкими тканями живородки от содержания металла в донных отложениях

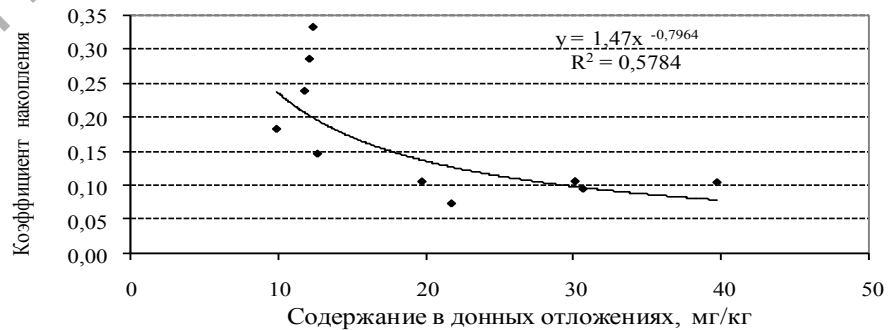


Рис. 5. Зависимость величины коэффициента накопления никеля мягкими тканями живородки от содержания металла в донных отложениях

Заключение

Самые высокие коэффициенты накопления металлов из донных отложений так же, как и их абсолютные величины содержания в тканях, наблюдаются у моллюсков для элементов с ярко выраженной метаболической активностью (марганец, медь и цинк). Коэффициенты накопления металлов из донных отложений выше у брюхоногих моллюсков, за исключением цинка и марганца. Видовые особенности моллюсков по характеру аккумуляции элементов проявляются, в основном, в отношении никеля и свинца.

Для большинства моллюсков в обследуемых водоемах не установлены ярко выраженные зависимости накопления металлов в тканях от содержания их в донных отложениях. Однако проведенные исследования показывают, что состав донных отложений в большей степени влияет на содержание и накопление тяжелых металлов в тканях моллюсков, чем водные массы. Это подтверждается и литературными данными: изучение динамики поглощения металлов мидиями показало, что продолжительность отклика у моллюсков на изменение элементного состава среды составляет месяцы и годы, что ближе ко времени, необходимому для изменения химического состава осадков, а не воды [14, 15].

Для повышения результативности биогеохимической индикации слабозагрязненных водных экосистем необходимо использовать комплексный подход, включающий сопряженное изучение содержания тяжелых металлов в различных компонентах водоемов.

По величине K_H по донным отложениям для определения степени загрязнения абиотических компонентов водоемов медью и цинком можно рекомендовать живородку, свинцом – катушку, для определения загрязнения никелем – прудовика, для загрязнения марганцем – двустворчатых моллюсков.

Список литературы

1. Cantillo, A. Y. Comparison of results of Mussel Watch programs of the United States and France with Worldwide Mussel Watch studies / A. Y. Cantillo // Mar. Pollut. Bull. – 1998. – Vol. 36, № 9. – P. 712–717.
2. Ismail, A. P. Green-lipped mussel *Perna viridis* (L.) as a biomonitoring agent for heavy metals in the west coast of Peninsular Malaysia / A. P. Ismail, C. K. Yap, M. Zakaria // Towards sustainable management of the straits of Malacca. Technical and financial options: 1-th Symp., 4–8 oct. 2000 / Univ. Putra Malaysia. – Serdang, 2000. – P. 553–559.
3. Никаноров, А. М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 311 с.
4. Кашин, В. К. Особенности накопления свинца в растениях бассейна озера Байкал / В. К. Кашин, Г. М. Иванов // Экология. – 1998. – № 4. – С. 316–318.
5. Соболев, Н. А. Факторы накопления свинца и цинка дождевыми червями оз. Балатон и его водосбора / Н. А. Соболев // Биоиндикация и мониторинг. – М., 1991. – С. 244–247.
6. Бурдин, К. С. Основы биологического мониторинга / К. С. Бурдин. – М.: Москов. ун-т, 1985. – 158 с.
7. Ветров, В. А. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал / В. А. Ветров, А. И. Кузнецова. – Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 234 с.
8. Никаноров, А. М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов, А. Д. Покаржевский. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 143 с.
9. Макаренко, Т. В. Особенности накопления тяжелых металлов моллюсками водоемов и водотоков г. Гомеля и прилегающих территорий / Т. В. Макаренко // Известия Гом. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2007. – № 1 (40). – С. 120–126.
10. Макаренко, Т. В. Содержание тяжелых металлов в мягких тканях моллюсков водоемов бассейна реки Сож / Т. В. Макаренко // Сахаровские чтения 2005 года: экологические проблемы XXI века: материалы 5-й Междунар. конф., Минск, 20–21 мая 2005 г.: в 2 ч. / РНИУП, Институт радиологии; редкол.: С. П. Кундас [и др.]. – Гомель, 2005. – Ч. 2. – С. 92–93.
11. Фальфушинская, Г. И. Аккумуляция тяжелых металлов в тканях двустворчатого моллюска *Anodonta cygnea* в водоемах аграрной и урбанизированной территорий / Г. И. Фальфушинская // Экологическая химия. – 2008. – № 17(4). – С. 218–227.

12. Ильин, В. Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Cu, B, Mo) в Южной части Западной Сибири / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1973. – 389 с.

13. Влияние концентрации металлов в донных отложениях на их накопление митилидами *Crenomytilus grayanus* и *Modiolus kurilensis* / В. М. Шулькин [и др.] // Биол. моря. – 2002. – Т. 28, № 1. – С. 53–60.

14. Bargagli, R. Trace metal assessment in sediment, mollusks and reed leaves in the Bay of Follonica (Italy) / R. Bargagli, R. Baldi, C. Leonzio // Mar. Environ. Res. – 1985. – Vol. 16, № 4. – P. 281–300.

15. Riget, F. Uptake and release of lead and zinc by blue mussels. Experience from transplantation experiments in Greenland / F. Riget, P. Jouhansen, G. Asmund // Mar. Pollut. Bull. – 1997. – Vol. 34, № 10. – P. 805–815.

T. V. Makarenko

HEAVY METALS ACCUMULATION IN MOLLUSKS' TISSUES OF GOMEL RESERVOIRS, CHANNELS AND ITS ADJACENT TERRITORIES

Snails have the highest metal accumulation coefficients from bottom sediments except zinc and manganese. While speaking of metal accumulation type mollusks' species peculiarities become generally apparent in relation to nickel and lead.

To identify abiotic components fouling factors of reservoirs by copper and zinc, dwarf perch is advisable as well as Planorbis is advisable for lead pollution identifying and Lymnaeidae – for cobalt, chromium and nickel pollution identifying. Speaking about manganese pollution Bivalvia are strongly advisable.