

УДК 574.2 (476.2-2 Гом)

Е.Г. ТЮЛЬКОВА

ПРОБЛЕМЫ БИОМОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ г. ГОМЕЛЯ

This article presents the information on heavy metal maintenance in mollusks tissues, bottom deposits and water tests from the reservoirs of western, southern and northern industrial zones in Gomel city. It was defined the advantage of bottom deposits before mollusks tissues of the reservoirs from the industrial zones with different anthropogenous loads. In most cases it was revealed moderate straight correlation between the maintenance of heavy metals in water and bottom deposits of reservoirs in Gomel.

Известно, что антропогенная нагрузка оказывает существенное воздействие на процесс функционирования водных экосистем. Высокий уровень загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами может превысить адаптационные возможности живых организмов и способен повлечь за собой

метаболический регресс [1, 2]. В этой связи актуальна проблема изучения распространения и особенностей накопления тяжелых металлов водными организмами.

Среди водных беспозвоночных моллюски характеризуются наибольшей способностью к накоплению тяжелых металлов, легкостью определения до вида, широким распространением и простотой препарирования, а следовательно, достаточными преимуществами использования в качестве биоиндикаторов [3]. Широкое распространение и доминирование, удобство отбора и анализа проб, способность к накоплению тяжелых металлов и устойчивость к загрязнению относятся также к донным отложениям [2, 4]. Поэтому интерес представляет сравнение индикационных возможностей указанных объектов и выбор оптимального биоиндикатора в условиях загрязнения водной среды тяжелыми металлами.

Материал и методика

Определение содержания тяжелых металлов в телах двухстворчатых (перловицы, беззубки, шаровки) и брюхоногих (прудовики) моллюсков, пробах донных отложений и воды водоемов г. Гомеля и его окрестностей проводилось в 2004–2007 гг. методом атомной абсорбции в рамках бюджетной тематики «Оценка экотоксикологического состояния природных сред в пойме реки Сож и разработка схемы, направленной на повышение биоразнообразия как гаранта стабильности и продуктивности биоценозов» (№ ГР 2002934). Использованные методики позволили подготовить пробы к определению в них тяжелых металлов и достаточно эффективно провести исследования [5, 6].

В телах моллюсков количественно оценивали содержание следующих металлов: свинца, бора, никеля, хрома, марганца, титана, циркония, меди, стронция, бария, цинка; в пробах донных отложений дополнительно к указанным элементам определяли содержание ванадия, бериллия и кобальта, в воде водоемов – содержание свинца, марганца, цинка, меди, железа, кобальта, кадмия, хрома, никеля. Такой выбор обусловлен тем, что эти элементы, с одной стороны, играют важную роль в процессах жизнедеятельности человека и животных, а с другой – относятся к основным компонентам загрязнения окружающей среды.

Исследуемые озера расположены на территории трех промышленных зон г. Гомеля: Любенское (западная), Шапор (южная), Круглое, Дедно, Волоотовское, Володькино, У-образное, Крайнее, Малое (северная).

Указанные промышленные зоны различаются общими объемами выбросов загрязняющих веществ, из которых часть улавливается или обезвреживается перед выбросом в атмосферу, а часть – выбрасывается без очистки [7]. Объем выбрасываемых веществ без очистки был использован в качестве основополагающего критерия с целью характеристики степени антропогенной нагрузки каждой промышленной зоны. Так, на территорию *западной промышленной зоны* приходится около 19 % объема выбросов загрязняющих веществ без очистки* – эта зона является наименее загрязненной. Для *южной промышленной зоны* характерно 34 % общего объема выбросов, для *северной* – 47 %, что указывает на самый высокий уровень антропогенной нагрузки.

Также в работе был определен коэффициент корреляции с целью установления степени зависимости между содержанием тяжелых металлов в воде и исследуемом виде-индикаторе.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования показали неравномерное накопление тяжелых металлов в мягких тканях разных видов гидробионтов (табл. 1).

Так, в целом в тканях двухстворчатых и брюхоногих моллюсков было отмечено повышенное по сравнению с другими элементами количество марганца, бария и цинка, причем эта особенность характерна для всех промышленных зон города.

Незначительным содержанием характеризовались свинец, бор, никель и хром в тканях моллюсков из озер северной, южной и западной промышленных зон.

Сравнение концентраций тяжелых металлов в тканях двухстворчатых и брюхоногих моллюсков показало повышенное накопление в тканях брюхоногих моллюсков семи из исследуемых элементов: свинца, бора, никеля, хрома, титана, циркония, меди; у двухстворчатых моллюсков отмечено повышенное количество марганца, стронция, бария и цинка.

Результаты анализа полученных данных с учетом расположения водоема в конкретной промышленной зоне показали повышенное содержание бора, стронция и цинка в тканях моллюсков северной промышленной зоны, испытывающей наибольшую антропогенную нагрузку; по остальным иссле-

* Здесь и далее имеются в виду выбросы загрязняющих веществ без очистки.

двумя элементами такой закономерности не прослеживалось. Это свидетельствует о том, что использование моллюсков в качестве биоиндикаторов в рамках нашей работы не всегда возможно.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в телах моллюсков, мг/100 г сухой массы

Тяжелые металлы	Промышленные зоны		
	северная	южная	западная
Свинец	$0,8 \pm 0,003$ $1,8 \pm 0,02$	$0,9 \pm 0,004$ $1,0 \pm 0,003$	$0,7 \pm 0,003$ –
Бор	$1,4 \pm 0,02$ $1,5 \pm 0,01$	$1,3 \pm 0,01$ $1,7 \pm 0,01$	$1,1 \pm 0,006$ –
Никель	$1,7 \pm 0,05$ $3,6 \pm 0,07$	$1,1 \pm 0,005$ $3,0 \pm 0,11$	$3,1 \pm 0,12$ –
Хром	$0,9 \pm 0,01$ $1,3 \pm 0,01$	$0,7 \pm 0,007$ $1,0 \pm 0,008$	$1,2 \pm 0,003$ –
Марганец	$1889,2 \pm 37,72$ $197,0 \pm 2,53$	$1778,9 \pm 19,57$ $85,0 \pm 1,07$	$2052,0 \pm 32,25$ –
Титан	$43,2 \pm 0,29$ $67,0 \pm 1,0$	$30,3 \pm 0,40$ $80,3 \pm 1,13$	$43,6 \pm 0,74$ –
Цирконий	$11,8 \pm 0,17$ $19,0 \pm 0,20$	$13,0 \pm 0,26$ $16,5 \pm 0,24$	$10,0 \pm 0,33$ –
Медь	$9,4 \pm 0,06$ $23,3 \pm 0,16$	$10,1 \pm 0,07$ $14,8 \pm 0,06$	$8,0 \pm 0,09$ –
Стронций	$52,0 \pm 0,50$ $41,6 \pm 0,54$	$44,2 \pm 0,25$ $25,0 \pm 0,31$	$50,0 \pm 0,67$ –
Барий	$94,2 \pm 1,35$ $49,3 \pm 0,46$	$244,6 \pm 5,19$ $19,9 \pm 0,38$	$197,0 \pm 3,10$ –
Цинк	$113,3 \pm 0,84$ $70,0 \pm 0,68$	$105,1 \pm 1,20$ $70,0 \pm 0,92$	$102,0 \pm 0,83$ –

Примечание. В числителе приведены данные по содержанию тяжелых металлов в телах двухстворчатых моллюсков, в знаменателе – в телах брюхоногих моллюсков.

Результаты атомно-абсорбционного анализа проб донных отложений озер показали, что накопление тяжелых металлов в донных отложениях озер, расположенных в различных промышленных зонах г. Гомеля, происходит неравномерно (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях, мг/100 г сухой массы

Тяжелые металлы	Промышленные зоны		
	северная	южная	западная
Свинец	$10,64 \pm 0,28$	$1,57 \pm 0,02$	$1,72 \pm 0,03$
Бор	$4,04 \pm 0,02$	$3,47 \pm 0,02$	$2,78 \pm 0,02$
Никель	$3,30 \pm 0,05$	$2,13 \pm 0,03$	$1,72 \pm 0,013$
Хром	$7,98 \pm 0,06$	$2,65 \pm 0,02$	$3,08 \pm 0,036$
Марганец	$55,12 \pm 0,29$	$47,83 \pm 0,52$	$69,50 \pm 1,36$
Титан	$214,02 \pm 0,98$	$171,67 \pm 1,85$	$168,00 \pm 3,7$
Цирконий	$39,10 \pm 0,15$	$30,00 \pm 0,26$	$25,33 \pm 0,44$
Медь	$9,33 \pm 0,14$	$1,53 \pm 0,04$	$1,72 \pm 0,03$
Барий	$49,40 \pm 0,15$	$44,67 \pm 0,24$	$39,50 \pm 0,37$
Цинк	$36,50 \pm 0,18$	$22,50 \pm 0,16$	$20,00 \pm 0,04$
Кобальт	$1,24 \pm 0,01$	$0,80 \pm 0,00$	$0,93 \pm 0,061$
Ванадий	$3,40 \pm 0,02$	$3,43 \pm 0,02$	$3,50 \pm 0,03$
Бериллий	$0,12 \pm 0,0003$	$0,11 \pm 0,0002$	$0,12 \pm 0,0009$

Следует отметить, что среди всех рассматриваемых элементов в преобладающем количестве в донных отложениях отмечены марганец, титан, барий, причем эта тенденция характерна для всех промышленных зон. Так, содержание марганца, например, в донных отложениях на территории западной промышленной зоны составило $69,5 \pm 1,36$ мг/100 г сухой массы; для титана этот показатель в северной зоне равнялся $214,02 \pm 0,98$ мг/100 г сухой массы.

В незначительном количестве по сравнению с марганцем, титаном и барием накапливались кобальт и бериллий.

Из данных табл. 2 видно, что все изучаемые элементы, за исключением ванадия, марганца и бериллия, содержались в донных отложениях водоемов на территории северной промышленной зоны, которая является самой загрязненной. Такое положение, вероятно, является следствием влияния более сильной антропогенной нагрузки на этой территории и указывает на перспективность использования донных отложений в качестве биоиндикатора.

Биоиндикационные преимущества донных отложений перед моллюсками подтверждаются также результатами расчета критерия Стьюдента (табл. 3) для промышленных зон города.

Таблица 3

**Критерий Стьюдента для промышленных зон г. Гомеля
по содержанию тяжелых металлов в телах моллюсков и донных отложениях**

Промышленные зоны	Промышленные зоны			
	южная	западная	южная	западная
	Тела моллюсков		Донные отложения	
	Свинец			
Северная	20,0*/40,0*	25,0*/-	4,0*	31,9*
Южная	-	40,0*/-	-	32,4*
	Бор			
Северная	5,0*/15,4*	18,8*/-	23,0*	45,0*
Южная	-	14,3*/-	-	20,4*
	Никель			
Северная	12,0*/5,0*	10,8*/-	10,3*	26,3*
Южная	-	16,7*/-	-	19,5*
	Хром			
Северная	20,0*/25,0*	38,0*/-	7,2*	61,3*
Южная	-	63,3*/-	-	88,8*
	Марганец			
Северная	2,6*/41,5*	3,3*/-	14,8*	10,3*
Южная	-	7,2*/-	-	121,5*
	Титан			
Северная	25,8*/9,5*	0,5*/-	0,9	12,1*
Южная	-	16,4*/-	-	20,3*
	Цирконий			
Северная	3,3*/8,9*	5,0*/-	9,2*	29,9*
Южная	-	7,1*/-	-	30,3*
	Медь			
Северная	7,8*/77,3*	23,0*/-	3,8*	54,4*
Южная	-	19,1*/-	-	52,0*
	Барий			
Северная	29,5*/45,9*	32,1*/-	11,8*	22,5*
Южная	-	8,2*/-	-	16,9*
	Цинк			
Северная	6,3*/-	10,3*/-	15,6*	91,7*
Южная	-	2,4*/-	-	58,3*
	Стронций			
Северная	14,4*/28,6*	2,3*/-	-	-
Южная	-	7,9*/-	-	-
	Кобальт			
Северная	-	-	13,0*	22,1*
Южная	-	-	-	44,0*
	Ванадий			
Северная	-	-	2,3*	3,3*
Южная	-	-	-	1,0
	Бериллий			
Северная	-	-	10,0*	-
Южная	-	-	-	0,53

Примечание. Достоверные отличия обозначены*. В числителе приведены данные критерия Стьюдента по содержанию тяжелых металлов в телах двухстворчатых моллюсков; в знаменателе – в телах брюхоногих моллюсков.

Из данных табл. 3 видно, что максимальное значение критерия Стьюдента по содержанию всех исследуемых тяжелых металлов в тканях моллюсков между северной и западной промышленными зонами отмечено только для бора ($t = 18,8$ при $P < 0,05$) и цинка ($t = 10,3$ при $P < 0,05$), для остальных элементов такой закономерности не наблюдалось.

Что касается донных отложений, то для бора, никеля, ванадия, меди, бария и цинка критерий Стьюдента максимален между западной и северной промышленными зонами, для бериллия – между северной и южной зонами.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в водных пробах, мг/л

Тяжелые металлы	Промышленные зоны		
	северная	южная	западная
Свинец	0,001±0,00008	0,002±0,00001	0,003±0,00002
Никель	0,006±0,003	0,009±0,00001	0,0075±0,0001
Хром	0,0063±0,00001	0,0016±0,00001	0,0042±0,00002
Марганец	0,2±0,0005	0,09±0,0003	0,06±0,0009
Медь	0,06±0,001	0,04±0,0001	0,02±0,0001
Цинк	4,4±0,04	0,8±0,001	0,5±0,01
Кобальт	0,0007±0,000001	0,0004±0,00001	0,0004±0,00001
Железо	2,4±0,04	0,7±0,001	0,2±0,001
Кадмий	0,0027±0,0012	0,0027±0,00001	0,0005±0,00002

Согласно результатам анализа проб воды, представленным в табл. 4, повышенным содержанием характеризуются марганец, цинк и железо во всех промышленных зонах г. Гомеля. Кроме того, все изучаемые элементы, за исключением свинца и никеля, в преобладающем количестве определены в пробах из озер на территории северной промышленной зоны. Так, содержание кобальта в воде составило в северной зоне 0,0007±0,000001 мг/л, в южной и западной зонах – 0,0004±0,000001 мг/л; содержание хрома – 0,0063±0,00001, 0,0016±0,00001 и 0,0042±0,00002 мг/л соответственно для указанных промышленных зон и т. д.

С целью установления характера зависимости между содержанием тяжелых металлов в виде индикатора и окружающей его внешней среде нами были определены коэффициенты корреляции (табл. 5). В большинстве случаев имеет место умеренная прямая корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов в воде и донных отложениях водоемов г. Гомеля и его окрестностей.

Таблица 5

Коэффициент корреляции между содержанием тяжелых металлов в воде и донных отложениях

Тяжелые металлы	Промышленные зоны		
	северная	южная	западная
Свинец	0,29	0,23	0,18
Никель	0,39	0,22	0,83
Хром	0,14	0,00	0,84
Марганец	0,61	-0,25	0,82
Медь	-0,62	0,37	0,91
Цинк	0,09	-0,52	0,20
Кобальт	0,57	0,19	0,54

На основании результатов проведенных исследований установлено:

- в тканях брюхоногих моллюсков по сравнению с двухстворчатыми в преобладающем количестве накапливалось большинство исследуемых элементов независимо от степени антропогенной нагрузки района их обитания; в целом моллюсками концентрируются марганец, барий и цинк;
- в пробах донных отложений в преобладающем количестве накапливались марганец, титан и барий, в воде – марганец, цинк и железо;
- донные отложения и вода водоемов северной промышленной зоны г. Гомеля в больших количествах содержали исследуемые элементы по сравнению с южной и западной зонами, за исключением ванадия и марганца для донных отложений, а также свинца и никеля для воды;
- между содержанием тяжелых металлов в воде и донных отложениях водоемов присутствует умеренная прямая корреляционная связь.

1. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М., 1987.
2. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л., 1991.
3. Макаренко Т.В. // Изв. ГГУ им. Ф. Скорины. 2007. № 6(45). С. 106.
4. Fernex F., Migon C., Chisholm J. // Hydrobiologia. 2001. № 1-3. P. 31.
5. Свириденко В.Г. и др. Физико-химические методы в экологии: практическое руководство для выполнения курсовых и дипломных работ студентами специальностей Н.06.01 «Экология» и Н.04.01 «Биология». Гомель, 2002.

6. Сборник методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь / В.И. Алешка и др.; под общ. ред. В.И. Алешка. Мн., 1998.

7. Годовой обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в городе Гомеле за 2007 год / М-во природ. ресурсов и охраны окр. среды Республики Беларусь, Департамент метеорологии, Гомел. обл. центр по гидрометеорологии и мониторингу окр. среды, Лаборатория экол. мониторинга ГУ «Гомельоблгидромет». Гомель, 2007.

Поступила в редакцию 19.03.09.

Елена Григорьевна Тюлькова – аспирант кафедры экологии ГГУ им. Ф. Скорины. Научный руководитель – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии ГГУ им. Ф. Скорины А.Н. Кусенков.