

УДК 504.064:594.141

Д. В. Лукашев

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В
ОРГАНАХ МОЛЛЮСКОВ ANODONTA ANATINA В
УСЛОВИЯХ ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ
СТОКОВ**

Исследовано распределение Mn, Fe, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu и Ni по органам мягкого тела моллюсков *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758) из двух водотоков, отличающихся уровнем загрязнения. Максимальная концентрация Mn, Fe, Zn была отмечена в жабрах моллюсков, Cd, Cr, Pb, Cu и Ni — в почках. Основной вклад в накопление тяжелых металлов организмом моллюсков имеют массивные органы — нога с висцеральным мешком, мантия и жабры. Только для кадмия почки являются органом-депо, концентрируя до 36% этого металла. В условиях загрязнения наблюдается возрастание вариабельности накопления тяжелых металлов в органах-депо. Также наблюдается увеличение частоты встречаемости особей с экстремальными значениями содержания тяжелых металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, двустворчатые моллюски, органы.

Загрязнение тяжелыми металлами является актуальной проблемой для экосистем бассейна Днепра. Для идентификации источников загрязнения водотоков с успехом применяют данные химического состава моллюсков, отобранных вдоль течения реки [3, 17]. При этом исследователи принимают в качестве незагрязненных фоновых районов условия участков речного русла, расположенные выше известного источника загрязнения [5, 10]. В большинстве работ для анализа используют все мягкие ткани моллюсков, без учета неравномерности распределения тяжелых металлов по отдельным органам и тканям. Однако известно, что некоторые органы характеризуются повышенным содержанием ряда металлов [1]. При этом вклад одного органа в общее содержание металла в организме моллюска может достигать 70—94% [11, 19, 20]. В результате концентрирование металла таким органом может приводить к достоверным изменениям его общего содержания в организме. Благодаря неравномерному распределению металлов в организме моллюсков возможно появление в выборке особей-«суперконцентраторов» [12, 18]. При этом моллюски-фильтраторы могут захватывать частицы антропогенного происхождения (пигменты, частицы металла). В результате захват такой частицы массой 10 мкг, содержащей 20% металла, увеличивает его общее содержание в организме на 2 мг/кг [16].

В представленной работе приводятся результаты анализа распределения тяжелых металлов в организме пресноводных двустворчатых моллюсков

© Лукашев Д. В., 2009

Anodonta anatina (Linnaeus, 1758) в условиях рек Десны и Днепра, экосистемы которых в различной степени подвержены загрязнению.

Материал и методика исследований. Материал отбирали в августе 2007 г. из двух районов: условно фонового — р. Десна (с. Хотяновка, Киевский район) и загрязненного — залив р. Днепр, 500 м ниже сброса Бортнической станции аэрации (коммунальные очистные сооружения г. Киева). В каждой точке было отобрано по 15 моллюсков для исследования содержания металлов в отдельных органах, и по 50 моллюсков для анализа общей концентрации металлов в мягких тканях. Для нивелирования влияния размеров тела на процессы накопления металлов использовали особей со стандартными размерно-весовыми характеристиками: длина раковин моллюсков из Десны 95—104 мм, масса — 77,7—84,1 г; из Днепра 100—105 мм и 96,2—107,6 г.

Для исследования содержания металлов в тканях мягкое тело моллюсков вынимали из раковины, давали стечь экстрапаллиальной жидкости и гемолимфе, просушивали фильтровальной бумагой и разделяли на следующие органы и части тела: мантия с аддукторами, жабры с лабиальными пальпами, пищеварительная железа, нога с висцеральным мешком, реноперикардальный комплекс (почки). Для анализа общей концентрации металлов мягкое тело моллюска извлекали из раковины и использовали целиком. Пробы высушивали до постоянной массы при 95°C, затем минерализовали при помощи 56%-ной HNO₃ с добавлением 30%-ной H₂O₂.

Одновременно в данных районах было отобрано по 2 л воды. Воду фильтровали через целлюлозно-ацетатный фильтр, подкисляли 1 мл HNO₃. Определение концентрации тяжелых металлов проводили после предварительного упаривания [4].

Определение концентрации Mn, Fe, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu и Ni проводили при помощи атомно-адсорбционного спектрофотометра С115-М1 (пламя ацетилен-воздух) с дейтериевым корректором фона и компьютерного аналитического комплекса КАС-11.

Оценку нормальности распределения значений концентрации металлов в выборках проводили с помощью критерия Шапиро — Уилка. Сравнение достоверности отличий выборочных показателей проводили с помощью непараметрического теста Манна — Уитни [11, 30]. Для характеристики степени вариабельности концентрации металлов в выборках использовали коэффициент вариации (CV). В качестве теста на принадлежность экстремальных значений концентрации металлов выборочной совокупности использовали параметрический T-критерий [6]. Вычисление необходимого минимального объема выборки проводили для показателя точности оценки средней концентрации, равного 10% [2].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ содержания тяжелых металлов в воде исследованных водотоков показал наличие достоверного повышения всех проанализированных метал-

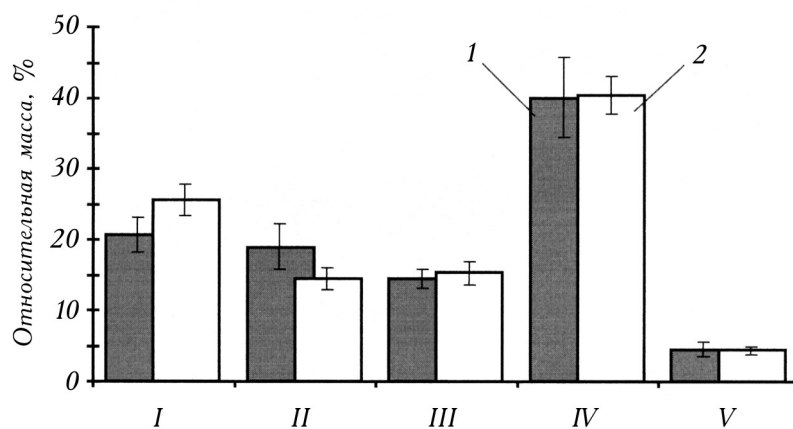
лов на участке русла Днепра ниже Киева. Средняя концентрация Zn в воде Десны составляла 0,028 мг/л; Mn — 0,035 мг/л; Cu — 0,0025 мг/л; Ni — 0,007 мг/л; Cr — 0,025 мг/л; Cd — 0,0017 мг/л. Средняя концентрация в воде Днепра в районе сброса очистных сооружений для Zn составляла 0,23 мг/л; Mn — 0,16 мг/л; Cu — 0,005 мг/л; Ni — 0,014 мг/л; Cr — 0,045 мг/л; Cd — 0,0025 мг/л. Наибольшее превышение зарегистрировано для Zn, Mn, Cu, Ni и Cr (в 8,2, 4,4, 2,3, 2,0 и 1,8 раза соответственно).

Сравнение относительной массы отдельных органов моллюсков из рек Десны и Днепра показало отсутствие достоверных отличий (рисунок). Наибольший вклад в общую массу тканей имеет нога с висцеральным мешком, относительная масса которых составляет более 40% общего содержания сухого вещества в мягком теле анодонты. Близкие значения для *A. anatina* приведены в работе [15]: мантия — 24%, жабры — 14%, пищеварительная железа — 15%, нога — 47%, почки — 1,3%. При этом отмечено, что жабры, пищеварительная железа и почки близкого вида *A. cygnea* тяжелее, чем у *A. anatina*, и составляют соответственно 28, 18 и 3% от общей массы. Для других видов моллюсков были характерны близкие вклады отдельных органов в общую массу сухого вещества. Например, почки составляют 2—5% массы *Laternula elliptica* [19], нога с висцеральной массой составляют 42—54% массы *Saccostrea glomerata* [24].

Изменчивость массы сухого вещества отдельных органов выявилась незначительной. Наибольшие колебания были характерны для почек *A. anatina* из Десны (3,3—6,2%), где CV составил 27%. Наиболее стабильными показателями характеризуется масса ноги у днепровских моллюсков, CV составил 9%.

Сравнение общего содержания тяжелых металлов в мягких тканях моллюсков из исследованных районов показало достоверное повышение концентрации меди, цинка и никеля в районе сброса очистных сооружений в 4,9, 1,9, и 2,1 раза соответственно (табл. 1). Несмотря на повышенную концентрацию кадмия, свинца и хрома в воде Днепра содержание данных металлов в мягких тканях моллюсков из данного района отличалось незначительно. Одновременно моллюски, отобранные ниже г. Киева, характеризовались более низкими уровнями накопления марганца и железа по сравнению с деснянскими в 2,1 и 1,8 раза соответственно. При этом, несмотря на незначительную изменчивость содержания металлов в тканях моллюсков, в условиях Десны вариабельность химического состава была несколько выше. Наибольшие колебания были характерны для концентрации цинка и меди (CV соответственно 37 и 27%).

Таким образом, несмотря на очевидное загрязнение воды в районе сброса очистных сооружений, повышенное накопление тканями моллюсков было характерно только для меди, цинка и никеля. Возможно, незначительное накопление остальных тяжелых металлов связано с низким содержанием биологически доступных форм элементов в воде исследованного района Днепра в связи с повышенным содержанием органических веществ в сбросах очистных сооружений. Известно, что химический состав моллюсков не отражает валового содержания металлов в окружающей воде [13, 23, 29].



1. Относительная масса (%) сухого вещества отдельных органов моллюсков *A. anatina*: 1 — р. Десна; 2 — р. Днепр; I — мантия; II — жабры; III — пищеварительная железа; IV — нога; V — почки.

Причем накопление моллюсками даже растворенных форм тяжелых металлов зависит от соотношения растворенных в воде органических и неорганических лигандов [26].

Анализ распределения концентрации тяжелых металлов по отдельным органам свидетельствует о наличии явления депонирования, в результате которого содержание металла в одном органе в несколько раз превышает содержание в других. Так, максимальная концентрация Mn, Fe, Zn отмечена в жабрах моллюсков, Cd, Cr, Pb, Cu и Ni — в почках.

Сопоставление относительной массы органов и содержания в них тяжелых металлов позволило установить вклад каждого органа в общее накопление организмом моллюсков (табл. 2). Основной вклад в накопление организмом Mn дают жабры. В условиях Днепра в них накапливается в среднем 62,8 г/кг Mn, что в 3,2 раза больше, чем в условиях Десны (19,4 г/кг). Одновременно его концентрация в мантии моллюсков из Десны была выше в 1,7 раза. При этом, несмотря на низкую концентрацию марганца, ткани днепровских моллюсков характеризуются большей вариабельностью содержания. В результате на долю жабр днепровских моллюсков приходится 80% всего накопленного металла, на долю мантии — 7,5%. У деснянских моллюсков на жабры приходится только 58%, тогда как вклад мантии составлял 21%. Именно благодаря вкладу мантии, относительная масса которой составляет 21—26% от общей массы тела (масса жабр составляет 14—19%), общее содержание Mn в мягких тканях *A. anatina* в условиях Десны больше. По данным [23] в условиях незагрязненной экосистемы у близкого вида *A. sугnea* максимальную концентрацию марганца наблюдали также в жабрах (19,7 г/кг) и мантии (13,1 г/кг).

Высокая концентрация железа была характерна для жабр и почек. Однако в условиях Десны основным депо металла являются жабры (49% общего содержания). При этом на долю ноги приходится 24% всего железа организма моллюсков. В то же время в Днепре на долю ноги приходится 35% всего

1. Распределение концентрации тяжелых металлов (мг/кг массы сухого вещества) в органах *A. anatina* из рек Десны и Днепра

Металлы	Реки, CV	Мантия	Жабры	Печень	Нога	Почки	Общее содержание
Mn	Десна	5631 ± 1714	19449 ± 6021	2396 ± 522	2353 ± 607	9696 ± 3447	9252 ± 1085
	CV	49,1	44,7	35,2	41,6	44,4	31,1
	Днепр	3402 ± 1425	62772 ± 12017	1763 ± 1046	2200 ± 874	9263 ± 4998	4345 ± 469
	CV	64,1	47,5	85,6	60,8	82,6	23,4
Fe	Десна	1674 ± 760	4284 ± 1343	1549 ± 326	1404 ± 415	2362 ± 310	2039 ± 231
	CV	51,8	35,8	24,0	33,7	11,6	30,0
	Днепр	499 ± 150	2660 ± 1043	760 ± 189	898 ± 274	1760 ± 600	1121 ± 79
	CV	43,4	56,6	35,8	44,0	49,2	15,3
Zn	Десна	171 ± 35	350 ± 40	116 ± 18	96 ± 19	249 ± 46	195 ± 25
	CV	33,3	18,3	24,3	31,9	23,0	31,0
	Днепр	286 ± 64	1664 ± 342	322 ± 50	261 ± 67	653 ± 193	395 ± 31
	CV	34,0	31,5	23,9	39,6	45,3	17,0
Cd	Десна	0,87 ± 0,16	0,93 ± 0,13	0,80 ± 0,11	0,57 ± 0,15	7,64 ± 1,26	7,10 ± 0,54
	CV	30,4	23,5	23,0	43,1	20,6	20,0
	Днепр	0,80 ± 0,09	1,26 ± 0,16	0,83 ± 0,09	0,48 ± 0,10	9,13 ± 1,54	7,55 ± 0,53
	CV	16,9	19,2	17,3	32,9	25,8	15,3
Cr	Десна	6,7 ± 1,2	13,5 ± 1,5	8,1 ± 1,1	6,0 ± 1,0	16,6 ± 3,2	7,1 ± 0,5
	CV	28,8	17,5	21,8	27,2	24,2	20,0
	Днепр	2,3 ± 0,4	10,4 ± 2,6	3,4 ± 0,7	3,6 ± 1,1	12,2 ± 4,0	7,5 ± 0,5
	CV	28,5	38,8	33,3	44,8	49,8	15,3
Pb	Десна	4,2 ± 0,6	4,9 ± 1,0	4,0 ± 1,3	2,6 ± 0,9	14,1 ± 3,4	4,5 ± 0,5
	CV	23,2	33,1	52,5	55,0	29,9	29,4
	Днепр	2,7 ± 1,0	4,5 ± 0,9	4,2 ± 1,5	3,3 ± 0,7	11,6 ± 2,9	3,7 ± 0,5
	CV	34,1	18,1	30,4	19,9	18,2	28,0

Продолжение табл. 1

Металлы	Реки, CV	Мантия	Жабры	Печень	Нога	Почки	Общее содержание
Cu	Десна	2,4 ± 0,3	2,0 ± 0,4	4,6 ± 0,4	3,4 ± 0,8	5,5 ± 1,3	3,5 ± 0,4
	CV	20,8	34,9	13,5	39,2	28,6	26,9
	Днепр	10,7 ± 2,2	30,4 ± 6,3	25,2 ± 3,0	13,0 ± 2,6	44,6 ± 15,2	17,1 ± 1,1
	CV	31,5	31,6	18,5	30,9	52,1	13,3
Ni	Десна	0,8 ± 0,2	1,4 ± 0,5	1,1 ± 0,2	0,7 ± 0,2	3,7 ± 1,1	0,9 ± 0,1
	CV	43,4	55,3	36,0	46,4	35,2	31,8
	Днепр	0,5 ± 0,2	1,7 ± 0,6	2,4 ± 0,5	0,4 ± 0,1	2,6 ± 0,9	2,0 ± 0,2
	CV	58,7	53,4	30,1	52,1	58,2	17,0

содержания металла, а на долю жабр — только 34%. Это объясняется тем, что масса тканей ноги составляет 40—41% общей массы организма. Кроме того, значительный вклад ноги в общее накопление металла организмом моллюсков связано с тем, что в составе содержимого кишечника могут находиться минеральные частицы, характеризующиеся высоким содержанием железа. Например, в кишечнике *Mytilus edulis* может находиться 46—100% железа терригенного происхождения [16].

Жабры являются основным депо цинка в организме *A. anatina*, на их долю приходится 43—49% общего содержания элемента. Наибольшие отличия в накоплении Zn были отмечены для жабр моллюсков из исследованных водоемов, что связано с их значительной площадью контакта с загрязненной средой. Поэтому в условиях поступления загрязненных стоков концентрация цинка в жабрах увеличивается в 5 раз по сравнению с моллюсками из устья Десны.

Концентрация кадмия в почках более чем в 10 раз превышает показатели накопления в других органах. По этой причине, несмотря на их незначительную относительную массу (4,3—4,5%), почки являются основным депо Cd, в котором сосредоточено 36% данного металла. По данным [14] в почках *A. sugnea* сосредоточено до 16% кадмия, тогда как в пищеварительной железе — 31%. У представителей семейства Pectenidae в пищеварительной железе сосредоточено 52—74% кадмия [9]. В пищеварительной железе *A. anatina* из исследованных водоемов накоплено не более 13% общего количества кадмия.

Несмотря на высокую концентрацию хрома и свинца в почках (12—14 мг/кг хрома и 12—14 мг/кг свинца), на их долю приходится только 9—14% общего содержания этих металлов в организме. Основной вклад в накопление дают жабры (26—32%) и нога (28—39%). Как и в случае распределения железа, значительный вклад тканей ноги в накопление металлов при их невысокой концентрации объясняется массивностью данной части тела мол-

2. Вклад отдельных органов (%) в общее накопление тяжелых металлов организмом *A. anatina*

Металлы	Реки	Мантия	Жабры	Печень	Нога	Почки
Mn	Десна	21,0 ± 4,8	58,0 ± 8,1	5,9 ± 2,5	12,7 ± 2,5	5,4 ± 2,7
	Днепр	7,5 ± 2,5	79,6 ± 5,6	2,2 ± 1,1	7,6 ± 2,0	5,3 ± 4,0
Fe	Десна	12,9 ± 2,2	48,9 ± 2,2	12,6 ± 3,0	24,0 ± 2,1	5,8 ± 0,7
	Днепр	11,7 ± 1,7	34,4 ± 4,0	11,2 ± 1,8	34,9 ± 4,0	7,8 ± 2,7
Zn	Десна	21,5 ± 3,3	43,4 ± 3,8	9,6 ± 1,5	23,2 ± 2,0	6,4 ± 1,8
	Днепр	14,8 ± 1,8	48,5 ± 3,6	10,2 ± 1,3	20,9 ± 2,3	5,6 ± 1,2
Cd	Десна	18,7 ± 1,3	17,2 ± 2,3	12,6 ± 1,7	21,8 ± 5,3	35,9 ± 4,8
	Днепр	18,8 ± 2,1	16,8 ± 2,5	11,7 ± 1,5	17,1 ± 1,7	35,5 ± 3,7
Cr	Десна	16,3 ± 1,4	34,0 ± 3,0	14,4 ± 2,1	30,3 ± 3,7	9,1 ± 1,0
	Днепр	12,9 ± 1,4	31,9 ± 2,7	11,7 ± 2,1	31,1 ± 3,9	10,9 ± 3,4
Pb	Десна	25,1 ± 3,1	25,8 ± 3,5	15,2 ± 2,8	28,0 ± 3,4	14,0 ± 2,1
	Днепр	15,0 ± 3,9	18,2 ± 2,8	17,0 ± 7,8	38,6 ± 9,0	12,7 ± 2,5
Cu	Десна	13,6 ± 2,3	13,2 ± 2,3	25,8 ± 3,1	16,9 ± 3,1	35,4 ± 2,5
	Днепр	14,9 ± 2,2	23,6 ± 2,9	21,6 ± 3,5	27,2 ± 4,4	10,6 ± 3,6
Ni	Десна	17,1 ± 2,7	27,3 ± 2,8	17,7 ± 3,4	29,8 ± 7,0	16,9 ± 2,1
	Днепр	13,0 ± 4,4	22,6 ± 3,5	37,2 ± 6,5	15,4 ± 5,0	10,4 ± 3,0

люсков. По данным [27] максимальную концентрацию свинца в организме *A. sугnea* также наблюдали в почках.

Максимальная концентрация меди отмечена в почках. Причем в условиях Днепра ее концентрация в почках в 8,2 раза, а в жабрах в 15,6 раза превышает значения, характерные для Десны (см. табл. 1). При этом в условиях Десны почки *A. anatina* накапливают более 35% меди, в то время как в Днестре ниже Киева на почки приходится менее 11% общего количества металла. Основной вклад в накопление меди в этих условиях имеют ткани ноги (27%) и жабры (24%). Можно предположить, что при незначительном содержании меди в окружающей среде в низовьях Десны основную роль в детоксикации организма выполняют почки. При поступлении в организм дополнительного количества меди через жабры в условиях загрязнения (на что указывает высокое накопление металла этими органами), возможно, почки не справляются с выделительной функцией, что приводит к возрастанию депонирования меди в тканях ноги.

Распределение никеля в организме моллюсков подобно распределению меди: максимальная концентрация характерна для почек (3,7 мг/кг в условиях Десны, 2,6 мг/кг в условиях Днепра). Также пищеварительная железа моллюсков из района поступления сточных вод характеризуется повышен-

ным накоплением никеля (2,4 мг/кг), что приводит к депонированию в ее тканях 37% всего количества металла в организме.

Таким образом, в организме моллюсков *A. anatina* наблюдается неравномерное распределение всех исследованных тяжелых металлов. Почки накапливают высокую концентрацию кадмия, железа, хрома, свинца, меди и никеля. Причем в ряде случаев концентрация металла в почках многократно превышает его содержание в других частях тела, что было отмечено и для других видов моллюсков [19]. Однако, несмотря на высокую концентрацию металлов в данном органе, только для кадмия почки являются органом-депо. В связи с незначительной относительной массой почек, их химический состав слабо влияет на общее содержание тяжелых металлов в организме моллюсков [19]. Таким образом, основной вклад в накопление тяжелых металлов будут иметь те органы, относительная масса которых составляет значительную часть общей массы тела. Известно, что для морских двустворчатых моллюсков характерна определяющая роль висцеральной массы в накоплении тяжелых металлов [24]. Такой частью тела *A. anatina* является нога с висцеральным мешком, масса которой составляет более 40% массы тела. В результате именно нога моллюсков в ряде случаев является основным депо железа, хрома, свинца и меди.

Следует учитывать, что часть накопленных металлов может находиться в составе пищи и не являться собственно аккумулярованными организмом формами. С целью коррекции влияния химического состава содержимого пищеварительной системы часто проводят предварительное очищение моллюсков, выдерживая их перед анализом некоторое время в воде [1, 17, 21]. Однако, как показано специальными исследованиями, произвольный выбор длительности периода очищения, приводит к потерям части аккумулярованных металлов, связанных с другими тканями [8]. Доказано, что поступление терригенных материалов с пищей достоверно приводит к обогащению организма моллюсков только алюминием, хромом, железом и кремнием [16, 25].

Такие органы, как жабры, характеризующиеся значительной массой (до 19%) и высокой концентрацией металла, также могут определять его общее содержание в организме моллюсков. Данный орган характеризуется значительной площадью поверхности, контактирующей с окружающей водой. Установлено, что жабры моллюсков из Днепра и устья Десны являются основным депо для цинка, марганца, хрома, свинца и меди. Имеются данные, что именно с помощью жабр моллюски способны поглощать ионы тяжелых металлов непосредственно из воды. Например, слизь, выделяемая жабрным эпителием, способна связывать ионы кальция и некоторые тяжелые металлы [7]. Доказано, что через кальциевые каналы мембран клеток жабрного эпителия в организм моллюска способны проникать и другие химические элементы [28].

В связи с тем, что в депонирующих органах моллюсков содержится значительная часть накопленных металлов, изменчивость таких параметров, как концентрация металла в органе и масса его тканей, определяет вариабельность накопления в целом организме. По нашим данным, наибольшие колебания относительной массы были характерны для почек моллюсков. Кон-

центрация исследованных тяжелых металлов в этих органах также в большинстве случаев характеризовалась значительной вариабельностью (см. табл. 1).

Высокая изменчивость содержания металлов в жабрах моллюсков из района сброса сточных вод очистных сооружений, возможно, связана с захватом металлосодержащих частиц. Такие частицы могут также поступать в пищеварительную систему моллюсков [16]. Отмеченное повышение концентрации марганца в жабрах *A. anatina* из р. Днепр в 7—36 раз по сравнению с другими органами, возможно, связано с захватом минеральных частиц взвеси. В условиях Десны концентрация марганца в жабрах только в 2—8 раз превышает содержание в других органах. Подобное обогащение тканей железом из водной взвеси отмечено для морских двустворчатых моллюсков *Perna perna* [12].

Неравномерное распределение тяжелых металлов по тканям моллюсков, наличие органов-депо, приводит к увеличению вариабельности содержания металлов. Поэтому для проведения мониторинговых исследований загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами с использованием двустворчатых моллюсков необходимо оценить влияние изменчивости накопления металлов на выборочные показатели их концентрации в мягком теле моллюсков.

Анализ частоты встречаемости особей, характеризующихся экстремально высокими значениями содержания рассмотренных элементов, показал, что в условиях загрязнения доля таких особей в выборке возрастает незначительно. Так, концентрация Ni у 24% и Cr у 17% моллюсков, отобранных из Днепра, в 1,4—1,5 раза превышала средние выборочные показатели. Доля особей с двукратным превышением содержания Cd составляла 6%. В условиях Десны такими свойствами характеризовались единичные особи (не более 2%). При этом значения концентрации металлов в исследованных выборках моллюсков характеризовались вариационным распределением, близким к нормальному закону.

Отбор достаточно многочисленных выборок моллюсков из исследованных водоемов позволил оценить минимальный объем выборки для получения точности оценки средней концентрации, равной 10%. Установлено, что для исследования накопления Cr необходимо отобрать 4 одноразмерных экземпляра моллюсков; Cu — 7 экземпляров; Ni, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe — 9—11 экземпляров моллюсков. Близкие значения минимальной выборки были получены при исследовании дисперсии содержания тяжелых металлов в тканях моллюска *Vembicium auratum* [30].

Таким образом, несмотря на выраженную неравномерность распределения металлов в органах моллюсков *A. anatina*, в условиях как фоновой, так и загрязненной экосистемы, значительного нарушения вариационного распределения не наблюдается. По этой причине данный вид двустворчатых моллюсков можно рекомендовать в качестве биоконцентратора тяжелых металлов при проведении биомониторинга пресноводных экосистем.

Заключение

Анализ массы отдельных органов *A. anatina* показал, что масса ноги с висцеральным мешком моллюска составляет 40—41%, масса мантии — 21—26%, жабр — 14—19%, пищеварительной железы — 14—15%, почек — 4—5% общей массы сухих тканей моллюсков. Максимальная концентрация Mn, Fe, Zn отмечена в жабрах моллюсков; Cd, Cr, Pb, Cu и Ni — в почках.

Основной вклад в накопление тяжелых металлов организмом моллюсков имеют массивные органы — нога с висцеральным мешком, мантия и жабры. Несмотря на высокую концентрацию большинства исследованных металлов в почках, их химический состав слабо влияет на общий химический состав организма моллюсков. Только для кадмия почки являются органом-депо, концентрируя до 36% этого металла.

В условиях поступления сбросных вод очистных сооружений в выборках моллюсков наблюдается увеличение доли особей, характеризующихся экстремальной концентрацией тяжелых металлов.

**

Досліджено розподіл Mn, Fe, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu та Ni по органах м'якого тіла моллюсків Anodonta anatina з двох водостоків, які відрізняються за рівнем забруднення. Максимальна концентрація Mn, Fe, Zn була характерна для жабер моллюсків, Cd, Cr, Pb, Cu та Ni — для нирок. Основний внесок у накопичення важких металів організмом моллюсків мають масивні органи — нога з вісцеральним мішком, мантия та жабра. Тільки для кадмію нирки виступають як орган-депо, концентруючи до 36% цього металу. В умовах забруднення спостерігається збільшення варіабельності накопичення важких металів у органах-депо. Також збільшується частка особин з екстремальними значеннями вмісту важких металів.

**

Distribution of Mn, Fe, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu and Ni were investigated in different parts of soft body of Anodonta anatina mussel from two rivers with different pollution level. The mussel gills were characterized of maximal concentration of Mn, Fe and Zn, the kidneys — Cd, Cr, Pb, Cu and Ni. The greatest contribution in heavy metal storage has massive organs of mussels — foot with visceral sac, mantle and gills. Cadmium only in general deposited in kidneys, there was accumulated up to 36% from total metal contents. Variability of trace metals accumulation by depositing organs were increased in polluted area. Also there were increased of frequency of individuals with extremal value of metal concentration.

**

1. Киричук Г.Е. Особенности накопления ионов тяжелых металлов в организме пресноводных моллюсков // Гидробиол. журн. — 2006. — Т. 42, № 4. — С. 99—110.
2. Лакин Г.Ф. Биометрия. — М: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1973. — 343 с.
3. Лукашев Д.В. Мониторинг загрязнения тяжелыми металлами экосистемы Днепра в пределах г. Киева с помощью пресноводных моллюсков // Гидробиол. журн. — 2006. — Т. 42, № 1. — С. 86—98.

4. Микроэлементы в природных водах и атмосфере // Тр. Ин-та эксп. метеорологии. — 1974. — Т. 2. — 183 с.
5. Пашкова И.М., Коротнева Н.В., Ангроников В.Б Тяжелые металлы в тканях моллюсков, обитающих в водоемах Северо-запада России // Экол. химия. — 2003. — Т. 12, № 4. — С. 245—250.
6. Плохинский Н.А. Биометрия. — М: Изд-во Моск. ун-та, 1970. — 367 с.
7. Тинь И. Кальций в тканях и полостных жидкостях некоторых пресноводных моллюсков семейства Unionidae: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1973. — 30 с.
8. Boening D.W. An evaluation of bivalves as biomonitors of heavy metals pollution in marine waters // Environ. Monitor. Assess. — 1999. — Т. 55. — P. 459—470.
9. Bustamante P., Miramand P. Interspecific and geographical variations of trace element concentrations in Pectinidae from European waters // Chemosphere. — 2004. — Vol. 57. — P. 1355—1362.
10. Camusso M., Galassi S., Vignati D. Assessment of river Po sediment quality by micropollutant analysis // Water Res. — 2002. — Vol. 36. — P. 2491—2504.
11. Conti M.E., Iacobucci M., Cecchetti G. A statistical approach applied to trace metal data from biomonitoring studies // Inter. J. Environ. and Pollution. — 2005. — Vol. 23. — P. 29—41.
12. Ferreira A.G., Mochado A.L.S., Zalmon I.R. Temporal and spatial variation an heavy metal concentrations in the bivalve *Perna perna* (Linnaeus, 1758) an the Northern coast of Rio de Janeiro State, Brazil // Brazilian arch. of Biol. Technol. — 2004. — Vol. 47, N 2. — P. 319—327.
13. Gey D., Maher W. Natural variation of copper, zinc, cadmium and selenium concentrations in *Bembicium nanum* and their potential use as s biomonitor of trace metals // Water Res. — 2003. — Vol. 37. — P. 2173—2185.
14. Hemelraad J., Holwerda D.A., Zandee D.I. Cadmium kinetics in freshwater clams. I The pattern of cadmium accumulation in *Anodonta cygnea* // Arch. Environ. Contam. Toxicol. — 1986. — Vol. 15. — P 1—7.
15. Hemelraad J., Holwerda D.A., Teards K.J. et al. Cadmium kinetics in freshwater clams. II A comparative study of cadmium uptake and cellular distribution in the *Anodonta cygnea*, *Anodonta anatina* and *Unio pictorum* // Ibid. — 1986. — Vol. 15. — P. 9—21.
16. Kennedy D.C. The use of molluscs for monitoring trace elements in the marine environment in New Zealand. 1. The contribution of ingested sediment to the trace element concentrations in New Zealand mollusks // New Zealand J. of Marine and Freshwater Res. — 1986. — Vol. 20. — P. 627—640.
17. Kwan K.M., Chan H.M., Lafontaine Y. Metal contamination in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) along the St. Lawrence river // Environ. Monitor. Assess. — 2003. — Vol. 88. — P. 193—219.
18. Lobel P.B., Wright D.A. Frequency distribution of zinc concentrations in the common mussel, *Mytilus edulis* (L.) // Estuaries. — 1983. — Vol. 6. — P. 154—159.
19. Lohen M.C., Statham P.J., Peck L. Trace metals in the Antarctic soft-shelled clam *Laternula elliptica*: implications for metal pollution from Antarctic research stations // Polar. Biol. — 2001. — Vol. 24. — P. 808—817.

20. Marin M.G., Boscolo R., Cella A. et al. Field validation of autometallographical black silver deposit extent in three bivalve species from the lagoon of Venice, Italy (*Mytilus galloprovincialis*, *Tapes philippinarum*, *Scapharca inaequivalvis*) for metal bioavailability assessment // Sci. Total Environ. — 2006. — Vol. 37. — P. 156—167.
21. Metcalfe-Smith J.R., Green R.N., Grapentine L.C. Influence of biological factors on concentrations of metal in the tissues of freshwater mussels (*Elliptio complanata* and *Lampsilis radiata*) from the St. Lawrence river // Canad. J. Fish. Aquat. Sci. — 1996. — Vol. 53. — P. 205—219.
22. Ravera O., Cenci R., Beone G.M. et al. Trace element concentrations in freshwater mussels and macrophytes as related to those in their environment // J. Limnol. — 2003. — Vol. 62. — P. 61—70.
23. Ravera O., Beone G.M., Trincerini P.R., Riccardi N. Seasonal variations in metal content of two *Unio pictorum* *mancus* (Mollusca, Unionidae) populations from two lakes of different trophic state // Ibid. — 2007. — Vol. 66. — P. 28—39.
24. Robinson W.A., Maher W.A., Kricowa F. et al. The use of the oyster *Saccostrea glomerata* as a biomonitor of trace metal contamination: intra-sample, local scale and temporal variability and its implications for biomonitoring // J. Environ. Monitor. — 2005. — Vol. 7. — P. 208—223.
25. Robinson W.E., Ryan D.K., Wallace G.T. Gut contents: A significant contaminant of *Mytilus edulis* whole body metal concentration // Arch. Environ. Contam. Toxicol. — 1993. — Vol. 25. — P. 415—421.
26. Roditi H.A., Fisher N.S. Rates and routes of trace element uptake in zebra mussels. // Limnol. Oceanogr. — 1999. — Vol. 44, N 7. — P. 1730—1749.
27. Salanki J., V.-Balogh K. Physiological background for using freshwater mussels in monitoring copper and lead pollution // Hydrobiologia. — 1989. — Vol. 188/189. — P. 445—454.
28. Sidoumou Z., Gnassia-Barelli M., Romeo M. Cadmium and calcium uptake in the mollusk *Donax rugosus* and effect of a calcium channel blocker // Bull. Environ. Contam. Toxicol. — 1997. — Vol. 58. — P. 318—325.
29. Taylor A., Maher W. The use of two marine gastropods, *Austrocochlea constricta* and *Bembicium auratum* as biomonitors of zinc, cadmium and copper exposure: Effects of mass, within and between site variability and net accumulation relative to environmental exposure // J. Coast. Res. — 2003. — Vol. 19. — P. 541—549.
30. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Guidance for Data Quality Assessment. Practical Methods for Data Analysis // EPA QA/G-9 Final Version QA00. — Washington: Office of Environ. Inform., 2000. — 219 p.