

УДК 504.064 : 594.141

© Д. В. Лукашев

ИНДИКАТОРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ МОЛЛЮСКОВ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕЧНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко
03033, г. Киев, ул. Владимирская, 64; e-mail: dek@biocc.univ.kiev.ua

Лукашев Д. В. Индикаторное значение пресноводных моллюсков при выявлении источника загрязнения речной экосистемы тяжелыми металлами. – Исследовано накопление Cd, Zn, Cr и Ni в мягких тканях моллюсков *Lymnaea stagnalis*, *Anodonta anatina* и *Unio tumidus* в районе поступления сточных вод очистных сооружений г. Чернигова в р. Десну. Рассчитан показатель контрастности накопления металлов моллюсками в загрязненном районе по сравнению с фоновым участком речного русла. Показано, что моллюски *L. stagnalis* наиболее четко выявляют загрязнение Ni, *A. anatina* – Zn и Cr.

Ключевые слова: пресноводные моллюски, тяжелые металлы, биоконцентраторы, мониторинг.

Введение

Моллюски широко применяются в мониторинге загрязнения тяжелыми металлами как морских [10], так и пресноводных экосистем [9]. Данные гидробионты являются идеальными биомониторами, обладая следующими свойствами [9]: 1) являются малоподвижными или сидячими организмами; 2) широко распространены в различных водоемах; 3) имеют крупные размеры, что облегчает их сбор, определение и использование в аналитической пробоподготовке; 4) накапливают высокие концентрации большинства органических и неорганических загрязнителей; 5) характеризуются длительным периодом жизни; б) достаточно устойчивы к большинству загрязнителей. Однако для адекватной оценки степени загрязнения экосистемы определенные свойства индикаторных видов должны изменяться пропорционально уровню загрязнения окружающей среды.

Чаще всего при мониторинге загрязнения тяжелыми металлами водных экосистем моллюсков используют в качестве биоаккумуляторов, определяя непосредственно в их тканях содержание загрязняющих веществ. Особые успехи в этом направлении были достигнуты в мониторинге морских экосистем благодаря использованию программы "Mussel watch" с использованием широко распространенных моллюсков рода *Mytilus*. В результате соответствующие методы были включены в стандартные протоколы мониторинга ряда стран [7, 15].

Несмотря на большое количество научных исследований, пресноводные моллюски в практике мониторинга имеют ограниченное применение. Это связано с несколькими причинами. Во-первых, несмотря на меньшее богатство пресноводной фауны моллюсков, виды распределены по водоемам неравномерно. Ситуацию усложняет существование различных взглядов на систематическое положение большинства групп пресноводных моллюсков. Во-вторых, гидрологические, гидрохимические и гидробиологические параметры континентальных водоемов характеризуются значительным варьированием как в пространстве, так и во времени. Для разработки соответствующих методов мониторинга необходимо выяснить видовые особенности накопления загрязнителей моллюсками и определить индикационную способность различных видов моллюсков в модельных условиях.

Представленная работа посвящена сравнению процессов накопления Cd, Zn, Cr и Ni тремя видами пресноводных моллюсков в условиях точечного загрязнения речной экосистемы. Данные металлы характеризуются высокой технофильностью и входят в состав как коммунально-бытовых, так и промышленных стоков [5].

Материал и методы исследования

В качестве естественной модели был выбран участок р. Десны в районе впадения р. Белоус, являющийся местом сброса очистных сооружений ГКП "Черниговводоканал". Сточные воды г. Чернигова выступают основным загрязнителем Десны, с которыми

ежегодно поступает 1,4 т нефтепродуктов, 0,3 тыс. т. взвешенных веществ, 0,2 тыс. т органических веществ; 0,5 т Cu; 0,38 т Zn; 0,41 т Ni [4]. В течение 2008-2009 гг. был проведен отбор проб воды, донных отложений и моллюсков на различном удалении от места сброса вдоль правого берега р. Десны (0,1; 0,6; 1,8; 3,0; 5,4; 7,6; 9,7; 12,0 км). В качестве контрольных были использованы пробы, отобранные выше сброса на расстоянии 18 км (с. Бобровица, выше г. Чернигова), 40 км (с. Локнистое, район пгт. Березна), 75 км (с. Максаки (район пгт. Макошино). Модельными объектами были выбраны распространенные виды моллюсков: двустворчатые – *Anodonta anatina* (L., 1758) и *Unio tumidus* (Phill.); брюхоногие – *Lymnaea stagnalis* (L.). Эти моллюски наиболее широко применяются при мониторинге загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами [1, 11, 16].

В каждой точке отбирали по три пробы воды (2 л), две пробы верхнего 5-сантиметрового слоя донных отложений; 6-12 двустворчатых моллюсков и 6-10 прудовиков. Воду фильтровали через мембранный фильтр и фиксировали 2 мл 56% HNO_3 (хч). Донные отложения высушивали до постоянной массы при 95°C . Моллюсков вскрывали, мягкие ткани отделяли от раковины и замораживали отдельно для каждой особи.

Пробы воды концентрировали путем упаривания 1 л до 10 мл [2]. Кислоторастворимую фракцию тяжелых металлов в донных отложениях получали нагреванием 2 г пробы в 20 мл 5М HNO_3 (хч) в течение 1 часа на водяной бане [3]. Мягкие ткани моллюсков высушивали при 95°C , взвешивали с точностью до 1 мкг и растворяли в 5 мл 56% HNO_3 (хч) при добавлении нескольких капель 35% H_2O_2 .

Концентрацию Cd, Zn, Cr и Ni в пробах определяли с помощью пламенного (ацетилен-воздух) атомно-адсорбционного спектрофотометра С115-М1 с дейтериевым корректором фона и компьютерно-аналитическим комплексом КАС-11. Содержание металлов в донных отложениях и тканях моллюсков выражали в мг/кг массы сухого вещества, концентрацию в воде – в мкг/л.

Для оценки статистической значимости отличий выборочных показателей содержания металлов в пробах использовали непараметрический тест Манна-Уитни [8]. Под индикаторными свойствами моллюсков понимали способность накапливать такую концентрацию металла, величина которой возрастает пропорционально расстоянию до источника поступления в водоем загрязненных стоков (по течению водотока). Кроме того, в загрязненном районе содержание металла в тканях должно статистически значимо превышать фоновые уровни. Чем больше будет разность содержания металла между фоновым и загрязненным районом, тем выше разрешающая способность данного вида моллюсков к выявлению загрязнения. Для количественной оценки разрешающей способности использовали показатель контрастности геохимических аномалий [6]:

$$K = \frac{(C_{\max} - C_{\text{фон}})}{\sigma_{\text{фон}}}, \quad (1)$$

где K – показатель контрастности; C_{\max} – максимальная концентрация металла в загрязненном районе; $C_{\text{фон}}$ – концентрация металла в фоновом районе; $\sigma_{\text{фон}}$ – стандартное отклонение концентрации металла в фоновом районе. Если показатель $K > 3$ – то аномалия считается контрастной, если $K \leq 3$ – то аномалия слабоконтрастная. Таким образом, при показателе K , превышающем 3, разрешающую способность аккумуляционной активности моллюсков можно считать высокой.

Результаты и обсуждение

Поступление сточных вод в р. Десну приводит к резкому статистически значимому ($p < 0,05$) возрастанию концентрации всех исследованных металлов в воде непосредственно в районе устья р. Белоус. Концентрация Cd по сравнению с вышерасположенным фоновым участком увеличилась в 3,5 раза (0,21 мкг/л по сравнению с 0,06 мкг/л); Zn – в 6,4 раза (29,9

мкг/л против 4,7 мкг/л); Cr – в 7,1 раза (4,9 мкг/л против 0,7 мкг/л); Ni – в 11 раз (6,0 мкг/л против 0,55 мкг/л). Однако уже на расстоянии 100 м ниже сброса наблюдается резкое снижение концентрации до фонового уровня. Следует отметить, что концентрация Cd, Cr и Ni в районе сброса не превышает жестких уровней рыбохозяйственных ПДКвр (соответственно 0,5, 5,0 и 10,0 мкг/л). Только концентрация Zn превысила ПДКвр в 3 раза. Таким образом, использование нормативов качества воды, которые часто применяют в качестве экологических критериев, не позволяет утверждать о наличии загрязнения в районе поступления сточных вод.

Анализ химического состава кислоторастворимой фракции донных отложений показал, что для всех металлов также наблюдается резкое статистически значимое ($p < 0,05$) превышение фоновых уровней. Как и в случае химического состава воды, содержание Cd, Zn и Cr в донных отложениях снижается уже на расстоянии 100 м от устья р. Белоус. И только в случае Ni регистрируется обогащение донных отложений на расстоянии более 100 м (2,7-4,3 мг/кг). Однако при удалении на 600 м от сброса содержание Ni достигает значений, характерных для фонового участка р. Десна (1,6-1,8 мг/кг).

Снижение концентрации металлов в воде и донных отложениях на участке ниже сброса очистных сооружений отражает сопряженные процессы разбавления сточных вод и самоочищения экосистемы реки. В результате на небольшом расстоянии происходит быстрое понижение содержания загрязнителей до уровней, характерных для контрольных участков. Таким образом, крупномасштабные исследования химического состава воды и донных отложений (с интервалом опробывания более 100 м) могут быть неспособными выявить даже такие мощные источники загрязнения речных экосистем.

Содержание тяжелых металлов в тканях исследованных моллюсков показало более сложную пространственную динамику. Интенсивное накопление Cd было характерно для брюхоногих моллюсков *L. stagnalis* как в фоновых условиях, так и в условиях загрязнения (рис. 1). Двустворчатые моллюски показали близкие уровни накопления. Поступление загрязненных стоков приводит к достоверному повышению содержания Cd в моллюсках *L. stagnalis* и *A. anatina* на участке, расположенном на расстоянии более 600 м ниже сброса. При этом максимум накопления регистрируется на удалении 100 м от устья р. Белоус. Повышенное содержание Cd в тканях моллюсков *U. tumidus* регистрируется на протяжении 12 км, достигая максимума на расстоянии 1,5 км.

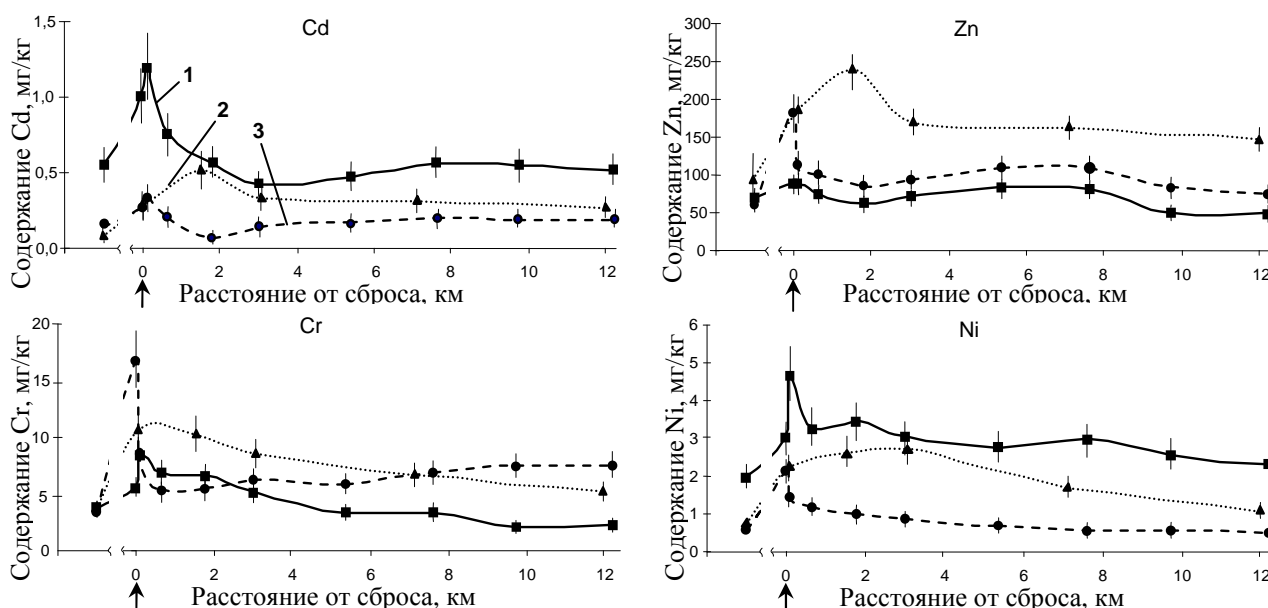


Рис. 1. Пространственная динамика накопления тяжелых металлов моллюсками *L. stagnalis* (1), *U. tumidus* (2) и *A. anatina* (3) в условиях поступления сточных вод (↑).

Подобная картина характерна для накопления Zn, когда повышенное содержание в тканях *U. tumidus* регистрируется на значительном удалении от источника загрязнения. В тоже время статистически значимое повышение концентрации металла в тканях *L. stagnalis* и *A. anatina* отмечено лишь в непосредственной близости от сброса очистных сооружений.

Максимальная концентрация Cr в тканях всех исследованных моллюсков отмечена на расстоянии 100 м от источника загрязнения. На нижележащих участках речного русла происходит быстрое снижение содержания металла, достигая уровней контрольного района. Только ткани *U. tumidus* показывают повышенное накопление Cr на расстоянии нескольких километров.

В отличие от рассмотренных выше металлов, повышенное накопление Ni в тканях всех исследованных моллюсков наблюдается на более значительном расстоянии. Так, *L. stagnalis* характеризуется статистически значимым ($p < 0,05$) превышением фонового уровня на расстоянии более 3 км. При этом максимум накопления отмечается на расстоянии 100 м от источника загрязнения. Моллюски *A. anatina* показывают максимальное содержание непосредственно в районе сброса очистных сооружений. Мягкие ткани *U. tumidus* характеризуются повышенной концентрацией на всем протяжении 3 км участка, лежащего ниже места впадения сточных вод.

Визуальное сравнение пространственного распределения содержания тяжелых металлов показывает, что, несмотря на высокие уровни аккумуляции загрязнителей в тканях *U. tumidus*, данный вид моллюсков характеризуется некоторым запаздыванием проявления максимальных уровней накопления. В результате повышение содержания металлов наблюдается на расстоянии 1,5-3,0 км от района поступления загрязненных стоков. Повышенное накопление металлов моллюсками *L. stagnalis* и *A. anatina* отмечено в непосредственной близости от источника загрязнения. Таким образом, данные виды моллюсков могут быть использованы для выявления мест скрытого поступления загрязненных стоков с точностью до 100 м.

Однако, несмотря на статистически значимое превышение фоновых уровней в районе поступления сточных вод, накопление тяжелых металлов данными видами моллюсков характеризуется различной контрастностью. Для количественной характеристики интенсивности накопления металлов моллюсками в районе поступления загрязнения по сравнению с контрольными участками использовали показатель контрастности K геохимических аномалий геохимических аномалий (1) (табл. 1).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в тканях моллюсков (мг/кг) в районе поступления сточных вод (C_{max}), в контрольных условиях ($C_{фон}$) и показатель контрастности накопления (K)

Вид	Cd			Zn			Cr			Ni		
	C_{max}	$C_{фон}$	K	C_{max}	$C_{фон}$	K	C_{max}	$C_{фон}$	K	C_{max}	$C_{фон}$	K
<i>L. stagnalis</i>	1,20	0,55	2,6	91	70	1,4	8,3	3,8	2,2	4,5	2,0	3,6
<i>A. anatina</i>	0,35	0,14	2,8	183	64	3,6	8,7	3,5	3,7	2,2	0,6	3,0
<i>U. tumidus</i>	0,52	0,09	3,1	237	94	3,0	10,7	3,8	2,3	2,7	0,8	2,4

В результате установлено, что моллюски *A. anatina* характеризуются наибольшей разрешающей способностью к выявлению источников поступления в водоем стоков, обогащенных Zn и Cr (см. табл. 1). Моллюски *L. stagnalis* контрастно выявляют районы повышенного накопления Ni. Загрязнение Cd вызывает наибольший отклик в накоплении данного элемента в тканях *U. tumidus*, хотя при этом абсолютные величины содержания металла невысоки.

Отмеченные отличия в особенностях накопления металлов близкими видами Unionidae, возможно, связаны с анатомо-физиологическими особенностями данных моллюсков.

Например, относительная масса жабр у представителей рода *Unio* составляет только 7,5% массы тела, в то время как моллюски рода *Anodonta* характеризуются наличием крупных жабр, масса которых достигает 26% общей массы тела [12]. Известно, что жабры являются важным органом поглощения тяжелых металлов как в растворенной форме [13], так и взвешенной формах [14].

Выводы

1. Использование параметров химического состава воды в районе поступления сточных вод г. Чернигова не позволяет сделать однозначный вывод о наличии загрязнения экосистемы р. Десны Cd, Cr и Ni.

2. Донные отложения значительно обогащены тяжелыми металлами непосредственно в районе разгрузки сточных вод. На расстоянии 100 м наблюдается снижение содержания кислоторастворимой фракции тяжелых металлов до величины фоновое уровня.

3. Наибольшей разрешающей способностью к выявлению участков поступления загрязнения обладают моллюски, причем разные виды показывают различные индикаторные свойства: *A. anatina* контрастно выявляют Zn и Cr, *L. stagnalis* – Ni. Несмотря на высокие уровни аккумуляции металлов, моллюски *U. tumidus* характеризуется запаздыванием проявления максимальных уровней накопления, которые регистрируются на удалении до 3 км ниже расположения источника загрязнения.

Список литературы

1. Бессонов О. А. Биогеохимический цикл тяжелых металлов в экосистеме Нижнего Дона / О. А. Бессонов, С. Л. Белова, Д. И. Водолазкин. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1991. – 112 с.
2. Микроэлементы в природных водах и атмосфере // Тр. Ин-та экспериментальной метеорологии. – 1974. – Т. 2. – 183 с.
3. Минеев В. Г. Практикум по агрохимии / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, О. А. Амелянчик и др. – М.: Из-во МГУ, 2001. – 689 с.
4. Романенко В. Д. Идентификация и оценка "горячих точек" в бассейне Днепра на территории Украины / В. Д. Романенко, С. А. Афанасьев, О. Г. Васенко и др. / Под ред. А. А. Галяпы. – К.: "ПолиграфКонсалтинг", 2004. – 282 с.
5. Саэт Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
6. Хмелевской В. К. Геофизические методы исследования земной коры / В. К. Хмелевской / Дубна: Международный университет природы, общества и человека. – Дубна, 1997. – Кн. 1. – 276 с.
7. ASTM American Society for Testing and Materials. Standard guide for conducting in situ field bioassays with caged bivalves // Annual book of standards. – ASTM, Philadelphia. – 2003. – V. 11.05. – 212 p.
8. Conti M. E. A statistical approach applied to trace metal data from biomonitoring studies / M. E. Conti, M. Iacobucci, G. Cecchetti // Int. J. Environment and Pollution. – 2005. – V. 23, N. 1. – P. 29–41.
9. Farris J. L. Freshwater bivalve ecotoxicology / J. L. Farris, van J. H. Hassel (ed.). – Pensacola, SETAC Press, 2006. – 375 p.
10. Goldberg E. D. The mussel watch – first step in global marine monitoring / E. D. Goldberg // Mar. Pollut. Bull. – 1975. – V. 5. – P. 111–121.
11. Jamil A. Mussels as bioindicators of trace metal pollution in the Danube delta of Romania / A. Jamil, K. Lajtha, S. Radan et al. // Hydrobiol. – 1999. – V. 392. – P. 143–158.
12. Hemelraad J. Cadmium kinetics in freshwater clams. II A comparative study of cadmium uptake and cellular distribution in the *Anodonta cygnea*, *Anodonta anatina* and *Unio pictorum* / J. Hemelraad, D. A. Holwerda, K. J. Teards et al. // Arch. Environ. Contam. Toxicol. – 1986. – 15. – P. 9–21.

13. *Holwerda D. A.* Cadmium kinetics in freshwater clams. Uptake of cadmium by the excised gill of *Anodonta anatine* / D. A. Holwerda, J. D. Knecht, J. Hemelraad, P. R. Veenhof // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 1989. – V. 42. – P. 382–388.

14. *Otchere F. A.* Heavy metal concentrations and burden in the bivalves (*Anadara (Senilia) senilis*, *Crassostrea tulipa* and *Perna perna*) from lagoons in Ghana: Model to describe mechanism of accumulation/excretion / F. A. Otchere // Afr. J. Biotechnol. – 2003. – V. 2, № 9. – P. 280–287.

15. ICES Report of the ICES Advisory Commmittee on the Marine Environment. – Denmark, Copenhagen. – 2004. – V. 1, N 1. – 283 p.

16. *V.-Balogh K.* Heavy metal concentrations of *Lymnaea stagnalis* L. in the environs of Lake Balaton / K. V.-Balogh, D. S. Fernandez, J. Salanki // Water research. – 1988. – V. 22, N 10. – P. 1205–1210.

Лукашов Д. В. Індикаторне значення прісноводних молюсків при виявленні джерела забруднення річкової екосистеми важкими металами. – Досліджено накопичення Cd, Zn, Cr и Ni в м'яких тканинах молюсків *Lymnaea stagnalis*, *Anodonta anatina* та *Unio tumidus* у районі надходження стічних вод очисних споруд м. Чернігова до р. Десни. Розраховано показник контрастності накопичення металів молюсками в умовах забрудненого району в порівнянні з фоновою ділянкою річкового русла. Встановлено, що молюски *L. stagnalis* найбільш чітко виявляють наявність забруднення Ni, *A. anatina* – Zn та Cr.

Ключевые слова: пресноводные моллюски, тяжелые металлы, биоконцентраторы, мониторинг.

Lukashov D. V. The freshwater mollusks indicator ability for revealing of the heavy metals pollution source of river ecosystem. – The Cd, Zn, Cr and Ni accumulation in *Lymnaea stagnalis*, *Anodonta anatina* and *Unio tumidus* mollusks soft tissues was explored in sewage outflow area of municipal wastewater treatment plant of Chernigov city in Desna river. The contrasting factor of metals accumulation by mollusks in polluted area was calculated in comparison with background area of the river. It is shown that *L. stagnalis* most clearly reveals contamination by Ni, *A. anatina* – by Zn and Cr.

Key words: freshwater mollusk, heavy metals, bioconcentration, monitoring.