

УДК 502.53:574.58;504.45 + 594

Д. В. Лукашев

**НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
МОЛЛЮСКАМИ *LYMNAEA STAGNALIS* КАК  
ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ**

Предложено использовать содержание тяжелых металлов в организме моллюсков как маркер их биологической доступности и показатель химического загрязнения гидроэкосистем. Количественным критерием степени загрязнения может служить значение верхнего фонового содержания металлов в организме, которое отражает их избыточное поступление. Для исследования загрязнения малых водоемов использован широко распространенный вид брюхоногих моллюсков прудовик обыкновенный *Lymnaea stagnalis* L. Показано, что в водоемах западной и восточной Украины содержание Cd, Cu и Cr в мягких тканях моллюсков превышает фоновое.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, химическое загрязнение, критерии загрязнения, водные экосистемы, моллюски.

Моллюски являются широко распространенной, часто доминирующей группой гидробионтов в пресноводных экосистемах. Их биомасса может достигать 70% общей биомассы беспозвоночных в гидроэкосистемах [13] и десятков килограммов на 1 м<sup>2</sup> [1]. Это обуславливает заметное участие этой группы в потоках вещества и энергии в водных экосистемах, в том числе в миграции и депонировании химических элементов. Благодаря этому, а также особенностям минерального обмена моллюски способны накапливать в своих органах и тканях широкий спектр веществ как естественного, так и искусственного происхождения [2, 9]. Эта способность привела к их широкому использованию как аккумуляторов загрязнителей при проведении экологического мониторинга загрязнения водоемов [2].

В то же время анализ нормативной базы Украины и других стран Европы показал, что, несмотря на значительный накопленный объем информации, использование моллюсков и других гидробионтов — аккумуляторов загрязнителей с целью экологического нормирования воздействия на экосистемы носит скорее декларативный характер и не получило распространения из-за отсутствия должного научно-методического обоснования. Представленной работой мы продолжаем ряд исследований, посвященных изучению фонового содержания тяжелых металлов в организме моллюсков как критерия загрязнения водных экосистем [5, 11]. Было показано, что превышение расчетного фонового содержания тяжелых металлов в мягких тканях двуствор-

© Д. В. Лукашев, 2015

чатых моллюсков позволяет провести количественную оценку степени загрязнения отдельных участков речных экосистем. Однако предложенный подход не может быть применен для небольших непроточных водоемов, в фауне которых двусторчатые моллюски часто отсутствуют. В настоящей работе сделана попытка расчета фонового содержания тяжелых металлов в организме моллюсков, распространенных в водоемах различных типов, и проведена оценка их загрязненности тяжелыми металлами (в масштабах Украины).

**Материал и методика исследований.** Объектом исследований был выбран прудовик обыкновенный *Lymnaea stagnalis* L. как представитель пресноводных брюхоногих моллюсков, распространенных в водоемах различных типов в умеренной зоне Северного полушария. В июле — августе 2005—2011 гг. было проанализировано 1287 экземпляров моллюсков из 208 водоемов на территории Украины: 144 прудов, 43 малых рек, 14 озер и 7 каналов. Содержание тяжелых металлов определяли в мягких тканях без предварительного очищения. Кроме того, анализировали химический состав верхнего слоя (5 см) донных отложений и воды указанных водоемов. В представленной работе приведены данные о валовом содержании Cu, Cd и Cr, для определения которого использовали атомно-абсорбционный спектрофотометр С115-М1 (SELMi, Украина) в режиме пламени ацетилен-воздух с дейтериевым корректором неселективного поглощения. Регистрацию аналитического сигнала проводили при помощи компьютерно-аналитического комплекса КАС-101. Содержание тяжелых металлов рассчитывали в миллиграммах на 1 кг массы воздушно-сухого вещества (95°) или в микрограммах на 1 л воды.

### Результаты исследований и их обсуждение

Исследованные водоемы характеризовались значительной вариабельностью концентрации исследованных металлов в воде, что объясняется разнообразием природных условий и степенью антропогенного изменения ландшафта, в котором они расположены. Концентрация Cd в воде колебалась в диапазоне 0,01—0,78 мкг/л (в среднем была равна  $0,07 \pm 0,04$  мкг/л). Превышение ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>вр</sub>, 0,78 мкг/дм<sup>3</sup>) было отмечено единожды в пойменном водоеме в Черкасской обл. в районе г. Канева. Концентрация валового Cr в исследованных водоемах находилась в пределах 0,4—9,8 мкг/л (в среднем  $1,5 \pm 1,0$  мкг/л). Единственным водоемом, в котором была превышена ПДК<sub>вр</sub> (5 мкг/дм<sup>3</sup>), оказался пруд в г. Самбор (Львовская обл.). Следует отметить, что повышенное содержание этого металла было в водоемах, водосборные территории которых характеризуются почвами, обогащенными Cr [7]. Концентрация Cu была в пределах 0,4—2,4 мкг/л (в среднем  $0,77 \pm 0,49$  мкг/л). Превышение ПДК<sub>вр</sub> для Cu (1 мкг/дм<sup>3</sup>) отмечено в семи водоемах. Таким образом, достаточно жесткие нормативы ПДК<sub>вр</sub> были превышены в ограниченном количестве водных объектов, что не может отражать реальную экологическую ситуацию и служить адекватным показателем загрязнения водной среды.

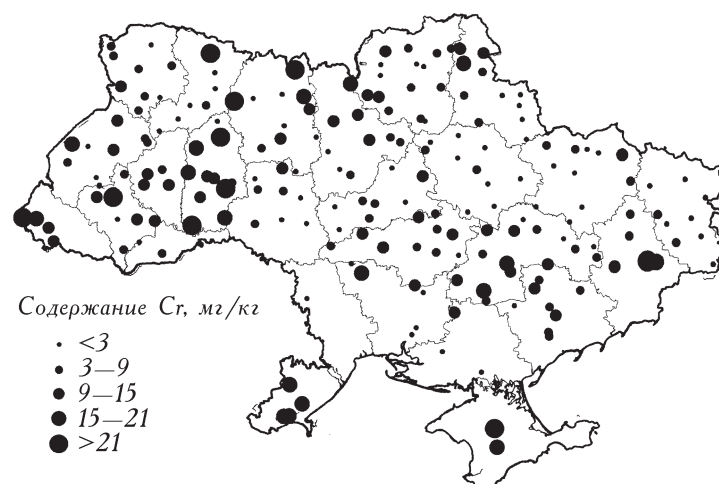
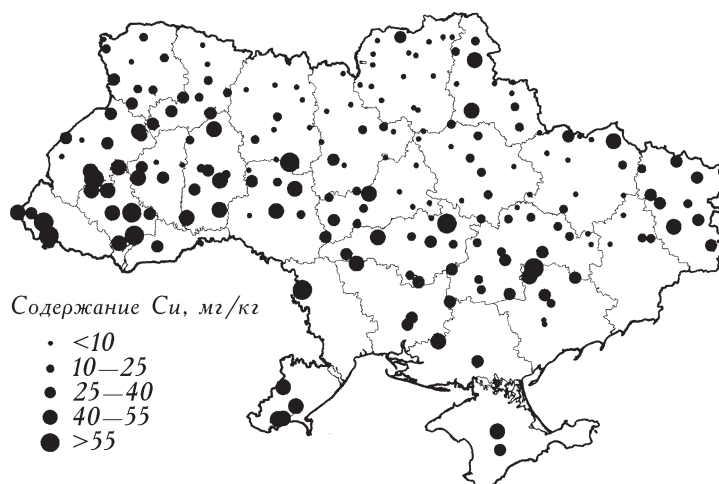
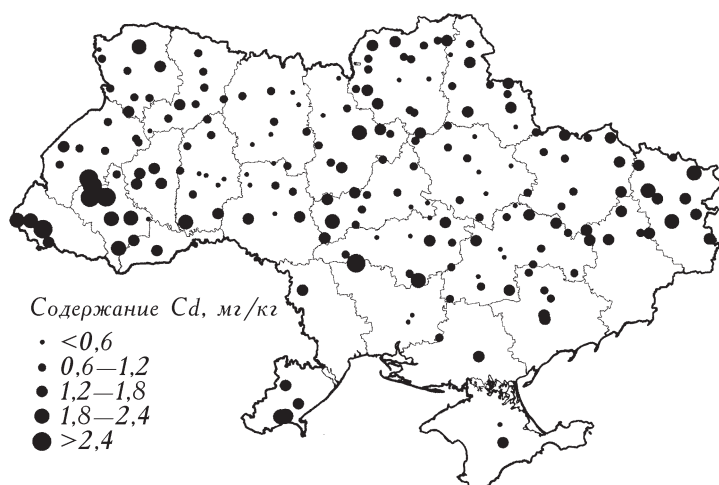
Содержание Cd в донных отложениях большинства исследованных водоемов не превышало аналитической чувствительности метода

(< 0,01 мг/кг). Достаточно высокое его содержание было зарегистрировано лишь в трех водоемах:  $0,29 \pm 0,05$  мг/кг в пруде г. Долина (Ивано-Франковская обл.),  $0,46 \pm 0,11$  мг/кг в пруде (затопленный карьер) с. Первомайского (Житомирская обл.) и  $0,94 \pm 0,08$  мг/кг в пруде с. Городница (Житомирская обл.). Содержание Сг в донных отложениях изменялось в широких пределах — 3,2—63,3 мг/кг (составляя в среднем  $22,5 \pm 11,8$  мг/кг). Пространственное распределение Сг в донных отложениях водоемов аналогично его распределению в почвах, что может отражать общие геохимические процессы их формирования и быть результатом поверхностного стока с водосборного бассейна. Так, наиболее обогащенные Сг донные отложения были отмечены в водоемах, содержание металлов в почвах водосборной территории которых превышало 50 мг/кг [7]. Пределы колебаний содержания Си составили 0,3—41,6 мг/кг (в среднем  $7,7 \pm 4,8$  мг/кг). Максимальные значения были зарегистрированы в водоемах Днепропетровской обл. (36—42 мг/кг) и Прикарпатья (20—31 мг/кг). Следует отметить, что эти регионы характеризуются повышенным содержанием Си в пахотных почвах [7]. Содержание Сd в мягких тканях моллюсков *L. stagnalis* из исследованных водоемов колебалось в диапазоне 0,08—3,02 мг/кг, хотя в большинстве случаев оно не превышало 0,2 мг/кг (рис. 1). Содержание Си находилось в пределах 2—70, а Сг — 1,1—27,1 мг/кг.

С использованием метода расчета фонового содержания тяжелых металлов, основанного на определении абсолютного отклонения медианы его значения [5, 12], были определены базовые уровни их накопления в организме прудовиков из водоемов Украины (таблица).

В результате исследований были установлены районы, где содержание металлов в моллюсках существенно превышает предельный фоновый уровень (см. рис. 1). Такими оказались территории Прикарпатья и Закарпатья, где моллюски накапливали Сd в количестве, превышающем верхний фоновый предел в 1,3—3,4 раза. Высокий уровень его накопления также определен в ряде водоемов Луганской, Харьковской и Николаевской областей, где мягкие ткани моллюсков содержали металла в 1,1—2,6 раза выше предельного фонового уровня. Непосредственной связи с содержанием металла в воде и донных отложениях не обнаружено (коэффициент корреляции Спирмена  $r_s = 0,36$ ,  $p > 0,05$ ), однако установлено, что географическое распределение содержания Сd в моллюсках соответствует обобщенным данным по степени загрязненности поверхностных вод (индекс суммарного загрязнения) и распределению плотности населения Украины [3].

Сравнение степени накопления Си моллюсками с расчетными фоновыми значениями показало, что содержание металла в водоемах Закарпатской, Ивано-Франковской и Львовской областей повышено в 1,1—3,0 раза. Достаточно высокое накопление металла отмечено также в водоемах Винницкой и Хмельницкой областей, по мере продвижения к юго-востоку Украины содержание Си постепенно снижается. Как и при распределении Сd, степень накопления Си хорошо согласуется с пространственным распределением степени загрязненности поверхностных вод и плотности населения на территории Украины.



1. Содержание тяжелых металлов в мягких тканях моллюска *L. stagnalis* в малых водоемах Украины.

**Расчетное фоновое содержание тяжелых металлов (мг/кг) в мягких тканях моллюсков *L. stagnalis* из малых водоемов Украины**

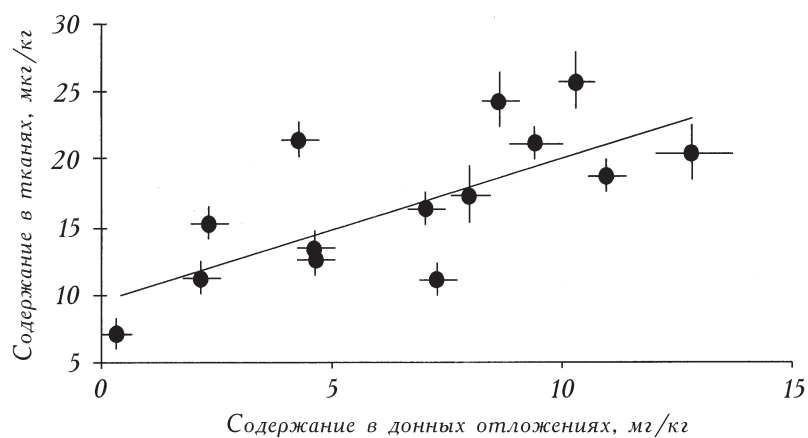
Металлы	Среднее фоновое содержание	Нижний предел фона	Верхний предел фона
Cd	0,5	0,3	0,9
Cu	11,8	4,7	22,5
Cr	3,5	1,6	6,7

Брюхоногие моллюски характеризуются более высоким содержанием Cu, чем двустворчатые, ввиду наличия в их гемолимфе медьсодержащих дыхательных пигментов. Было показано [10], что содержание Cu в тканях прудовика зависит от его содержания в тонкой фракции донных отложений. Известно, что в условиях малопроточных водоемов, где концентрация кислорода в воде низкая, *L. stagnalis* накапливает Cu более интенсивно, чем в условиях водотоков [4].

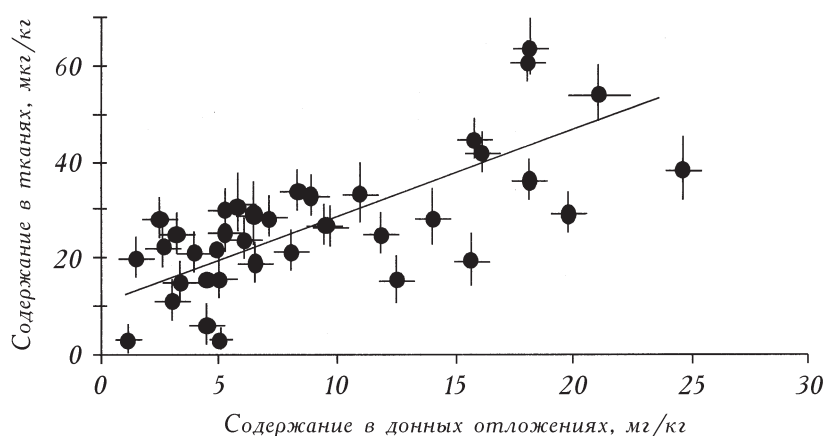
В малых реках отмечено влияние химического состава донных отложений на накопление Cu в тканях *L. stagnalis* (рис. 2), коэффициент корреляции составил  $r_s = 0,83$  ( $p < 0,05$ ). В то же время выраженной зависимости между накоплением моллюсками и содержанием металла в донных отложениях прудов и озер обнаружено не было ( $r_s = 0,35$ ,  $p > 0,05$ ). Можно предположить, что в условиях малопроточных водоемов при дефиците растворенного кислорода содержание Cu скорее отражает присутствие дыхательного пигмента в гемолимфе, накопление металла строго регламентируется организмом в условиях как его недостатка, так и избытка в окружающей среде. В речных экосистемах, где дефицит растворенного кислорода встречается реже, содержание дыхательного пигмента, а соответственно и Cu, регулируется организмом слабее. Подтверждением этого является тот факт, что коэффициент вариации содержания Cu в речных экосистемах составляет 47,3%, а в малопроточных — 21,2%.

Среднее фоновое содержание Cr составляло 3,5 мг/кг при верхнем пределе фона 6,7 мг/кг (см. таблицу). Как и ожидалось, высокое содержание было характерно для моллюсков из водоемов западных областей Украины (Закарпатской, Львовской, Ивано-Франковской, Хмельницкой), где верхний фоновый предел был превышен в 1,2—3,4 раза. Выраженное превышение (в 1,6—4,1 раза) было отмечено также в ряде водоемов на юге Украины. В указанных районах существуют геохимические аномалии содержания Cr как природного, так и антропогенного происхождения [3].

Накопление Cr в тканях *L. stagnalis* из всех исследованных водоемов не зависело от химического состава воды. Однако в малопроточных экосистемах (пруды, озера) отмечена статистически достоверная связь между его содержанием в моллюсках и донных отложениях (рис. 3), коэффициент корреляции Спирмена составил  $r_s = 0,68$  ( $p < 0,05$ ). В экосистемах малых рек и водотоков эта связь не обнаружена,  $r_s = 0,27$  ( $p > 0,05$ ). Возможно, это связано с тем, что Cr практически не усваивается в пищеварительной системе моллюсков [8]. Спектр их питания в речных и прудовых экосистемах может



2. Зависимость содержания Cu в тканях моллюсков *L. stagnalis* от ее содержания в донных отложениях малых рек Украины.



3. Зависимость содержания Cd в тканях моллюсков *L. stagnalis* от его содержания в донных отложениях малопотоковых водоемов.

различаться, в речных экосистемах в их кишечнике чаще встречаются минеральные частицы донных отложений, тогда как в озерах и прудах преобладают растительные остатки [6].

Таким образом, содержание тяжелых металлов в организме моллюсков *L. stagnalis* может служить маркером их биологической доступности в гидроекосистеме, которая, в свою очередь, зависит от многих факторов. Например, на степень усвояемости металлов влияют химический состав донных отложений, особенности их перераспределения между компонентами гидроекосистемы, антропогенное загрязнение водоемов. Применение расчетного верхнего фонового уровня накопления тяжелых металлов в орга-

низме моллюсков *L. stagnalis* позволило количественно дифференцировать водоемы по степени их накопления. Превышение верхнего фонового содержания металлов в организме прудовиков свидетельствует об их избыточном поступлении в организм.

### Заключение

Максимальные уровни накопления Cd в организме *L. stagnalis* зарегистрированы в водоемах Закарпатья, Прикарпатья и восточных областей Украины. Фоновое содержание Cu и Cr было превышено в моллюсках из водоемов западных областей Украины. Эти регионы характеризуются высокой степенью загрязненности поверхностных вод (индекс суммарного загрязнения), значительной плотностью населения, наличием природных и антропогенных геохимических аномалий. Степень накопления Cu и Cr моллюсками в ряде случаев зависит от их концентрации в донных отложениях, что может отражать депонирующую роль последних в гидрозкосистеме.

\*\*

*Запропоновано використовувати вміст важких металів у організмі моллюсків як маркер їх біологічної доступності та хімічного забруднення гідроекосистем. Кількісним критерієм ступеня забруднення можна вважати верхній фоновий рівень вмісту металів у організмі ставковиків, який відображає їх надлишкове надходження. З метою дослідження забруднення малих водойм було використано поширений вид черевоногих моллюсків *Lymnaea stagnalis* L. Показано, що в умовах водойм західних та східних регіонів України перевищення фонового вмісту Cd, Cu та Cr у м'яких тканинах моллюсків може свідчити про надлишкове їх надходження до організму.*

\*\*

*The content of heavy metals in mollusks body was suggested to be used as a marker of their biological availability and as a parameter of chemical pollution of water ecosystems. As a quantitative criterion of pollution the degree of the upper background concentration of metals uptake by snail was used. The value of this parameter reflects excess enter of metal into the snail organism. Pond snail *Lymnaea stagnalis* L., common species of freshwater gastropods, was used for investigation of the small water bodies pollution. In the water bodies of western and eastern regions of Ukraine background concentrations of Cd, Cu and Cr in the soft tissues of the snail were exceeded, which may indicate their excessive entry into the organisms.*

\*\*

1. Афанасьев С.А., Протасов А.А. Особенности популяции дрейссены в перифитоне водоема-охладителя АЭС // Гидробиол. журн. — 1987. — Т. 23, № 6. — С. 44—51.
2. Брень Н.В. Биологический мониторинг и общие закономерности накопления тяжелых металлов пресноводными донными беспозвоночными // Там же. — 2008. — Т. 44, № 2. — С. 96—115.
3. Екологічний атлас України / Наук. ред. В. А. Барановський — К.: Географіка, 2000. — 40 с.

4. Киричук Г.Е., Стагниченко А.П. Трематодная инвазия и накопление тяжелых металлов моллюском *Colletopterum ponderosum* // Паразитология. — 2004. — Т. 38, № 4. — С. 359—365.
5. Лукашев Д.В. Оценка полиметаллического загрязнения р. Днепр методом расчета фоновое содержания тяжелых металлов в моллюсках *Dreissena bugensis* // Гидробиол. журн. — 2007. — Т. 43, № 6. — С. 65—80.
6. Лукашов Д.В. Вплив деяких екологічних факторів на рівні накопичення важких металів моллюсками *Lymnaea stagnalis* // Вісн. Київ. ун-ту ім. Т. Шевченка. Біологія. — 2008. — Вип. 52. — С. 27—28.
7. Фатсєв А.І., Пащенко Я.В. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. — Харків: ННЦ, 2003. — 118 с.
8. Croteau M.N., Luoma S.N., Pellet B. Determining metal assimilation efficiency in aquatic invertebrates using enriched stable metal isotope traces // Aquatic toxicol. — 2007. — Vol. 83. — P. 116—125.
9. Farris J.L., Van Hassel J.H. Freshwater bivalve ecotoxicology. — Boca Roca: CRC press, 2006. — 375 p.
10. Gundacker C. Comparison of heavy metal bioaccumulation in freshwater molluscs of urban river habitats in Vienna // Environ. Poll. — 2000. — Vol. 110. — P. 61—71.
11. Lukashov D. V. Background content of heavy metals in bivalvia of the Ukrainian section of the Desna River // Hydrobiol. Journ. — 2011. — Vol. 47, N 5. — P. 43—55.
12. Reimann C. Filzmoser P., Garrett R. Background and threshold: critical comparison of methods of determination // Sci. Total Environ. — 2005. — Vol. 346. — P. 1—16.
13. Strayer D.L. Sprague S.J., Claypool S. A range-wide assessment of population of *Alasmodontia heterodonta*, an endangered freshwater mussel (Bivalvia, Unionidae) // J. N. Am. Benthol. Soc. — 1996. — Vol. 15, N 3. — P. 308—317.

Київський національний університет  
ім. Тараса Шевченка

Поступила 17.06.14