

УДК: 504.064:594.141

## Особенности сезонной динамики накопления цинка моллюсками р. Днепр в районе г. Киева Д.В.Лукашев

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко (Киев, Украина)*

Исследована сезонная динамика изменения валового содержания цинка в мягких тканях и раковинах моллюсков *Dreissena bugensis* и *Theodoxus fluviatilis* из р. Днепр в центре Киева. Показана значительная вариабельность химического состава мягких тканей моллюсков. Максимальная концентрация цинка в мягких тканях и раковинах была отмечена в зимний период, минимальная – в конце лета – начале осени. Показана положительная зависимость между концентрацией цинка в воде и его содержанием в мягких тканях и раковинах обоих видов моллюсков. При использовании моллюсков в биомониторинге загрязнения тяжелыми металлами необходимо учитывать сезонные колебания химического состава их раковин и тканей.

**Ключевые слова:** цинк, биомониторинг, сезонная динамика, моллюски.

## Особливості сезонної динаміки накопичення цинку молюсками р. Дніпро у районі м. Києва Д.В.Лукашов

Досліджено сезонну динаміку змін валового вмісту цинку в м'яких тканинах та черепашках молюсків *Dreissena bugensis* та *Theodoxus fluviatilis* з р. Дніпро у центрі Києва. Показано значну мінливість хімічного складу м'яких тканин молюсків. Максимальну концентрацію цинку у тканинах та черепашках було відмічено в зимовий період, мінімальну – в кінці літа – на початку осені. Показано позитивну залежність між концентрацією цинку у воді та його вмістом у м'яких тканинах і черепашках обох видів молюсків. При використанні молюсків у біомоніторингу забруднення важкими металами необхідно враховувати сезонні коливання хімічного складу їх черепашок і тканин.

**Ключові слова:** цинк, біомоніторинг, сезонна динаміка, молюски.

## Peculiarities of seasonal dynamics of zinc accumulation by mollusks from Dnieper near Kiev city D.V.Lukashev

The seasonal dynamics of change of bulk zinc concentration in soft tissues and shells of *Dreissena bugensis* and *Theodoxus fluviatilis* mollusks from Dnieper river in center of Kiev city was investigated. The significant annual variability of chemical content of mollusks' soft tissues was shown. Maximal concentration of zinc in soft tissues and shells was detected in winter season; minimal concentration was detected in the period from the end of summer to beginning of autumn. Zinc content in mollusks' tissues and shells depends on zinc concentration in water. Therefore seasonal variability of heavy metals concentration in mollusks is to be considered when comparative assessments are carried out.

**Key words:** zinc, biomonitoring, seasonal dynamics, mollusks.

### Введение

При проведении исследований загрязнения пресноводных экосистем в качестве организмов-мониторов широко используются моллюски благодаря способности накапливать значительные концентрации тяжелых металлов в своих органах и тканях (Bervoets et al., 2004; Boening, 1999; Markich et al., 2002). Основным условием успешного применения таких организмов-биомониторов является зависимость их химического состава от состава окружающей среды. При этом они должны отражать как пространственные, так и временные изменения концентрации загрязнителей в среде (Kwan et al., 2003). Однако, несмотря на многочисленные примеры успешного использования для этой цели моллюсков, в последнее время все чаще появляются критические работы, в которых показаны ограничения применения гидробионтов для целей биологического мониторинга (Leung et al., 2001; Metcalfe-Smith et al., 1996; Wiesner et al., 2001). Невьясненной остается сезонная динамика содержания тяжелых металлов в различных частях тела моллюсков, что не позволяет проводить сравнительный анализ результатов, полученных в различные сезоны года. Например, ранее нами

было показано, что концентрация марганца в отдельных годовых приростах раковин некоторых моллюсков в условиях естественных незагрязненных водоемов закономерно повышается в летний период (Лукашев, 2007).

В представленной работе приведены результаты анализа сезонной динамики валового содержания цинка в мягких тканях и раковинах двух видов пресноводных моллюсков – *Dreissena bugensis* Andr. и *Theodoxus fluviatilis* L. из р. Днепр в условиях крупного города. При совместном обитании в условиях одного биотопа данные виды относятся к различным как систематическим группам (*Dr. bugensis* – Bivalvia; *Th. fluviatilis* – Gastropoda), так и к экологическим группам (*Dr. bugensis* – фильтратор; *Th. fluviatilis* – собиратель).

#### Материал и методика исследований

Моллюсков собирали в течение 2004–2006 гг. в р. Днепр в районе Речного вокзала (центр г. Киева). Выбор данного места отбора обусловлен тем, что на данном участке русла в зимний период не образуется устойчивого ледяного покрова. Пробы моллюсков отбирали с поверхности гранитной облицовки берега с помощью ручного скребка (глубина 1,5 м) один раз в месяц в период с февраля 2004 г. по апрель 2006 г. Каждый месяц отбирали 3–4 выборки *D. bugensis* – по 60–120 экз.; *Th. fluviatilis* – 3 выборки по 10–15 экз. Для исследования использовали моллюсков стандартных размеров: *D. bugensis* – 15–25 мм, *Th. fluviatilis* – 8–10 мм. Живых моллюсков тщательно промывали проточной водой и замораживали. В 2005–2006 гг. ежемесячно в том же месте отбирали две пробы воды в пластмассовые емкости по 2 литра каждая. Воду немедленно фильтровали через бумажный фильтр (синяя лента) и консервировали 4 мл концентрированной азотной кислоты.

Содержание цинка определяли в целых особях *Th. fluviatilis* и отдельно в мягких тканях и раковинах моллюсков при помощи пламенного атомно-адсорбционного спектрофотометра С115-М1 (ацетилен-воздух) с использованием дейтерицевого корректора фона (Ермаченко, 1997).

Достоверность отличий содержания цинка в отдельных пробах оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA,  $p < 0,05$ ) (Рокицкий, 1973). Влияние концентрации цинка в воде на уровни накопления моллюсками оценивали методами корреляционного и регрессионного анализов. Вся статистическая обработка проведена с использованием статистического программного пакета Statistica 5.5 StatSoft, Inc. (1999) (Реброва, 2002).

Для характеристики репродуктивного состояния моллюсков исследовали временные препараты неокрашенного мазка половых желез 15 самок из каждой выборки замороженных моллюсков согласно методике (Гальперина, Львова-Качанова, 1972).

#### Результаты и обсуждение

Анализ динамики валового содержания цинка в воде р. Днепр в исследованном районе показал значительные сезонные колебания (табл. 1). Максимальные значения были характерны для проб воды, отобранных в январе-феврале (57,0 и 19,9 мкг/л соответственно). В марте-апреле происходило резкое снижение концентрации данного металла в воде до 2,9–3,9 мкг/л. В период паводка валовое содержание цинка возрастало до 12,0 мкг/л, а затем в летние месяцы постепенно снижалось, достигая минимума в августе (2,8 мкг/л). В последующий осенне-зимний период наблюдали постепенное увеличение содержания цинка в воде до максимальных уровней.

Дисперсионный анализ (ANOVA,  $p < 0,05$ ) уровней накопления цинка исследованными моллюсками показал достоверное влияние сезона на величину содержания валового цинка в мягких тканях (табл. 1). Концентрация цинка в моллюсках *Dr. bugensis* на протяжении года изменялась более чем в 2 раза (126,8 мг/кг в январе – 61,2 мг/кг в июле). При этом концентрация металла в тканях дрейссены монотонно снижалась в период с января по июль, после чего происходило ее постепенное повышение. Валовое содержание цинка в *Th. fluviatilis*, подобно мягким тканям дрейссены, понижалось в период с января по август, после чего постепенно возрастало, достигая максимума в декабре. На протяжении года концентрация цинка изменялась более чем в 1,6 (от 18,1 мг/кг в январе – до 10,7 мг/кг в августе).

Для сезонной динамики содержания цинка в раковинах и мягких тканях *Dr. bugensis* была отмечена определенная синхронность. Однако изменение концентрации цинка в раковинах в период с января по март характеризовалось более резким снижением (>2 раза), чем в мягких тканях (>1,2 раза). После чего в мае отмечено незначительное повышение валовой концентрации цинка в раковинах с последующим монотонным снижением и стабилизацией в осенний период. На протяжении года содержание металла в раковинах изменяется более чем в 4,4 раза (19,4 мг/кг в январе – 4,4 мг/кг в ноябре).

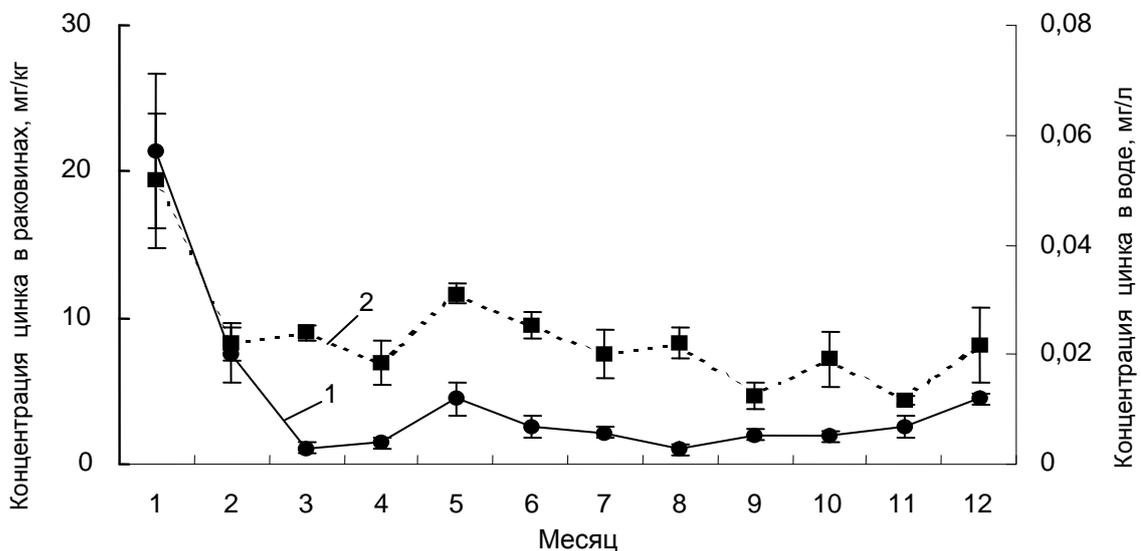
Анализ изменчивости показателей накопления данного химического элемента в моллюсках р. Днепр показал, что наибольшая вариабельность была характерна для химического состава

раковин *Dr. bugensis* – коэффициент вариации составил 44%. Изменчивость содержания цинка в *Th. fluviatilis* и мягких тканях *Dr. bugensis* была незначительна и составляла 16% и 24% соответственно.

**Таблица 1.**  
**Сезонная динамика валовой концентрации цинка в воде (мг/л) и моллюсках (мг/кг) из р. Днепр (2004–2006 гг.)**

Месяц	Вода	<i>Dreissena bugensis</i>		<i>Theodoxus fluviatilis</i>
		Мягкие ткани	Раковины	
1	0,057±0,014	126,8±7,1	19,4±4,6	18,1±2,3
2	0,020±0,005	114,2±10,3	8,3±1,2	15,2±1,1
3	0,003±0,001	102,1±4,0	9,0±0,5	16,7±1,2
4	0,003±0,001	104,4±10,1	6,9±1,5	14,6±1,7
5	0,012±0,003	86,0±5,2	11,7±0,6	16,4±1,3
6	0,007±0,002	77,2±4,8	9,5±0,9	15,5±1,4
7	0,006±0,001	61,2±4,8	7,5±1,6	12,5±1,3
8	0,003±0,001	70,3±2,5	8,3±1,1	10,7±2,5
9	0,005±0,001	66,1±3,9	4,7±0,9	13,0±2,0
10	0,005±0,001	72,1±7,1	7,2±1,9	13,7±1,9
11	0,007±0,002	77,6±0,6	4,4±0,3	12,5±1,6
12	0,004±0,001	87,4±2,8	8,2±2,6	18,2±1,8

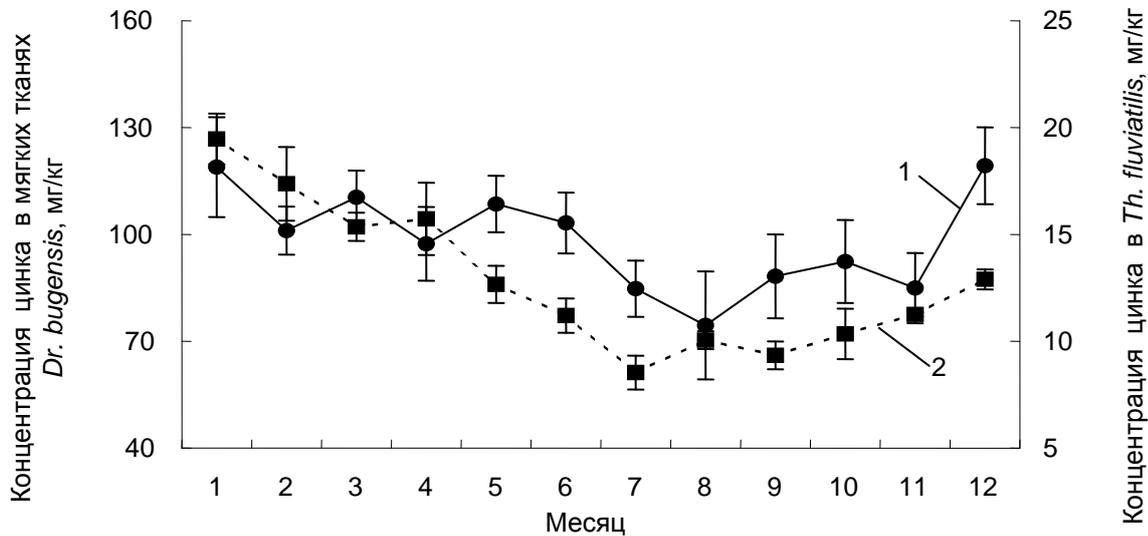
Сопоставление уровней накоплений цинка и его концентрации в воде показало, что наиболее тесная связь характерна для валового содержания металла в раковинах *Dr. bugensis* (рис. 1). Коэффициент корреляции Пирсона составил +0,87 ( $p < 0,05$ ). В то же время валовое содержание цинка в *Th. fluviatilis* и мягких тканях *Dr. bugensis* зависело от его концентрации в воде значительно слабее (коэффициент корреляции соответственно +0,55 и +0,70). При этом динамика накопления металла в *Th. fluviatilis* была подобна таковой в мягких тканях *Dr. bugensis* (рис. 2).



**Рис. 1.** Сезонная динамика валового содержания цинка в воде (1) и раковинах *Dr. bugensis* (2)

Сравнение полученных результатов с данными других авторов показало, что подобная сезонная динамика была характерна для накопления цинка в мягких тканях *Dr. polymorpha* из р. Св. Лаврентия (США) (Kwan et al., 2003). Кроме того, максимальные показатели накопления данного химического элемента тканями *Mytilus edulis* (Тихоокеанское побережье США) были

отмечены поздней зимой – ранней весной (Latouche, Mix, 1981). Максимальные значения содержания цинка в тканях *Donax truncatulus* (Средиземное море, Алжир) (Beldi et al., 2006) и *Perna perna* (Атлантический океан, Бразилия) (Ferreira et al., 2004) были установлены также в зимний период.



**Рис. 2. Сезонная динамика валового содержания цинка в *Th. fluviatilis* (1) и мягких тканях *Dr. bugensis* (2)**

Сезонная изменчивость содержания цинка в составе мягких тканей моллюсков может быть следствием нескольких причин. Во-первых, сезонные изменения валового содержания цинка могут зависеть от химического состава воды в течение года. Во-вторых, вариабельность содержания отдельных элементов может отражать физиологические изменения в организме моллюсков (размножение, изменение спектра питания, анабиоз).

Отмеченные высокие показатели корреляции, на первый взгляд, свидетельствуют о влиянии содержания цинка в воде на процессы его накопления в тканях моллюсков. Однако, многочисленными исследованиями показано, что в большинстве случаев наблюдается несоответствие величины концентрации тяжелых металлов в тканях моллюсков с их содержанием в воде (Boening, 1999; Leung, Furness, 1999). Как было показано в эксперименте с мечеными атомами, накопление растворенных форм тяжелых металлов в тканях дрейссены зависит от соотношения органических и неорганических лигандов в воде, которое характеризуется значительными колебаниями во времени и пространстве (Roditi, Fisher, 1999). Слабая зависимость между содержанием тяжелых металлов в тканях *Unio pictorum* и химическим составом воды объясняется тем, что моллюски способны поглощать из воды только биологически доступную часть общего количества элемента в воде, составляющую для цинка до 25% общего содержания (Ravera et al., 2007). Кроме того, ряд исследователей ведущую роль в поступлении тяжелых металлов в организм моллюсков-фильтраторов отводят пище, состав которой характеризуется значительной сезонной динамикой (Лукашев, 2007; Kwan et al., 2003; Leung, Furness, 1999; Ravera et al., 2007).

Анализ опубликованных в литературе данных показал, что в большинстве случаев снижение концентрации цинка в мягких тканях моллюсков отражает процессы, связанные с созреванием гонад и нерестом. При этом основным фактором, влияющим на содержание тяжелых металлов, является изменение массы тела. Это связано с тем, что быстрое увеличение массы тела моллюсков в большинстве случаев приводит к уменьшению концентрации накопленных металлов в тканях. Такое явление получило название «тканевое разбавление» (tissue dilution) (Gey, Maher, 2003; Latouche, Mix, 1981; Taylor, Maher, 2003). По этой причине особи с более интенсивным ростом обладают меньшим содержанием тяжелых металлов (Leung et al., 2001; Metcalfe-Smith et al., 1996). Известно, что масса гонад может составлять 40–50 % от массы тела моллюсков (Kwan et al., 2003; Latouche, Mix, 1981). Причем, процесс высвобождения половых продуктов приводит к еще большему снижению концентрации некоторых металлов, что позволило некоторым авторам говорить о нересте как своеобразной детоксикации организма, когда вместе с половыми продуктами выводятся и накопленные металлы (Wiesner et al., 2001).

Исследование процесса гаметогенеза показало, что в районе Киева нерест *Dr. bugensis* проходит в июле-августе. В этот же период регистрировали наиболее низкие уровни накопления цинка в мягких тканях дрейссены. Такая же причина снижения концентрации тяжелых металлов в летний период была отмечена для мягких тканей *Dr. polymorpha* из р. Св. Лаврентия (Kwan et al., 2003). Схожесть сезонной динамики накопления цинка моллюсками *Th. fluviatilis* и *Dr. bugensis*, возможно, также отражает процессы изменения массы тела в результате нереста.

Отмеченная достоверная связь между валовым содержанием цинка в раковинах дрейссены и воде р. Днепр отражает не столько процессы депонирования данного химического элемента в структуре раковин, сколько отражает процессы образования на поверхности ее periostracuma нерастворимых отложений. Как ранее нами было показано, удаление periostracuma с минеральными отложениями приводит к снижению концентрации цинка более чем в 5 раз (Лукашев, 2006). В подтверждение этому было показано, что сезонная динамика содержания большинства тяжелых металлов в раковинах *Unio pictorum* объясняется процессами их адсорбции на поверхности раковин (Ravera et al., 2007).

### Выводы

Валовая концентрация цинка в мягких тканях *Dr. bugensis* на протяжении года изменялась более чем в 2 раза, раковинах – более чем в 4,4 раза, *Th. fluviatilis* – в 1,6 раза. Максимальная концентрация цинка в мягких тканях *Dr. bugensis* и *Th. fluviatilis* отмечена в зимний период, минимальная – в июле-августе. Отмеченные сезонные колебания, возможно, являются отражением процессов размножения, которые сопровождаются значительным изменением массы организма. Максимальная концентрация цинка в воде и раковинах *Dr. bugensis* была отмечена в январе. Значительная корреляция валового содержания цинка в раковинах *Dr. bugensis* и воде, скорее всего, отражает процессы образования на поверхности раковин нерастворимых минеральных отложений.

Описанные сезонные колебания химического состава пресноводных моллюсков необходимо учитывать при интерпретации результатов биомониторинга, полученных в различные сезоны и даже отдельные месяцы. Отбор проб гидробионтов необходимо проводить в сжатые сроки или же использовать особей, характеризующихся одинаковым физиологическим состоянием.

### Список литературы

- Гальперина Г.Е., Львова-Качанова А.А. Некоторые особенности размножения *Dreissena polymorpha* (Pall.) и *Dreissena polymorpha andrusovi* (Andr.) // Комплексные исследования Каспийского моря. – М.: Из-во МГУ, 1972. – С. 61–73.
- Ермаченко Л.А., Ермаченко В.М. Атомно-адсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях. – М.: Чувашия, 1997. – 89с.
- Лукашев Д.В. Использование раковин *Dreissena bugensis* для мониторинга загрязнения тяжелыми металлами экосистемы реки Днепр в районе Киева // Экологическая химия. – 2006. – Т.15, №3. – С. 186–195.
- Лукашев Д.В. Сезонная динамика накопления марганца в годичных приростах раковин *Unio tumidus* (Bivalvia: Unionidae) // Гидробиологический журнал. – 2007. – Т.43, №2. – С. 81–88.
- Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. – М.: МедиаСфера, 2002. – 312с.
- Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. – Минск: Вышэйшая школа, 1973. – 320с.
- Beldi H., Gimbert F., Maas S. et al. Seasonal variation of Cd, Cu, Pb and Zn in the edible mollusks *Donax trunculus* (Mollusca, Bivalvia) from the gulf of Annaba, Algeria // Afr. J. Agricult. Research. – 2006. – Vol.1, №4. – P. 85–90.
- Bervoets L., Voets J., Chu S. et al. Comparison of accumulation of micropollutants between indigenous and transplanted zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) // Envir. Toxicol. Chemistry. – 2004. – Vol.23, №8. – P. 1973–1983.
- Boening D.W. An evaluating of bivalves as biomonitors of heavy metals pollution in marine waters // Environmental monitoring and assessment. – 1999. – Vol.55. – P. 459–470.
- Ferreira A.G., Machado A.L.S., Zalmon I.L. Temporal and spatial variation on heavy metal concentrations in the bivalve *Perna perna* (Linnaeus, 1758) on the Northern Coast of Rio de Janeiro State, Brazil // Brazilian Arch., Biol., Technol. – 2004. – Vol.47, №2. – P. 319–327.
- 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 Research. – 2003. – Vol.37. – P. 2173–2185.
- Kwan M., Chan M., Lafontaine Y. Metal contamination in zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) about the St. Lawrence river // Environment. Monitor. Assessment. – 2003. – Vol.88. – P. 193–219.

- Latouche Y.D., Mix M.C. Seasonal variation in soft tissue weights and trace metal burdens in the Bay mussels, *Mytilus edulis* // Bull. Environm. Contam. Toxicol. – 1981. – Vol.27. – P. 821–828.
- Leung K.M., Furness R.W. Effects of animal size on concentrations of metallothionein and metals in Periwinkles (*Littorina littorea*) collected from the Firth of Clyde, Scotland // Marine pollution bulletin. – 1999. – Vol.39. – P. 126–136.
- Leung K.M., Morgan I.S., Wu R.S. et al. Growth rate as a factor confounding the use of the dogwhelk *Nucella lapilleus* as biomonitoring of heavy metal contamination // Mar. Ecol. Progr. Ser. – 2001. – Vol.221. – P. 145–159.
- Markich S.J., Jeffree R.A., Burke P.T. Freshwater bivalve shells as archival indicators of metal pollution from a copper-uranium mine in tropical Northern Australia // Environ. Sci. Technol. – 2002. – Vol.36, №5. – P. 821–832.
- 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 // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 1996. – Vol.53. – P. 205–219.
- Ravera O., Beone G.M., Trincherini P.R., Riccardi N. Seasonal variations in metal content of two *Unio pictorum mancus* (Mollusca, Unionidae) populations from two lakes of different trophic state // J. Limnol. – 2007. – Vol.66. – P. 28–39.
- Roditi H.A., Fisher N.S. Rates and routes of trace element uptake in zebra mussels // Limnol. Oceanogr. – 1999. – Vol.44, №7. – P. 1730–1749.
- 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. Research. – 2003. – Vol.19. – P. 541–549.
- Wiesner L., Gunter B., Fenske C. Temporal and spatial variability in the heavy-metal content of *Dreissena polymorpha* (Pallas) (Mollusca: Bivalvia) from the Kleines Haff (Northeastern Germany) // Hydrobiologia. – 2001. – Vol.443. – P. 137–145.

---

Представлено: О.М.Арсаном / Presented by: O.M.Arsan

Рекомендовано до друку: А.Ю.Утєвським / Recommended for publishing by: A.Yu.Utevsky

© Д.В.Лукашов, 2009  
© D.V.Lukashev, 2009