

УДК 591.111.05 : 576.895.122 : 594.38

**ВЛИЯНИЕ ТРЕМАТОДНОЙ ИНВАЗИИ НА НАКОПЛЕНИЕ ИОНОВ  
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРЕСНОВОДНЫМИ МОЛЛЮСКАМИ  
(GASTROPODA: PULMONATA: PESTINIBRANCHIA)**

© А. П. Стадниченко, Л. Д. Иваненко, Л. Н. Куркчи, О. В. Витковская,  
Н. Н. Калинина, Д. А. Выскушенко, А. В. Шевчук

В речной воде, содержащей  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  в количестве 5, 20, 1 мкг/л соответственно, у *Lymnaea stagnalis* и *Viviparus viviparus*, зараженных партеногенетическими поколениями эхиностоматидных трематод, усиливается материальная кумуляция  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ , а у *L. stagnalis* — функциональная кумуляция  $\text{Pb}^{2+}$ . Накопление этих микроэлементов в избыточных количествах обуславливает сбои в функционировании различных систем органов у зараженных моллюсков, ведущее в конечном итоге к их гибели.

В настоящее время одной из ведущих форм загрязнения окружающей среды являются высокотоксичные и долгосохраняющиеся в воде ионы тяжелых металлов. Источниками этого вида загрязнения являются промышленные предприятия (рудничные, сталеплавильные, металлообрабатывающие, машиностроительные, химические, гальванические и др.), а также автотранспорт. Ионы тяжелых металлов с выхлопными газами автотранспортных средств и с недостаточно очищенными (нередко вовсе не очищенными) заводскими и шахтными стоками попадают в природные водные экосистемы, включаясь в них в круговорот веществ и энергии. Весомую роль в этом играют пресноводные брюхоногие моллюски — обычные компоненты донной фауны пресных континентальных водоемов. Они способны накапливать и задерживать в своем теле различные микроэлементы, в том числе и ионы тяжелых металлов. Влияние трематодной инвазии на эти процессы до настоящего времени оставалось неизученным.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Материал: прудовик озерный *Lymnaea stagnalis* (Linné, 1758) и живородка речная *Viviparus viviparus duboisianus* Mousson, 1863, собранные в сентябре—октябре 1996 г. в р. Тетерев в городской черте Житомира (Украина).

Ионы тяжелых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) в гемолимфе, тканях ноги, гепатопанкреаса и висцеральной массы моллюсков<sup>1</sup> определяли с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра С—115 М с пламенным анализатором (стандарт СЭВ 5340). Использованы стандартные методы определения количества микроэлементов в животных тканях ( $\text{Cu}^{2+}$  — ГОСТ 269—31—86,  $\text{Pb}^{2+}$  — ГОСТ 269—32—86,  $\text{Zn}^{2+}$  — ГОСТ 269—34—86). Всего выполнено 1440 анализов. Цифровые результаты обработаны вариационно-статистическими методами по Лакину (1973).

Токсикологические опыты поставлены по методике Алексеева (1981).

<sup>1</sup> Висцеральный мешок со всеми внутренними органами, кроме гепатопанкреаса.

Коэффициенты накопления определены как соотношение концентрации вышеперечисленных ионов в том или ином органе моллюска и количества их в водной среде. В р. Тетерев содержание их составляет (мкг/л):  $Zn^{2+}$  — 20,  $Cu^{2+}$  — 5,  $Pb^{2+}$  — 1.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оказалось, что  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  улавливаются из водной среды и накапливаются как легочными (*L. stagnalis*), так и переднежаберными моллюсками (*V. viviparus*) по-разному, о чем мы судим по значениям коэффициентов накопления. В наибольшей мере кумулируется животными  $Pb^{2+}$ , в наименьшей —  $Zn^{2+}$ , а  $Cu^{2+}$  занимает промежуточное положение.

Накопление ионов тяжелых металлов в организме пресноводных моллюсков осуществляется за счет адсорбции, диффузии и метаболизма (Шахмаев, 1975). В различных их органах и тканях оно протекает неодинаково интенсивно. Например,  $Cu^{2+}$ , поступающий в организм этих животных в основном через перитентакулярную область и воспринимаемый амебocyтами (Rondelaud, 1976), как оказалось, в наибольших количествах задерживается гепатопанкреасом, гемолимфой меньше в 1.5—1.7, а висцеральной массой — почти в 2 раза. Наименьшие значения коэффициента накопления  $Cu^{2+}$  получены для ноги (*L. stagnalis* — 5780, *V. viviparus* — 6640).

Характер депонирования  $Zn^{2+}$  несколько иной. Наибольшие количества его зарегистрированы также в гепатопанкреасе. Однако на втором месте за ним у обоих исследованных видов находится нога. Коэффициент накопления ее тканями  $Zn^{2+}$  меньше такового гепатопанкреаса на 10—20 %. Наименьшие количества  $Zn^{2+}$  обнаружены у *L. stagnalis* в гемолимфе, а у *V. viviparus* — в висцеральной массе (коэффициент накопления 105 и 390 соответственно). Депонируется  $Zn^{2+}$  и в раковине этих животных. Например, он выявлен у *L. stagnalis* (Пирогов и др., 1980).

Накопление  $Pb^{2+}$  у *L. stagnalis* наиболее интенсивно происходит в ноге и гепатопанкреасе, у *V. viviparus* — в гемолимфе и гепатопанкреасе. Наименьшие его количества (в мягком теле) задерживаются висцеральной массой (коэффициент накопления 44 900 и 42 800 соответственно). В раковине *L. stagnalis*  $Pb^{2+}$  установлен (Пирогов и др., 1980) в следовых количествах.

Абсолютные количества  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  в организме *L. stagnalis* и *V. viviparus* исчисляются тысячными (нередко и меньшими) долями процента. Общеизвестно, что микроэлементы входят в состав органических соединений преимущественно белковой природы, отличающихся высокой биологической активностью (ферменты, гормоны, дыхательные пигменты) и заметно влияющих вследствие этого на основные функции организма. Так,  $Cu^{2+}$  входит в состав сложного белка гемоцианина, осуществляющего транспортирование кислорода из легкого (*L. stagnalis*) и жабр (*V. viviparus*) к тканям и углекислого газа — в обратном направлении. Неотъемлемой составной частью ряда ферментов и гормонов, регулирующих углеводный обмен, является  $Zn^{2+}$ . Кроме того, он усиливает активность половых гормонов, влияя тем самым на функционирование половых желез. РНК некоторых ферментных элементов гемолимфы связана с небольшим, но постоянным количеством  $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$ . Различные нарушения жизнедеятельности, обусловленные изменениями содержания в организме моллюсков микроэлементов, наблюдаются как при их недостатке, так и при избыточном накоплении. В последнем случае ионы тяжелых металлов, попав в организм этих животных, образуют прочные соединения с веществами, отличающимися высокой биологической активностью, которые утрачивают способность выполнять присущие им функции, что сопровождается нарушениями функционирования жизненно важных органов и тканей. Избыток  $Cu^{2+}$ , например, приводит к разрушению пигментных клеток соединительной ткани, в которых синтезируется дыхательный пигмент (Cheng, 1975). Ионы  $Cu^{2+}$  и  $Pb^{2+}$  вызывают сложные изменения проницаемости мембран нейронов, обуславливая, во-первых, ток ионов, направленный внутрь их, а во-вторых, подавляя ток  $K^+$ . Кроме того,  $Pb^{2+}$  блокирует поступление в нейроны  $Ca^{2+}$  через кальциевый канал

Таблица 1  
Влияние трематодной инвазии на накопление  $\text{Cu}^{2+}$  (мг/кг) пресноводными брюхоногими моллюсками  
Table 1. The influence of the trematode infection on the accumulation of  $\text{Cu}^{2+}$  (mg/kg) by the freshwater gastropod molluscs

Материал	Незараженные				Зараженные			
	lim	$\bar{x} \pm m_x$	$\sigma$	v	lim	$\bar{x} \pm m_x$	$\sigma$	V
<i>Lymnaea stagnalis</i>								
Нога	2.54—3.15	$2.89 \pm 0.09$	0.23	7.93	3.23—3.4	$3.32 \pm 0.03$	0.07	2.1
Гепатопанкреас	7.14—7.56	$7.32 \pm 0.06$	0.14	1.91	7.5—8.46	$8.02 \pm 0.16$	0.4	4.99
Гемолимфа	4.17—4.94	$4.42 \pm 0.13$	0.32	7.24	4.78—5.61	$5.24 \pm 0.19$	0.48	9.16
Висцеральный мешок	3.48—4.07	$3.72 \pm 0.1$	0.24	6.45	3.96—4.71	$4.26 \pm 0.1$	0.25	5.86
<i>Viviparus viviparus</i>								
Нога	2.4—2.84	$2.53 \pm 0.07$	0.17	6.72	2.4—3.33	$2.69 \pm 0.14$	0.34	12.64
Гепатопанкреас	5.04—7	$5.72 \pm 0.42$	1.04	18.18	6.8—7.5	$7.15 \pm 0.1$	0.24	3.36
Гемолимфа	4.73—5	$4.86 \pm 0.04$	0.09	1.85	4.72—5.02	$4.85 \pm 0.05$	0.13	2.68
Висцеральный мешок	2.90—3.1	$2.97 \pm 0.03$	0.08	2.69	3.02—3.4	$3.17 \pm 0.05$	0.13	4.1

Таблица 2  
Влияние трематодной инвазии на накопление  $\text{Zn}^{2+}$  (мг/кг) пресноводными брюхоногими моллюсками  
Table 2. The influence of the trematode infection on the accumulation of  $\text{Zn}^{2+}$  (mg/kg) by the freshwater gastropod molluscs

Материал	Незараженные				Зараженные			
	lim	$\bar{x} \pm m_x$	$\sigma$	v	lim	$\bar{x} \pm m_x$	$\sigma$	V
<i>Lymnaea stagnalis</i>								
Нога	1.02—1.23	$1.12 \pm 0.03$	0.08	7.14	1.15—1.4	$1.29 \pm 0.04$	0.09	6.98
Гепатопанкреас	1.09—1.44	$1.29 \pm 0.05$	0.12	9.3	1.23—4.28	$1.84 \pm 0.49$	1.2	65.22
Гемолимфа	0.12—0.32	$0.21 \pm 0.03$	0.07	33.33	0.11—0.31	$0.19 \pm 0.03$	0.08	42.1
Висцеральный мешок	0.82—1.11	$0.92 \pm 0.04$	0.1	10.87	0.02—1.2	$1.06 \pm 0.05$	0.11	10.37
<i>Viviparus viviparus</i>								
Нога	0.89—1	$0.93 \pm 0.18$	0.17	18.28	0.98—1.02	$0.84 \pm 0.07$	0.18	21.43
Гепатопанкреас	1—1.8	$1.05 \pm 0.02$	0.05	4.76	1.08—1.24	$1.16 \pm 0.03$	0.08	6.89
Гемолимфа	0.7—0.82	$0.81 \pm 0.03$	0.08	9.87	0.7—0.11	$0.44 \pm 0.15$	0.36	81.82
Висцеральный мешок	0.7—0.82	$0.78 \pm 0.09$	0.23	8.9	0.78—0.9	$0.83 \pm 0.02$	0.05	6.02

Таблица 3

Влияние трематодной инвазии на накопление  $Pb^{2+}$  (мг/кг) пресноводными брюхоногими моллюсками  
 Table 3. The influence of the trematode infection on the accumulation of  $Pb^{2+}$  (mg/kg) by the freshwater gastropod molluscs

Материал	Незараженные				Зараженные			
	lim	$\bar{x} \pm m_x$	$\sigma$	V	lim	$\bar{x} \pm m_x$	$\sigma$	V
Нога Гепатопанкреас Гемолимфа Висцеральный мешок	9.32—9.73	9.55 ± 0.06	0.14	1.47	8.92—11.56	10.19 ± 0.4	0.97	9.52
	6.74—8.73	7.81 ± 0.3	0.71	9.47	5.53—20.91	16.59 ± 3.42	8.38	50.49
	6.59—8.91	7.73 ± 0.3	0.75	9.65	7.19—18.31	11.29 ± 1.88	4.59	40.7
	4.17—4.91	4.49 ± 0.12	0.3	6.68	4.51—6.15	5.07 ± 0.23	0.57	11.24
Нога Гепатопанкреас Гемолимфа Висцеральный мешок	7.03—7.3	7.2 ± 0.04	0.1	1.38	7.13—7.3	7.19 ± 0.04	0.1	1.39
	5.52—11.3	7.77 ± 0.95	2.33	29.98	5.52—11.13	7.73 ± 0.95	2.33	30.14
	7.05—10.05	8.3 ± 0.33	0.8	9.64	7.05—10	7.29 ± 0.48	1.19	16.32
	4.15—4.32	4.28 ± 0.04	0.09	9.6	4.15—4.32	4.28 ± 0.03	0.08	1.87

(Salanki e. a., 1991). При высокой концентрации  $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  замедляется рост моллюсков, отодвигаются сроки наступления половозрелости и наблюдаются разного рода аномалии в формирующихся кладках.

Токсикологическими опытами установлено, что ядовитость для *L. stagnalis* и *V. viviparus* вышеперечисленных ионов тяжелых металлов в порядке ее убывания такова:  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ . А чувствительность этих моллюсков к  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  в 100—150 раз больше, чем пресноводных рыб.

Исследованные нами животные были инвазированы «птичьими» эхиностоматидными трематодами. У *L. stagnalis* обнаружены редии *Echinoparyphium aconiatum* Dietz, 1909, у *V. viviparus* — локализованные в гепатопанкреасе редии *Echinoparyphium* sp. с церкариями разной степени зрелости. Интенсивность инвазии невысокая. Очаги паразитарного поражения пищеварительной железы каждый площадью не более  $1-1.7 \times 1.3-2$  мм зарегистрированы в количестве 4—7 на одну особь (преимущественно в проксимальной части органа). Случаи тотального поражения трематодами гостального биотопа были крайне редкими.

При инвазии у *L. stagnalis* во всех обследованных органах и тканях, а у *V. viviparus* во всех, за исключением ноги и висцеральной массы, отмечено избыточное накопление  $Cu^{2+}$  (табл. 1). У первого вида превышение нормы по этому показателю составляет 15, а у второго — 20 % ( $P > 99.9$  %). Следует отметить, что у *L. stagnalis* материальная кумуляция  $Cu^{2+}$  осуществляется в одинаковой мере во всех исследованных органах, в то время как у *V. viviparus* при инвазии она резко усиливается (на 30 %) в гепатопанкреасе ( $P > 99.9$  %) и в 3—5 раз менее этого — в висцеральной массе. И это при том, что накопление  $Cu^{2+}$  их организмом — это интегральный процесс (Капков, 1971): наряду с поглощением этих

ионов происходит активное выведение их токсического избытка из организма. Увеличение концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  в отдельных тканях и органах, инвазированных трематодами моллюсков, обусловлено, скорее всего, расстройством тех механизмов, которые обеспечивают выведение из их организма вредных его излишков. Депонирование  $\text{Cu}^{2+}$  до определенного предела сопровождается развитием у этих животных патологического процесса, вызванного отравлением их этим чрезвычайно токсичным для них элементом, завершающегося гибелью. Показано, например, что гибель *Unio tumidus* наступает тогда, когда содержание  $\text{Cu}^{2+}$  в их жабрах составляет 300 мкг на 1 г сухой массы их тела (Капков, 1971). Брюхоногие моллюски более чувствительны и менее устойчивы к его избытку. Следовательно, летальный исход должен наблюдаться у них при меньшей концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  в организме.

Содержание  $\text{Zn}^{2+}$  у инвазированных *L. stagnalis* возрастает в среднем в 1.3 раза (табл. 2). При этом накопление этого микроэлемента в его гемолимфе остается на уровне нормы. У *V. viviparus* в гепатопанкреасе и висцеральной массе количество  $\text{Zn}^{2+}$  увеличивается в среднем на 10 % ( $P > 98.8$  %), в ноге не изменяется, а в гемолимфе сокращается почти вдвое ( $P > 99.9$  %), что свидетельствует об ярко выраженном функциональном напряжении. В данном случае, как и в случае с  $\text{Cu}^{2+}$ , имеет место материальная кумуляция элементов (Метелев и др., 1971), при которой накопление  $\text{Zn}^{2+}$  осуществляется вследствие многократного его поступления в организм моллюсков при нарушении выведения его избыточных количеств.

Наибольшие различия между *L. stagnalis* и *V. viviparus* обнаружены по характеру концентрации  $\text{Pb}^{2+}$  (табл. 3). У первого из упомянутых моллюсков при наличии трематодной инвазии резко возрастает накопление  $\text{Pb}^{2+}$ . Его содержание увеличивается в гемолимфе в 1.5, а в гепатопанкреасе — в 2 раза ( $P > 99.9$  %). Наименее страдает в этом случае висцеральная масса, содержание  $\text{Pb}^{2+}$  в которой повышается всего лишь на 13 %. Концентрация  $\text{Pb}^{2+}$  инвазированными трематодами животными — следствие функциональной кумуляции, вызывающей сенсбилизацию их организма к повторным воздействиям на него этим реагентом. У зараженных *V. viviparus* уровень содержания  $\text{Pb}^{2+}$  в организме не изменяется, причины чего для нас пока остаются неясными.

Следовательно, при трематодной инвазии как у легочных, так и у переднежаберных моллюсков нарушаются физиологические барьеры, препятствующие чрезмерному накоплению микроэлементов в их организме. Это сопровождается сдвигами регуляции их минерального обмена, приводящими в преобладающем большинстве случаев к концентрации  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  в различных органах и тканях. Оно влечет за собой нарушения их функционирования, что снижает жизнеспособность особей и в тяжелых случаях ведет к летальному исходу.

### Список литературы

- Алексеев В. А. Основные принципы сравнительно-токсикологического эксперимента // Гидробиол. журн. 1981. Т. 17, № 3. С. 92—100.
- Капков В. И. Токсичность комплексных соединений меди для пресноводных моллюсков // Вест. МГУ. 1971. № 2. С. 34—37.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1973. 343 с.
- Метелев В. В., Канаев А. И., Дзасохова Н. Г. Водная токсикология. М.: Колос, 1971. 247 с.
- Пирогов В. В., Зайнутдинова Р. А., Заленухин В. В., Андрианов В. А., Соколов Л. Г., Воробьев В. Б., Кириллов В. Н., Воробьев В. И. Микроэлементы у моллюсков Нижней Волги // Роль микроэлементов в жизни водоемов. М.: Наука, 1980. С. 112—121.
- Шахмаев Н. К. Пресноводные униониды как биоиндикаторы и концентраторы марганца, кобальта, меди и железа: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 1975. 22 с.

- Cheng T. Does copper cause anemia in *Biomphalaria glabrata*? // J. Invertebr. Pathol. 1975. Vol. 26, N 3. P. 421—422.
- Rondelaud D. Chaisemarmiques sur le transfert de deux metaux ( $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) chez *Lymnaea* (*Galba*) *truncatula* Müller (Mollusques Gasteropodes Pulmones) // Ann. Limnol. 1976. T. 12, N 3. P. 269—281.
- Salanki G., Osipenko O. N., Kiss T., Gyori G. Molluscan Neurobiol. // Proc. 3rd Symp. (Amsterdam, Aug. 20—21, 1990). Amsterdam, 1991. P. 214—220.

Житомирский пединститут,  
262000

Поступила 13.05.1997

INFLUENCE OF THE TREMATODE INFECTION ON ACCUMULATION  
OF METAL IONS BY FRESHWATER MOLLUSCS  
(GASTROPODA: PULMONATA: PECTINIBRANCHIA)

A. P. Stadnichenko, L. D. Ivanenko, L. N. Kurkchi, O. V. Vitkovskaya,  
N. N. Kalinina, D. A. Vyskushenko, A. V. Shevchuk

*Key words:* *Lymnaea stagnalis*, *Viviparus viviparus*,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ , trematode infection.

SUMMARY

Freshwater molluscs *Lymnaea stagnalis* and *Viviparus viviparus*, infected with parthenogenetic generations of echinostomatid trematodes and reared in a fresh water containing metal ions  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  (concentrations 5, 20, 1 mkg/l respectively), demonstrate an increasing of material accumulation of  $Cu^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  in both species. A functional accumulation of Pb is observed in *L. stagnalis* only. The accumulation of these elements in excessive amount causes a damage of different systems in the infected molluscs and finally leads to their death.