

РАЗДЕЛ. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7089896>

УДК 574/577

**НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДВУСТВОРЧАТЫМИ
МОЛЛЮСКАМИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Чьюнг Ван Туан,

Вьетнамский морской университет

Аннотация: Исследовалось накопление свинца в *Meretrix lyrata* в лабораторных условиях. Каждый эксперимент по разведению *Meretrix lyrata* и выдержке ее в воде с различным уровнем содержания свинца ($C = 0,003; 0,05; 0,1; 0,3; 0,4; 0,6$ мг/л). Содержание свинца в *Meretrix lyrata* анализировалось через 10, 15, 20, 25, 30 дней отмечено, что концентрации Pb в *Meretrix lyrata* во всех резервуарах (кроме $C = 0,6$ мг/л) постепенно увеличивались со временем выдержки. Через 25 дней выдержки особей в воде с концентрацией $C = 0,6$ мг/л погибло около 20 % особей *Meretrix lyrata*, после 30 дней 100 %. Спустя 10 дней после окончания выдерживания *Meretrix lyrata* в чистой морской воде Pb практически не выводился и около 30 % осталось в моллюске, независимо от количества Pb, накопленного первоначально. Полученные результаты закладывают основу для исследования накопления свинца и его выведения из организма моллюсков *Meretrix lyrata*, выращенных в искусственных условиях.

Ключевые слова: моллюск, *Meretrix lyrata*, концентрации свинца, накопление свинца

**ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN BIVALVES UNDER
EXPERIMENTAL CONDITIONS**

Truong Van Tuan,

Vietnam maritime university

Annotation: Accumulation of lead in *Meretrix lyrata* was studied under laboratory conditions. Each experiment on the dilution of *Meretrix lyrata* and its exposure to water with different levels of lead ($C = 0,003; 0,05; 0,1; 0,3; 0,4; 0,6$ mg/l). The lead content in *Meretrix lyrata* was analyzed after 10, 15, 20, 25, 30 days marked that, the concentrations of lead in *Meretrix lyrata* in all reservoirs (except $C = 0,6$ mg/l) gradually increased with the exposure time. After 25 days of

exposure of individuals in water with a concentration $C = 0,6 \text{ mg/l}$, about 20 % of *Meretrix lyrata* individuals died, after 30 days 100 %. After 10 days of incubation closure *Meretrix lyrata* in clean sea water Pb practically deduced and about 30% remained in *Meretrix lyrata*, regardless of the number Pb, initially accumulated. The results obtained can be assumed as the basis for investigating lead accumulation and its excretion by clam *Meretrix lyrata* organisms grown in artificial conditions.

Keywords: clam, *Meretrix lyrata*, lead content, lead accumulation

Meretrix lyrata распространены на теплом море в западной части Тихого океана, от моря Тайваня до Вьетнама. Раньше во Вьетнаме *Meretrix lyrata* были распространены в основном в южном регионе от Го Конг (Тиензянг), Бинь Дай, Ба Чи, Тхань Фу (Бенче), Коу Нганг, Зуен Хай (Ча Винь). Сейчас *Meretrix lyrata* выращиваются по всему центральному и северному региону, и площадь разведения все время растет [1].

Искусственное разведение *Meretrix lyrata* в устье реки Бач Данг (Вьетнам) развивается очень давно, площадь разведения *Meretrix lyrata* выросла от около 23,9 га (2000) до 155,5 га (2007), и до сих пор стабильно продолжает расти [5]. Процедура разведения *Meretrix lyrata* проста, а производительность высокая, поэтому вид *Meretrix lyrata* постепенно вытесняет местные виды, такие как *Meretrix meretrix*, *Paphia undulata*. Все пляжи общины Донг Бай были отведены под разведение *Meretrix lyrata*, производственная мощность на данный момент составляет около 30 тонн/гектар, общая ежегодная производительность в данном районе составляет около 4500 тонн/год. Выработка *Meretrix lyrata* обеспечивает продуктом питания прибрежное население, поставляет сырье для отрасли по переработке морепродуктов и для экспорта [1].

Угроза состоит в том, что ежегодно устьевая область реки Бач Данг принимает множество сбросов от социально-экономической деятельности, которые загрязняют окружающую среду. Они содержат загрязняющие вещества от промышленных (портовая деятельность, водный транспорт, судостроение и судоремонт, разбор старых судов, а также береговые промышленные зоны), сельскохозяйственных и бытовых источников. Недавние исследования показали, что основная масса загрязняющих веществ – это тяжелые металлы и труднорастворяющиеся органические вещества [1].

Некоторые тяжелые металлы (Cu, Pd, Cd, Zn, Ni, Hg) в пределах допустимой концентрации являются микроэлементами, необходимыми для жизни, компонентами клеток, но при превышении допустимых пределов они могут негативно влиять на жизнь организма. Кроме того, присутствуя в окружающей среде даже в очень низких концентрациях, они накапливаются в

пищевой. Одним из распространенных тяжелых металлов с высокой степенью биоаккумуляции является свинец (Pb).

Результат эксперимент по разведению *Meretrix lyrata* при различных концентрациях Pb в воде проводился непрерывно в течение 30 дней, по инструкции Американского общества по испытаниям и материалам отображен в таблице 1.

Таблица 1 – Среднее содержание Pb в *Meretrix lyrata*

Концентрация Pb в водной среде(мг/л)	Содержание Pb в <i>Meretrix lyrata</i> (мг/кг)				
	10 дней	15 дней	20 дней	25 дней	30 дней
$C_0 = 0,003$	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
$C_1 = 0,05$	$0,14 \pm 0,04$	$0,76 \pm 0,02$	$1,4 \pm 0,03$	$2,01 \pm 0,01$	$3,2 \pm 0,02$
$C_2 = 0,1$	$0,75 \pm 0,01$	$3,93 \pm 0,15$	$7,1 \pm 0,02$	$10,3 \pm 0,21$	$14,54 \pm 0,23$
$C_3 = 0,3$	$6,85 \pm 0,11$	$11,84 \pm 0,4$	$17,04 \pm 0,45$	$22,31 \pm 0,6$	$25,67 \pm 0,38$
$C_4 = 0,4$	$12,24 \pm 0,4$	$15,87 \pm 0,18$	$21,26 \pm 0,6$	$24,45 \pm 0,24$	$25,51 \pm 0,5$
$C_5 = 0,6$	$18,2 \pm 0,5$	$27,84 \pm 0,5$	$14,28 \pm 0,12$	20% Гибель МОЛЛЮСКОВ	100% Гибель МОЛЛЮСКОВ

Полученные результаты показали, что при концентрациях Pb C_1 , C_2 , C_3 , C_4 в экспериментальном резервуаре содержание Pb в *Meretrix lyrata* постепенно увеличивалось со временем выдержки. Выявлено, что между содержанием Pb в *Meretrix lyrata* и концентрацией Pb в водной среде имеется тесная положительная связь ($r = 0,97 \div 0,99$, $p < 0,05$).

При выдерживании особей в воде с концентрацией C_5 в течение первых 15 дней выдержки содержание накопленного Pb в *Meretrix lyrata* увеличивалось в 1068 раз ($27,84 \pm 0,5$ мг/кг), со временем. Но затем, чтобы адаптироваться к сильно загрязненной водной среде ($C_5 = 0,6$ мг/кг), *Meretrix lyrata* начинала выводить из тела Pb больше, чем накапливать, что привело к тому, что содержание накопленного Pb в *Meretrix lyrata* через 20 дней выдержки ($14,28 \pm 0,12$ мг/кг) было ниже в 2 раза, чем после 15 дней ($27,84 \pm 0,5$ мг/кг). Через 25 дней выдержки около 20 % *Meretrix lyrata* погибло, после 30 дней 100%. Полученные результаты согласуются с наблюдением из ASTM E1022-94 [2]: после определенного периода воздействия процесс

накопления двустворчатыми моллюсками металла останавливается, содержание металла в моллюске достигает порога насыщения (или максимальной точки), при этом скорость накопления и выведения металла двустворчатыми моллюсками становится одинаковой. При продолжении воздействия металлами двустворчатые моллюски будут выводить металл для собственной защиты (или поддержания жизни). Таким образом, согласно результатам исследования, максимально возможная концентрация накопления Pb в *Meretrix lyrata* составляет около 25 мг/кг при всех исследуемых концентрациях Pb в воде. Но при накоплении до 27,84 мг/кг *Meretrix lyrata* должна выводить больше Pb, чем накапливать, чтобы противостоять окружающей среде. При высоком уровне загрязнения (C_3) через 15 дней выдержки *Meretrix lyrata* не может выдержать токсическую нагрузку и погибает.

Результаты исследования по накоплению Pb в двустворчатом моллюске *Perna viridis* (зеленые мидии) – виде, живущем в толще воды, также показали, что данный моллюск способен накапливать большие количества Pb ($0,14 \div 1,3$ мг/кг). Механизм накопления Pb можно объяснить следующим образом: прежде всего Pb поступает в жабры и внутренние органы двустворчатого моллюска, затем Pb поступает в кровь, и в конце концов накапливается в виде сульфидных или фосфорных соединений во внутриклеточных центрах почечной экскреции, поэтому двустворчатый моллюск обладает способностью удерживать и снижать токсичность Pb [4]. При изучении накопления тяжелых металлов у *Perna viridis* Lakshmanan и Nambisan [14] также обнаружили, что после 6 дней выдержки данный вид двустворчатых моллюсков накопил большое количество Pb ($5,2 \div 12,8$ мг/кг). С другой стороны, Fowler и партнеры (1981) полагали, что описанный выше механизм накопления Pb можно рассматривать как общий биологический процесс для объяснения накопления Pb в видах двустворчатых моллюсков [14].

Способность двустворчатых моллюсков накапливать Pb также подтверждается другими исследованиями по всему миру [3, 7, 9, 13, 15]. Однако скорость накопления, а также максимальный уровень накоплений Pb индивидуальны для каждого вида двустворчатых моллюсков и для разных условий эксперимента. Результаты исследований показали, что способность накапливать Pb двустворчатыми моллюсками колеблется в пределах от 40 мкг/кг до 244 мг/кг для Pb. Таким образом, следует подчеркнуть, что тенденция накопления Pb моллюском *Meretrix lyrata* хорошо согласуется с другими исследованиями по всему миру [3, 7, 9, 13, 15].

Процессы накопления и выведения свинца в организме моллюсков происходят параллельно. Степень выведения свинца из моллюсков влияет на его физиологические и биохимические свойства.

Для оценки **уровня выведения свинца** из моллюсков, *Meretrix lyrata* была выдержана в чистой морской воде. Результаты исследования представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Выведение Pb из *Meretrix lyrata*
(температура 25 °С – солёность 25 ‰)

Содержани е Pb в <i>Meretrix lyrata</i> (мг/л)	Содержание Pb в <i>Meretrix lyrata</i> (мг/кг)				
	5 дней	10 дней	15 дней	20 дней	25 дней
C ₁ = 3,2	1,46 ± 0,2	1,02 ± 0,3	1,01 ± 0,3	1,01 ± 0,2	1,01 ± 0,2
C ₂ = 14,54	8,1 ± 0,15	5,23 ± 0,2	5,2 ± 0,2	5,12 ± 0,3	5,12 ± 0,6
C ₃ = 25,51	10,44 ± 0,8	6,13 ± 0,8	6,15 ± 0,3	6,00 ± 0,1	6,00 ± 0,8
C ₄ = 25,67	10,85 ± 0,5	6,42 ± 0,8	6,35 ± 0,7	6,35 ± 0,7	6,35 ± 0,6

Таблица 3 – Выведение Pb из *Meretrix lyrata*
(температура 25 °С – солёность 5 ‰)

Содержани е Pb в <i>Meretrix lyrata</i> (мг/л)	Содержание Pb в <i>Meretrix lyrata</i> (мг/кг)				
	5 дней	10 дней	15 дней	20 дней	25 дней
C ₁ = 3,2	1,01 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,08	0,65 ± 0,02	0,63 ± 0,02
C ₂ = 14,54	6,5 ± 0,15	4,2 ± 0,2	4,8 ± 0,3	4,4 ± 0,3	4,5 ± 0,3
C ₃ = 25,51	8,4 ± 0,5	4,7 ± 0,12	5,0 ± 0,13	5,1 ± 0,2	5,1 ± 0,1
C ₄ = 25,67	10,85 ± 0,21	6,42 ± 0,5	6,35 ± 0,2	6,35 ± 0,4	6,35 ± 0,5

Как видно из таблиц 2 и 3, содержание Pb в *Meretrix lyrata* через 5 дней выдержки уменьшилось в среднем на 60 % и на 70 % через 10 дней по сравнению с первоначальным содержанием свинца в *Meretrix lyrata*. В частности, спустя 10 дней после окончания выдерживания *Meretrix lyrata* в чистой морской воде Pb практически не выводился и около 30 % осталось в моллюске, независимо от количества Pb, накопленного первоначально.

Выведение Pb из *Meretrix lyrata* в чистой морской воде с солёностью 5 ‰, в 1,5 раза выше, чем *Meretrix lyrata* в чистой морской воде с солёностью 25 ‰. Рекомендуется, чтобы при использовании *Meretrix lyrata* в пищу, замочить моллюсков в воде с низкой солёностью.

Таким образом, в ходе исследования:

1. При выдержке *Meretrix lyrata* в воде с различным уровнем содержания Pb ($C = 0,003; 0,05; 0,1; 0,3; 0,4; 0,6$ мг/л) отмечено, что концентрации Pb в *Meretrix lyrata* во всех резервуарах (кроме $C = 0,6$ мг/л) постепенно увеличивались со временем выдержки. Выявлено, что между содержанием Pb в *Meretrix lyrata* и концентрацией Pb в водной среде имеется тесная положительная связь ($r = 0,97 \div 0,99$, $p < 0,05$). Через 25 дней выдержки особей в воде с концентрацией $C = 0,6$ мг/л погибло около 20% особей *Meretrix lyrata*, после 30 дней 100 %.

2. Максимально возможная концентрация накопления Pb в *Meretrix lyrata* составляла около 25 мг/кг при концентрации Pb в воде 0,4 мг/л и 0,3 мг/л.

3. Содержание Pb начинает выводиться из *Meretrix lyrata* после выдерживания моллюска в чистой морской воде, его содержание в *Meretrix lyrata* уменьшилось в среднем на 60 % через 5 дней выдержки и на 70 % через 10 дней по сравнению с первоначальным его содержанием. Спустя 10 дней после окончания выдерживания *Meretrix lyrata* в чистой морской воде Pb практически не выводился и около 30 % осталось в моллюске, независимо от количества Pb, накопленного первоначально, что связано, вероятно, с биохимическими реакциями в моллюске, которые образуют прочные соединения Pb, трудно выводящиеся из тела.

Полученные результаты закладывают основу для исследования накопления свинца и его выведения из организма моллюсков *Meretrix lyrata*, выращенных в искусственных условиях.

Список литературы

[1] Agilent Technologies, 5990-3236 EN. Сравнение режимов столкновительной/реакционной ячейки для измерения интерферирующих аналитов в сложных матрицах с использованием ИСП-МС Agilent серии 7700, 2009 г.

[2] Американское общество испытаний и материалов. Метод E1022 – Стандартное руководство по проведению испытаний на биоконцентрацию рыб и морских двусторчатых моллюсков – 2003. 1-18 с.

[3] Андерсон Д.М. М. Чувствительность *Gonyaulax tamarensis* к меди1. / Д.М. Андерсон, Ф.М. Морель // Лимнология и океанография – 1978. № 23(2). 283-295 с.

[4] Чан Х.М. Накопление и толерантность к кадмию, меди, свинцу и цинку зеленой мидией *Perna viridis*. / Х.М. Чан // Морская экология. – 1988. № 48. 295-303 с.

[5] Взаимодействие металлов и протонов с водорослями. / Р. Х. Крист, К. Оберхользер, Д. Шварц, Дж. Марцофф, Д. Райдер, Д.Р. Крист // Экологические науки и технологии. – 1988. № 22(7). 755-760 с.

[6] Крото М.Н. Трофический перенос металлов по пресноводным пищевым цепям: свидетельство биомагнификации кадмия в природе. / М.Н. Крото, С.Н. Луома, А.Р. Стюарт // Лимнология и океанография. – 2005. № 50(5). 1511-1519 с.

[7] Франклин Э.Б. Биоаккумуляция и распределение тяжелых металлов (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb и Zn) в различных тканях *Chicoreus sarucusinus* Lamarck (Mollusca: Muricidae), собранных в Сунгай-Джангут, Куала-Лангат, Малайзия. / Э.Б. Франклин, К.К. Яп, И. Ахмад // Окружающая среда Азии – 2010. № 3(1). 65-71 с.

[8] Фёрстнер У. Перенос металлов между твердой и водной фазами. В кн.: Загрязнение металлами водной среды. / У. Фёрстнер // Springer Berlin Heidelberg, Берлин, Гейдельберг. – 1981. 197-270 с.

[9] Фукунага А. Биоаккумуляция меди, свинца и цинка двустворчатыми моллюсками *Macomona liliana* и *Austrovenus stutchburyi*. / Фукунага А., Андерсон М.Дж. // Журнал экспериментальной морской биологии и экологии. – 2011. № 396(2). 244-252 с.

[10] Харагучи Х. Анализ микроэлементов в биологических образцах с помощью аналитической атомной спектроскопии. / Н. Haraguchi, Е. Fujimori, К. Inagaki // In: Free Radical and Antioxidant Protocols, 1st ed., Armstrong, D., Ed. Humana Press, Тотова, Нью-Джерси. – 1998. 389-411 с.

[11] Биомагнификация микроэлементов в водной пищевой сети в дельте Меконга, Южный Вьетнам, с использованием анализа стабильных изотопов углерода и азота. / Т. Икемото, N.P.C. Ту, Н. Окуда, А. Ивата, К. Омори, С. Танабэ, Б.К. Тюен, И. Такеучи // Arch Environ Contam Toxicol – 2008. № 54(3). 504-515 с.

[12] Кросс-экосистемное воздействие загрязнения ручья снижает поток ресурсов и загрязняющих веществ в прибрежные пищевые сети. / Дж. М. Краус, Т.С. Шмидт, Д.М. Уолтерс, Р. Б. Уанти, Р. Э. Зуэллиг, Р.Э. Вольф // Экологические приложения. – 2014. № 24(2). 235-243 с.

[13] Острая токсичность, токсикокинетика и тканевая мишень свинца и урана у моллюска *Corbicula fluminea* и червя *Eisenia fetida*: сравнение с рыбой *Brachydanio rerio*. / Ф. Лабро, Ж. Ф. Нарбонн, П. Виль, М. Сен-Дени, Д. Рибера // Arch Environ Contam Toxicol – 1999. № 36(2). 167-178 с.

[14] Лакшманан П.Т. Бионакопление и удаление некоторых микроэлементов в мидии *Perna viridis* (Linnaeus). / П.Т. Лакшманан, П.Н.К. Намбисан // Вестник загрязнения окружающей среды и токсикологии. – 1989. № 43(1). 131-138 с.

[15] Ли Б.Г., Ли Дж.С., Луома С.Н. Сравнение биоаккумуляции селена у моллюсков *Corbicula fluminea* и *Potamocorbula amurensis*: подход к биоэнергетическому моделированию. / Б.Г. Ли, Дж.С. Ли, С.Н. Луома // *Environ Toxicol Chem.* – 2006. № 25(7). 1933-1940 с.

Bibliography (Transliterated)

[1] Agilent Technologies, 5990-3236 EN. Comparing collision/reaction cell modes for the measurement of interfered analytes in complex matrices using the Agilent 7700 Series ICP-MS, 2009.

[2] American-Society-for-Testing-and-Materials. Method E1022 – Standard Guide for Conducting Bioconcentration Tests with Fishes and Saltwater Bivalve Mollusks – 2003. 1-18 p.

[3] Anderson D.M. M. Copper sensitivity of *Gonyaulax tamarensis*1. / D.M. Anderson, F.M. Morel // *Limnology and Oceanography* – 1978. № 23(2). 283-295 p.

[4] Chan H.M. Accumulation and tolerance to cadmium, copper, lead and zinc by the green mussel *Perna viridis*. / H.M. Chan // *Marine Ecology.* – 1988. № 48. 295-303 p.

[5] Interactions of metals and protons with algae. / R.H. Crist, K. Oberholser, D. Schwartz, J. Marzoff, D. Ryder, D.R. Crist // *Environmental Science & Technology.* – 1988. № 22(7). 755-760 p.

[6] Croteau M.N. Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature. / M.N. Croteau, S.N. Luoma, A.R. Stewart // *Limnology and Oceanography.* – 2005. № 50(5). 1511-1519 p.

[7] Franklin E.B. Bioaccumulation and distribution of heavy metals (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn) in the different tissues of *Chicoreus capucinus* Lamarck (Mollusca: Muricidae) collected from Sungai Janggut, Kuala Langat, Malaysia. / E.B. Franklin, C.K. Yap, I. Ahmad // *Environment Asia* – 2010. № 3(1). 65-71 p.

[8] Förstner U. Metal Transfer Between Solid and Aqueous Phases. In: *Metal Pollution in the Aquatic Environment.* / U. Förstner // Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. – 1981. 197-270 p.

[9] Fukunaga A. Bioaccumulation of copper, lead and zinc by the bivalves *Macomona liliana* and *Austrovenus stutchburyi*. / A. Fukunaga, M.J. Anderson // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* – 2011. № 396(2). 244-252 p.

[10] Haraguchi H. Trace Element Analysis of Biological Samples by Analytical Atomic Spectroscopy. / H. Haraguchi, E. Fujimori, K. Inagaki // In: *Free Radical and Antioxidant Protocols*, 1st ed., Armstrong, D., Ed. Humana Press, Totowa, NJ. – 1998. 389-411 p.

[11] Biomagnification of Trace Elements in the Aquatic Food Web in the Mekong Delta, South Vietnam Using Stable Carbon and Nitrogen Isotope Analysis. / T. Ikemoto, N.P.C. Tu, N. Okuda, A. Iwata, K. Omori, S. Tanabe, B.C. Tuyen, I. Takeuchi // Arch Environ Contam Toxicol – 2008. № 54(3). 504-515 p.

[12] Cross-ecosystem impacts of stream pollution reduce resource and contaminant flux to riparian food webs. / J. M. Kraus, T.S. Schmidt, D.M. Walters, R.B. Wanty, R.E. Zuellig, R.E. Wolf // Ecological Applications. – 2014. № 24(2). 235-243 p.

[13] Acute Toxicity, Toxicokinetics, and Tissue Target of Lead and Uranium in the Clam *Corbicula fluminea* and the Worm *Eisenia fetida*: Comparison with the Fish *Brachydanio rerio*. / F. Labrot, J. F. Narbonne, P. Ville, M. Saint Denis, D. Ribera // Arch Environ Contam Toxicol – 1999. № 36(2). 167-178 p.

[14] Lakshmanan P.T. Bioaccumulation and depuration of some trace metals in the mussel, *Perna viridis* (Linnaeus). / P.T. Lakshmanan, P.N.K. Nambisan // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 1989. № 43(1). 131-138 p.

[15] Lee B.G., Lee J.S., Luoma S.N. Comparison of Selenium bioaccumulation in the clams *Corbicula fluminea* and *Potamocorbula amurensis*: a bioenergetic modeling approach. / B.G. Lee, J.S. Lee, S.N. Luoma // Environ Toxicol Chem. – 2006. № 25(7). 1933-1940 p.

© Чьонг Ван Туан, 2022

Поступила в редакцию 04.06.2022

Принята к публикации 15.06.2022

Для цитирования:

Чьонг Ван Туан. Накопление тяжелых металлов двустворчатыми моллюсками в экспериментальных условиях // Инновационные научные исследования. 2022. № 6-2(20). С. 6-14. URL: <https://ip-journal.ru/>