

УДК 574.633:594.1(571.63+597)

**АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МЯГКИХ ТКАНЯХ
ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ (BIVALVIA)
ИЗ ПРИРОДНЫХ ОЗЁР ВОСТОЧНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ (РОССИЯ)
И ДЕЛЬТЫ МЕКОНГА (ВЬЕТНАМ)**

**Член-корреспондент РАН В. В. Богатов^{1,*}, Л. А. Прозорова¹, Е. Н. Чернова²,
Е. В. Лысенко², Х. К. Нго (Xuan Quang Ngo)³, Т. Т. Тран (Thanh Thai Tran)³,
Н. С. Хоанг (Nghia Son Hoang)³**

Поступило 03.05.2018 г.

Исследовано накопление семи тяжёлых металлов ТМ в тканях двустворчатых моллюсков семейств Unionidae (роды *Ensidens*, *Scabies*, *Kunashiria*) и Cyrenidae (род *Corbicula*) из природных озёр восточного склона Сихотэ-Алиня (Приморский край, Россия) и дельты Меконга (Вьетнам). Установлено, что ряды убывания концентраций ТМ в телах исследованных моллюсков, обитающих в незагрязнённых водоёмах, специфичны для семейств и не зависят от географического положения водоёмов: для Unionidae $Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Cd > Pb$, а для Cyrenidae (*Corbicula*) $Fe > Zn > Cu > Mn > Ni \geq Cd > Pb$. Отклонения от установленной последовательности могут указывать на загрязнение водоёмов отдельными металлами или наличие природной геологической аномалии.

Ключевые слова: тяжелые металлы, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, аккумуляция, мягкие ткани, Bivalvia, *Corbicula*, Unionidae, природные озера, Приморский край, дельта Меконга.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524842206-208>

В литературе имеются обширные сведения по накоплению двустворчатыми моллюсками (Bivalvia) тяжёлых металлов (ТМ) из водоёмов, подверженных интенсивному загрязнению (см. [1, 2] и др.). Информации по накоплению ТМ этими беспозвоночными в незагрязнённых водных объектах недостаточно, однако она не менее актуальна. Имеются данные о том, что в подобных водоёмах накопление гидробионтами ТМ не коррелирует с их содержанием в воде и определяется биологическими особенностями организмов [3].

Цель исследования связана с выявлением общих закономерностей накопления ТМ массовыми видами двустворчатых моллюсков Unionidae и Cyrenidae на примере незагрязнённых водоёмов разных зоогеографических зон Восточной Азии.

Природными объектами, на которых решались поставленные задачи, были озёра Японское, Голубичное и Духовское, расположенные в умеренной климатической зоне на восточном склоне горной страны Сихотэ-Алинь (Приморский край, Россия), и тропическое озеро Бинтьен (Binh Thien, или Bung Binh Thien) из верхней части дельты р. Меконг (Вьетнам). В работе исследовано содержание Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в телах двустворчатых моллюсков *Kunashiria coptzevi* (Zatravkin et Bogatov, 1987) из озёр Японское и Голубичное, *Ensidens ingallsianus* (Lea, 1852) и *Scabies crispata* (Gould, 1843) из оз. Бинтьен (сем. Unionidae), а также моллюсков *Corbicula japonica* Prime, 1864 из оз. Духовское и *Corbicula* sp. из оз. Бинтьен (сем. Cyrenidae). Выбор указанных выше 7 элементов для исследования определялся их биологической значимостью в функционировании водных сообществ [1]. Отметим, что работы, посвящённые микроэлементному составу двустворчатых моллюсков из континентальных вод Тихоокеанской России и Вьетнама, малочисленны [4–6], а по моллюскам из водоёмов дельты Меконга отсутствуют вовсе.

В озёрах Японское, Голубичное и Духовское сборы моллюсков проведены в июле 2013 г., а в оз. Бинтьен — в апреле и сентябре 2017 г. Собранных моллюсков выдерживали 48 ч в воде

¹Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

²Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

³Institute of Tropical Biology, Vietnam Academy of Science and Technology, Ho Chi Minh, Vietnam

*E-mail: vibogatov@mail.ru

с места сбора, разбивали на размерно-возрастные группы по 2–10 экземпляров и препарировали, чтобы получить по 2,5 г сырой массы для каждой группы. Затем мягкие ткани высушивали в сушильном шкафу при температуре 85°C до постоянной массы. Полученные навески минерализовали азотной кислотой в микроволновой печи MARS 5 (CEM Corporation, USA) в лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Концентрацию металлов определяли атомно-абсорбционным методом на приборах Shimadzu AA 6800 в пламенном (Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd) и беспламенном (Pb) вариантах. Точность определения концентрации металла контролировали, анализируя стандартные образцы. Загрязнение реактивов контролировали, анализируя холостые пробы.

Из табл. 1 видно, что у исследованных Unionidae из Приморского края и Вьетнама содержание ТМ уменьшается в одинаковой последовательности: Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Cd > Pb. Такая же последовательность снижения степени аккумуляции ТМ оказалась свойственна и унионидам из рода Beringiana (Starobogatov et Zatravkin, 1983) из охраняемого как зоологический памятник природы камчатского озера Азабачье [5].

Для озёр, подверженных существенному антропогенному воздействию, аналогичные ряды ТМ у Unionidae могут выглядеть иначе. Например, *K. coptzevi* в оз. Васьковское (восточный склон Сихотэ-Алиня) характеризуются существенно большим накоплением Pb, занимающим четвертое место в ряду по убыванию металлов в мягких тканях этого вида, что объясняется аэротехногенным переносом этого элемента

из выбросов располагавшегося поблизости свинцово-плавильного завода [6].

Корбикулы из природных озёр Духовское и Бинтьен накапливали ТМ в сопоставимых количествах, но отличались от Unionidae иной последовательностью уменьшения их концентраций: Fe > Zn > Cu > Mn > Ni ≥ Cd > Pb. В мягких тканях корбикул в наибольших концентрациях содержались Fe, Zn и Cu, в то время как Mn, в отличие от Unionidae, занимал не первую, а лишь четвертую позицию, причём концентрации этого элемента оказались в 10–2000 раз ниже таковых у совместно обитающих с ними Unionidae (табл. 1). Обращает на себя внимание повышенное по сравнению с Unionidae накопление корбикулами меди. В частности, в оз. Бинтьен концентрации этого металла в тканях корбикул на порядок превышают содержание меди в теле унионид при сопоставимом содержании цинка (табл. 1). У дальневосточных *C. japonica* концентрации в тканях меди также значительно больше, чем у *K. coptzevi* (табл. 1). Избирательное накопление меди известно и для *Corbicula fluminea* (O. F. Müller, 1774), часто используемого в биомониторинге пресных вод [7, 8]. Способность к аккумуляции Cu также обнаружена у другого азиатского пресноводного представителя рода, интродуцированного ныне во многие страны мира, — *Corbicula fluminalis* (O. F. Müller, 1774) [9].

Таким образом, несмотря на значительное отдаление мест обитания изученных моллюсков (юго-восток и северо-восток Азии), содержание ТМ в мягких телах Unionidae и Cyrenidae оказалось специфично для семейств и для каждого из них уменьшалось в одинаковой последовательности.

Таблица 1. Концентрации тяжёлых металлов (мкг/г сухой массы) в мягких тканях Unionidae и Cyrenidae из природных озёр российского Дальнего Востока и Вьетнама

Вид	Озеро	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Unionidae								
<i>Kunashiria coptzevi</i>	Японское	5997 ± 2450	5023 ± 3090	4,2 ± 0,9	5,4 ± 0,9	263 ± 48	1,6 ± 0,4	1,11 ± 0,31
<i>Kunashiria coptzevi</i>	Голубичное	3089 ± 1705	2826 ± 1542	2,9 ± 0,9	4,5 ± 0,8	173 ± 29	0,9 ± 0,2	1,35 ± 1,23
<i>Ensidents ingallsianus</i>	Бинтьен	7786 ± 3356	1696 ± 616	2,8 ± 0,8	5,3 ± 2,2	251 ± 93	0,7 ± 0,2	0,22 ± 0,10
<i>Scabies crispata</i>	Бинтьен	4565 ± 1194	1579 ± 211	2,2 ± 0,2	6,2 ± 0,9	90 ± 24	0,4 ± 0,1	0,35 ± 0,30
Cyrenidae								
<i>Corbicula japonica</i>	Духовское	12 ± 8	283 ± 14	1,3 ± 0,1	13,2 ± 0,9	119 ± 3	1,3 ± 0,1	0,31 ± 0,04
<i>Corbicula sp.</i>	Бинтьен, апрель	4 ± 3	392 ± 111	1,5 ± 0,3	52,0 ± 21,9	81 ± 14	0,4 ± 0,2	0,06 ± 0,03
<i>Corbicula sp.</i>	Бинтьен, сентябрь	1,2 ± 0,9	212 ± 19	0,96 ± 0,1	49,9 ± 4,4	70 ± 3	1,0 ± 0,1	0,16 ± 0,01

необходимо учитывать при использовании их в качестве индикаторных организмов. По-видимому, отклонения от установленных схем накопления ТМ моллюсками могут указывать на загрязнения водоёмов этими элементами или природные аномалии. Полученные абсолютные значения ТМ в телах двусторчатых моллюсков в первом приближении могут быть рекомендованы в качестве фоновых уровней для дальнейших экологических исследований в Тихоокеанском регионе.

Работа выполнена при поддержке программы Дальневосточного отделения РАН “Дальний Восток” (грант ВАНТ17–007) и Вьетнамской академии наук и технологий (грант VAST.HTQT. NGA.01/17-18).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука, 2013. 343 с.
2. Rzymiski P., Niedzielski P., Klimaszuk P., Poniedzialek B. // Environ. Monit. Assess. 2014. V. 186. P. 3199–3212.
3. De Forest D. K., Brix K. V., Adams W. J. // Aquat. Toxicol. 2007. V. 84. P. 236–246.
4. Wagner A., Boman J. // Spectrochim. Acta. 2004. PtB59. P. 1125–1132.
5. Чернова Е. Н., Лобас Л. А., Ковалев М. Ю., Лысенко Е. В. // Вод. ресурсы. 2014. Т. 41. № 3. С. 312–318.
6. Богатов В. В., Богатова Л. В. // Экология. 2009. № 3. С. 202–208.
7. Graney R. L. Jr., Cherry D. S., Cairns J., Jr. // Hydrobiologia. 1983. V.102. P. 81–88.
8. Patrick C. H., Waters M. N., Golladay S. W. // BioInvasions Records. 2017. V. 6. Iss. 1. P. 39–48.
9. Al-Jaberi M. H. // Int. J. Mar. Sci. 2015. V. 5. № 39. P. 1–4. DOI: 10.5376/ijms.2015.05.0039.

BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOFT TISSUES OF BIVALVE MOLLUSKS FROM NATURAL LAKES IN EASTERN SIKHOTE-ALIN (RUSSIA) AND THE MEKONG DELTA (VIETNAM)

Corresponding Member of the RAS V. V. Bogatov, L. A. Prozorova, E. N. Chernova,
E. V. Lysenko, Xuan Quang Ngo, Thanh Thai Tran, Nghia Son Hoang

Received May 3, 2018

The concentrations of seven heavy metals (HMs) in tissues of bivalve mollusks of the families Unionidae (genera *Ensidens*, *Scabies*, *Kunashiria*) and Cyrenidae (genus *Corbicula*) and from four natural lakes located on the eastern slope of Sikhote Alin (Primorskii krai, Russian Far East) and the Mekong River delta (Vietnam) were determined. It was established that the HM concentrations in the bivalve mollusks studied, inhabiting unpolluted water reservoirs, are specific for every family and do not depend on the geographical positions of the lakes. They decrease in the following order: Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Cd > Pb for Unionidae, and Fe > Zn > Cu > Mn > Ni ≥ Cd > Pb for Cyrenidae (*Corbicula*). It is likely that deviations from the revealed sequence are due to anthropogenic pollution of lakes with some metals or the occurrence of a natural geological anomaly.

Keywords: heavy metals, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, bioaccumulation, soft tissues, Bivalvia, *Corbicula*, Unionidae, natural lakes, Primorye Territory, Mekong Delta.