

DOI: 10.24143/2073-5529-2018-1-132-140  
УДК 574.52: 543.31

Нгуен Тхи Тхуи Ньунг, И. В. Волкова

## К ВОПРОСУ О НАКОПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (Pb, Hg, As) В КОМПОНЕНТАХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ КРАСНАЯ (ХОНГХА) (ВЬЕТНАМ)

Изучались особенности накопления некоторых тяжелых металлов (свинец, ртуть, мышьяк) в системе «вода – донные отложения – моллюски» в устьевой области р. Красная (Хонгха, Вьетнам). Поставленные задачи заключались в определении содержания и накопления тяжелых металлов в отдельных компонентах устьевой области р. Красная (воде, взвешенном веществе, донных отложениях, мягких тканях и кишечнике моллюсков) и анализе движения тяжелых металлов. Исследования проводились в период основных гидрологических сезонов 2014–2016 гг. (половодья и межени). Распределение концентрации взвешенной формы свинца, ртути, мышьяка в воде устьевой области р. Красная характеризуется наличием максимума в устьях рукавов и общим убывающим градиентом в сторону моря. Для распределения тяжелых металлов во взвешенном веществе характерна значительная неоднородность, максимальная концентрация этих элементов наблюдалась в поверхностном слое воды на барьере «река – море». По величинам среднего коэффициента обогащения  $K_{в.в./д.о}$  изученные тяжелые металлы располагаются в следующей последовательности:  $Pb > Hg > As$ , т. е. содержание ртути и мышьяка в устьевой области р. Красная в максимальной степени наблюдалось в донных отложениях; а содержание свинца – во взвешенном веществе. Определена закономерность распределения тяжелых металлов в различных формах нахождения в донных отложениях. Накопления изученных тяжелых металлов в моллюсках *Meretrix lyrata* неодинаковы, что обусловлено концентрирующей способностью разных органов моллюсков и подвижностью самих металлов. По содержанию в мягких тканях и кишечнике моллюсков тяжелые металлы распределяются в следующем порядке:  $As > Pb > Hg$ . Накопление свинца в кишечнике моллюсков в 3 раза больше, чем в мягких тканях, а накопления мышьяка и ртути в кишечнике и мягких тканях почти одинаковы. Большинство твердых металлов моллюски накапливают из взвешенного вещества и органической фракции донных отложений.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, коэффициенты обогащения тяжелых металлов, донные отложения, моллюски *Meretrix lyrata*, биоаккумуляция.

### Введение

Устьевая область р. Красная (Хонгха) – одна из крупнейших во Вьетнаме, она в современных условиях состоит из дельты (14,6 тыс. км<sup>2</sup>) и устьевого взморья (1 300 км<sup>2</sup>) [1, 2]. На этой территории располагается мощный транспортно-промышленный узел на базе городов Северного Вьетнама [3]. Здесь также находятся основные площади рисовых полей. Такая концентрация производственных объектов обуславливает высокий уровень загрязнения в устьевой области р. Красная. В связи с этим изучение закономерностей распределения, состояния и поведения химических элементов на устьевом взморье р. Красная является актуальным для выявления уровня антропогенного загрязнения в районе исследования, прогнозирования экологических последствий воздействия на водную среду р. Красная.

**Цель работы** заключалась в исследовании процессов накопления тяжелых металлов (Pb, Hg, As) в системе «вода – донные отложения – моллюски». Для этого было изучено содержание и накопление тяжелых металлов (ТМ) в отдельных компонентах устьевой области р. Красная (воде, взвешенном веществе, донных отложениях, мягких тканях и кишечнике моллюсков) и проведен анализ движения ТМ.

### Материалы и методы исследования

Наблюдения проводились по следующим стационарам: по основному руслу р. Красная – на дельте (5 станций: С1–С5); станции С6–С8 относятся к устьям рукавов Чали, Балат и Нинько соответственно; станции С9 и С10 относятся к предустьевому взморью, расстояние между станциями составляет 15 км (рис. 1).

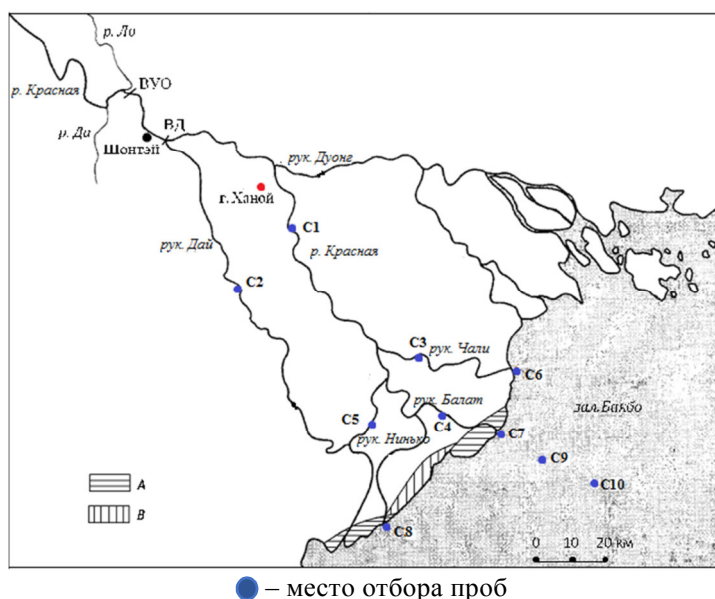


Рис. 1. Карта-схема устьевой области р. Красная (Хонгха):  
 ВД – вершина дельты; ВУО – вершина устьевой области;  
 районы сильного современного выдвигения дельты (А), размыва морского края дельты (В)

Исследования проводились в период основных гидрологических сезонов 2014–2016 гг. (половодья и межени). Определение ТМ в воде, взвешенных веществах, донных отложениях проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии [4–6]. Моллюски *Meretrix lyrata* отбирали также в 2 раза в год. Для эксперимента были использованы моллюски 3-летнего возраста. Выбор возрастной категории обусловлен вступлением организмов в период высокой биохимической и физиологической активности, повышением фильтрующей способности и, как следствие, повышенным концентрированием веществ из среды обитания [7]. Для исследования содержания ТМ мягкое тело моллюсков вынимали из раковины, разделяли мягкие ткани, среднюю и заднюю части кишечника [7, 8]. Далее определяли концентрацию ТМ методом атомно-абсорбционной спектрометрии, атомизацию проб осуществляли методом «холодного пара» [4, 9].

**Результаты исследования**

**Тяжелые металлы в воде и во взвешенном веществе.** В природных водах ТМ могут находиться в виде смеси различных форм: взвешенных, коллоидных и истинно растворенных частиц, свободных гидратированных катионов, оксо- и гидроксокомплексов, комплексов с неорганическими и особенно органическими лигандами [10].

Самые высокие концентрации растворенных форм Pb, Hg, As наблюдались в вершине дельты р. Красная, где сосредоточены химические предприятия, промышленные центры и рисовые поля.

Распределение концентрации взвешенной формы Pb, Hg, As в воде устьевой области р. Красная характеризуется наличием максимума в устьях рукавов. Из-за снижения скоростей течения в основном русле и дельтовых рукавах по мере приближения к морскому краю дельты и во взморье наблюдается процесс аккумуляции взвешенных веществ и сорбированных на них загрязняющих веществ [11]. По направлению к морю концентрация взвешенной формы этих элементов снижается со значительными градиентами, что сходно с распределением концентраций взвешенных веществ в водах устьевой области (табл. 1).

Таблица 1

**Концентрация взвешенной формы тяжелых металлов в воде устьевой области р. Красная**

№ станции	Глубина, м	S, %	Pb, мг/г	Hg, мг/г	As, мг/г
C1	1	0	675	28	32
	20	0	886	31	45

Окончание табл. 1

№ станции	Глубина, м	S, ‰	Pb, мг/г	Hg, мг/г	As, мг/г
C2	1	0	632	24,5	26
	15	0	741	27	31
C3	1	0	1012,5	60	62
	15	0	1104	35	50
C4	1	0	1251	80	84
	15	0	1233	95,4	95
C5	1	0	1044	52	45
	15	0	1063,2	78	80
C6	1	3	1 427	85	72
	10	15	2 459	98	92
C7	1	3	1 588	106	97
	10	16	3 328	252	134
C8	1	3,5	1 123	82	67
	10	16,5	2 571	122	92
C9	1	20	795	62	41
	20	26	1 412	115	77
C10	1	25	305	42	12
	20	26	47	51	28
	40	27	297	68	41

Вероятно, потери взвешенной формы данных элементов на геохимическом барьере «река – море» пропорциональны потерям самого взвешенного вещества, а распределение подчиняется циркумконтинентальной зональности: по мере удаления от устья уменьшается как общая концентрация взвеси, так и доля соединений ТМ в ее составе [10]. Так, можно отметить, что основным источником поступления элементов в устьевом взморье является речной сток.

Содержание ТМ во взвешенном веществе представлено в табл. 2.

Таблица 2

#### Содержание тяжелых металлов во взвешенном веществе устьевой области р. Красная

№ станции	Глубина, м	S, ‰	Pb, мкг/г	Hg, мкг/г	As, мкг/г
C1	1	0	15	0,07	0,06
	20	0	26	0,1	0,45
C2	1	0	12,5	0,05	0,05
	15	0	21	0,09	0,31
C3	1	0	22,5	0,2	0,5
	15	0	32,4	0,1	0,87
C4	1	0	27,8	0,45	0,54
	15	0	36,2	0,82	0,95
C5	1	0	23,2	0,38	0,45
	15	0	31,2	0,78	0,8
C6	1	3	51	0,5	0,72
	10	15	78	1,8	1,2
C7	1	3	55	0,6	0,94
	10	16	86	1,2	1,34
C8	1	3,5	48	0,45	0,67
	10	16,5	72	1,0	0,92
C9	1	20	68	0,9	1,41
	20	26	42	1,15	0,77
C10	1	25	32	0,08	0,22
	20	26	2	0,19	0,28
	40	27	31	0,68	0,81

Как видно из табл. 2, для распределения Pb, Hg, As во взвешенном веществе характерна значительная неоднородность. Максимальные концентрации этих элементов наблюдались в поверхностном слое воды на станции С9 (концентрации Pb, Hg, As 68; 0,9; 1,41 мкг/г соответственно). Это может быть обусловлено флокуляцией неорганических и органических растворенных веществ с сопутствующим захватом растворенных форм металлов. Данный процесс является основным механизмом извлечения растворенных микроэлементов во время перемешивания вод и имеет максимум интенсивности в диапазоне солености 15–20 ‰ [12].

В распределении Pb, Hg, As во взвешенном веществе по глубинам не выявлено выраженной тенденции. Неоднородное распределение ТМ зависит от состава взвешенных частиц, короткого времени жизни вод устьевого взморья и соотношения между процессами сорбции ТМ на взвешенных частицах и десорбции, приводящих к мобилизации взвешенной формы ТМ в раствор.

**Распределение тяжелых металлов между взвешенной фазой и фазой донных отложений.** На рис. 2 представлены сравнительные гистограммы содержания изучаемых элементов во взвешенном веществе поверхностного слоя воды ( $ВВ_{пов}$ ), взвешенном веществе придонного слоя воды ( $ВВ_{дно}$ ) и в поверхностном слое донных отложений (ДО) на станциях С1, С7, С9, С10, приуроченных к дельте, речному, среднему и морскому районам устьевого области р. Красная.

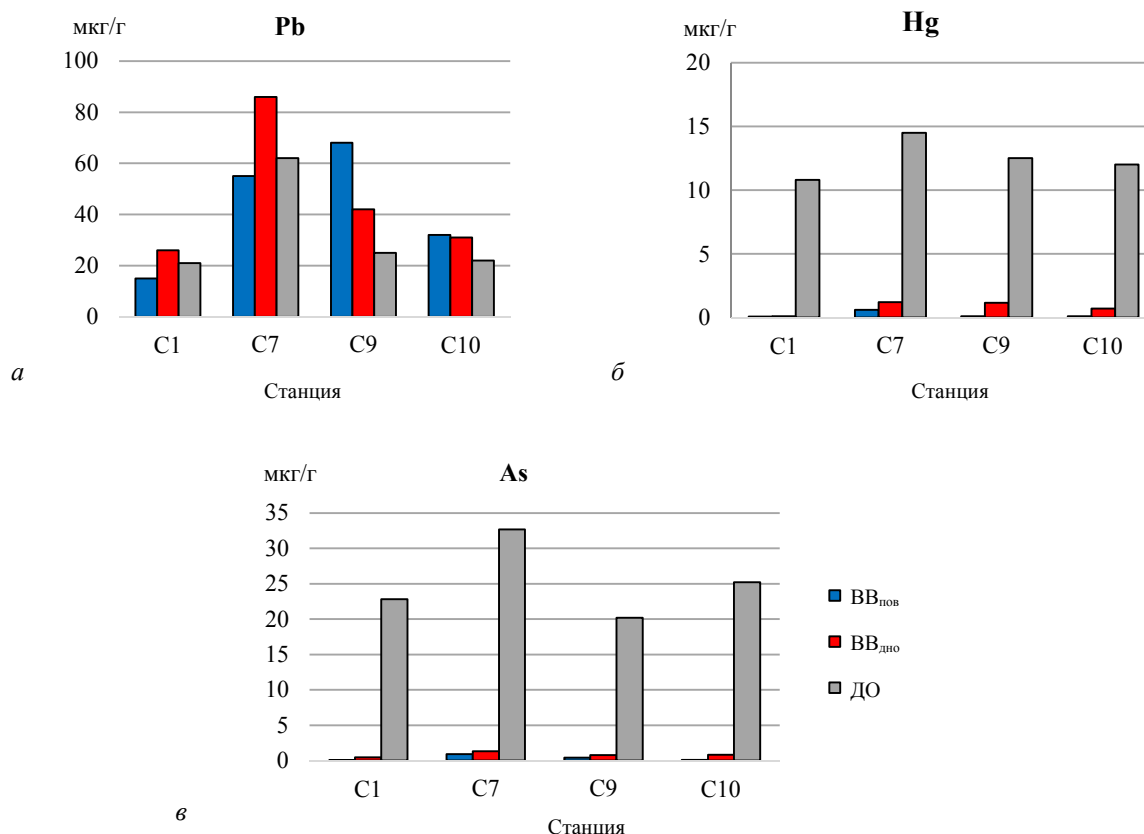


Рис. 2. Сравнительные гистограммы содержания изучаемых элементов во взвешенном веществе поверхностного слоя воды ( $ВВ_{пов}$ ), во взвешенном веществе придонного слоя воды ( $ВВ_{дно}$ ) и в донных отложениях (ДО) на основных частях устьевого области р. Красная в 2014–2016 гг.: а – свинец; б – ртуть; в – мышьяк

Распределение Hg, Pb и As отличается следующими особенностями: содержание Hg и As в устьевого области р. Красная наблюдалось в порядке возрастания:  $ВВ_{пов} < ВВ_{дно} < ДО$ ; в распределении общей особенностью является преобладание взвешенной фазы данных элементов над фазой донных отложений.

На станции С7 (устье рук. Балат) наблюдался максимум содержания всех изученных металлов во взвешенном веществе поверхностного водного слоя и донных отложениях.

Для исследования характеристики распределения ТМ между взвешенной формой и донными отложениями необходимо определить коэффициенты обогащения ТМ ( $K_{в.в/д.о}$ ) [13–15]. Результаты расчета этих коэффициентов на станциях С1, С7, С9, С10, приуроченных к дельте, речному устью, среднему и морскому районам устьевой области р. Красная, приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициенты обогащения взвешенного вещества тяжелыми металлами  
поверхностного слоя донных отложений**

№ станции	$K_{Pb}$	$K_{Hg}$	$K_{As}$
С1	0,71	0,01	0,003
С7	0,89	0,04	0,03
С9	2,72	0,01	0,02
С10	1,45	0,01	0,005
Среднее значение	1,44	0,02	0,01

По величинам среднего коэффициента обогащения  $K_{в.в/д.о}$  изученные тяжелые металлы образуют следующий убывающий ряд:  $Pb > Hg > As$ .

Средние значения  $K_{в.в/д.о}$  для Hg и As составляют 0,003–0,04. Содержание этих металлов повышено в донных отложениях относительно взвешенного вещества. Вероятно, эти элементы связаны преимущественно с минеральной глинистой компонентой твердого речного стока и накапливаются в составе донных отложений в геохимически инертной форме [10].

Коэффициент  $K_{в.в/д.о}$  для Pb варьирует в широких пределах (0,71–2,72) в различных частях, т. е. распределение этого металла зависит не только от процессов адсорбции взвешенными веществами, но и от физико-химических процессов, протекающих в различных частях устьевого взморья.

**Формы нахождения тяжелых металлов в донных отложениях.** В донных отложениях концентрации изученных ТМ в десятки и сотни раз больше, чем в растворенных и взвешенных формах. Здесь они существуют в различных формах нахождения. Результаты исследования форм нахождения ТМ представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Формы нахождения ТМ в донных отложениях устьевой области р. Красная**

Металл	Валовые формы	Карбонатная фракция		Фракция железомарганцевых оксидов		Органическая фракция		Остаточная фракция	
		мкг/г	%	мкг/г	%	мкг/г	%	мкг/г	%
Pb	62/25*	—**	0,0	19,1/7,3	30,8/29,2	24,7/9,8	39,8/39,2	18,2/7,9	29,3/31,6
Hg	14,5/12	—	0,0	—	0,0	0,13/0,1	0,9/0,83	14,37/11,9	99,1/99,17
As	32,7/25,2	0,15/0,1	0,47/0,4	2,1/1,5	6,4/5,95	3,45/2,55	10,55/10,12	27/21,05	82,6/83,53

\* Числитель – значения в речной части, знаменатель – в морской части.

\*\* Не наблюдалась.

Свинец присутствует во фракции железомарганцевых оксидов (29,2–30,8 %), органической (более 39 %) и остаточной фракции, отсутствует в карбонатной.

Мышьяк в донных отложениях присутствует во всех фракциях нахождения: в карбонатной фракции (0,4–0,47 %), фракции железомарганцевых оксидов (5,95–6,4 %), органической (10,1–10,55 %) и остаточной фракции (более 80 %)

Ртуть в донных отложениях на всех станциях устьевой области р. Красная не наблюдалась во фракциях карбонатной и железомарганцевых оксидов. Основная часть ртути присутствует в остаточной (неподвижной) фракции.

Таким образом, преобладание доли изученных ТМ в остаточной (неподвижной) фракции, по сравнению с другими фракциями, наблюдается на всех станциях. Однако присутствие значительной части свинца в органической фракции говорит о том, что в донных отложениях данный элемент подвижнее, чем другие изученные металлы. В речной части устьевой области доля большинства фракций ТМ (за исключением остаточной фракции) больше, чем в морской части.

В распределении ТМ в донных отложениях устьевой области наблюдалась следующая закономерность: «остаточная (минеральная) фракция > органическая фракция > фракция железомарганцевых оксидов > карбонатная фракция > растворенная фракция в воде».

**Аккумуляция ТМ в моллюски *Meretrix lyrata*.** Содержание ТМ в мягких тканях и кишечнике (средней и задней части) двустворчатых моллюсков *Meretrix lyrata* отражено на рис. 3.

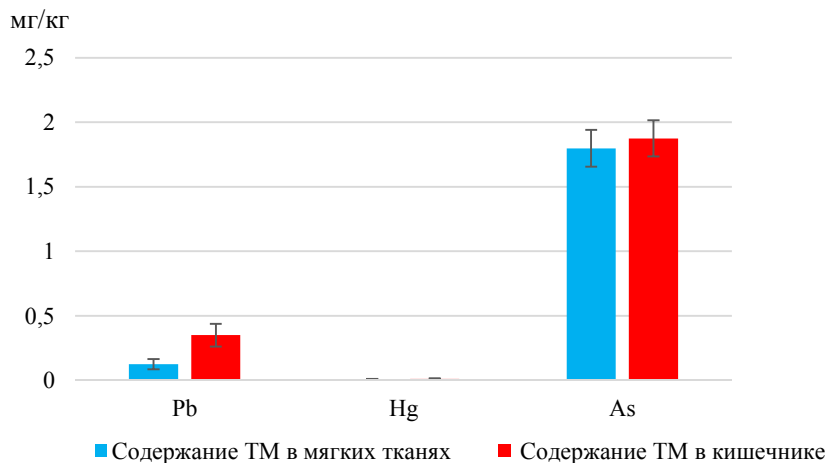


Рис. 3. Накопление ТМ в разных органах моллюсков *Meretrix lyrata* в устьевой области р. Красная

Согласно полученным результатам содержание всех изученных тяжелых металлов не превысило ПДК (для пищевых продуктов) Вьетнама.

Анализ накопления токсикантов в органах *Meretrix lyrata* показал неодинаковое их накопление. В мягких тканях и в кишечнике моллюсков содержатся все три изученных металла, однако концентрация ТМ в кишечнике больше (в 1,1–3 раза), чем в мягких тканях. Неодинаковое накопление ТМ в моллюсках объясняется, вероятно, разной концентрирующей способностью органов, способом биоаккумуляции и уровнем подвижности самих металлов [7].

Содержание Hg и As в тканях и кишечнике наблюдалось практически на одном уровне (Hg 0,01 ± 0,001 и 0,012 ± 0,004 мг/кг; As – 1,8 ± 0,14 и 1,88 ± 0,14 мг/кг соответственно), т. е. из пищеварительного тракта данные элементы переходят в мягкие ткани, где и накапливаются.

Средняя концентрация свинца в среднем и заднем отделе кишечника моллюсков (0,35 ± 0,09 мг/кг) в 3 раза выше, чем его концентрация в мягких тканях (0,125 ± 0,04 мг/кг). Большинство Pb содержится в кишечнике, т. к. данный элемент легко накапливается и имеет низкую подвижность. Помимо незначительного содержания Pb в растворенной форме, его высокое содержание отмечается во взвешенной форме и в донных отложениях, т. е. большинство Pb попадает в моллюски из взвешенного вещества и органической фракции донных отложений.

По сравнению с другими металлами, накопление As в теле моллюсков максимально. Мышьяк значительно распространен во всех формах: растворенной, взвешенной и всех фракциях донных отложений.

### Выводы

Распределение взвешенной формы Pb, Hg, As в воде устьевой области р. Красная характеризуется наличием максимума в устьях рукавов и общим убывающим градиентом в сторону моря.

Для распределения Pb, Hg, As во взвешенном веществе характерна значительная неоднородность. Максимальные концентрации этих элементов наблюдались в поверхностном слое воды на барьере «река – море».

По величинам среднего коэффициента обогащения  $K_{в.в./д.о}$  изученные тяжелые металлы располагаются в следующей последовательности: Pb > Hg > As, т. е. содержание ртути и мышьяка в устьевой области р. Красная наблюдалось в порядке  $ВВ_{пов} < ВВ_{дно} < ДО$ , а содержание свинца –  $ВВ > ДО$ .

Закономерность распределения ТМ в различных формах нахождения в донных отложениях, наблюдавшуюся в устьевой области р. Красная, можно представить следующим рядом: остаточная фракция (минеральная фракция) > органическая фракция > фракция железомарганцевых оксидов > карбонатная фракция > растворенная в воде фракция.

В зависимости от концентрирующей способности разных органов моллюсков и подвижности самих металлов накопления изученных тяжелых металлов в моллюсках *Meretrix lyrata* неодинаковы. По содержанию ТМ в мягких тканях и кишечнике моллюсков ТМ распределяют в следующем порядке: As > Pb > Hg. Накопление Pb в кишечнике в 3 раза выше, чем в мягких тканях, а накопления As и Hg в кишечнике и мягких тканях почти одинаковы. Большинство ТМ в моллюски попадают из взвешенного вещества и органической фракции донных отложений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исупова М. В., Михайлов В. Н. Гидрологические процессы в устьевой области р. Хонгха (Красная) // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 5. С. 524–537.
2. Нгуен Т. Т. Н., Волкова И. В. Сравнительный анализ возможности применения методов расчета интегрального показателя качества воды для оценки воды в устьевой области реки Красная. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26236> (дата обращения: 27.09.2017).
3. Кы Н. В. Устьевые области рек Вьетнама. Одесса: Астропринт, 2004. 360 с.
4. ПНД Ф14.1:2:4.139–98. Методика выполнения измерений массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа, серебра в питьевых, природных и сточных водах методом атомно-адсорбционной спектрометрии. М.: Гос. ком. РФ по охр. окруж. среды, 1998. 24 с.
5. Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. СПб.: «Крисмас+», 2004. 248 с.
6. Новиков М. А. К вопросу о фоновых значениях уровней содержания тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря // Вестн. МГТУ. 2017. Т. 20. № 1/2. С. 280–288.
7. Pham Kim Phuong, Nguyen Thi Dung. To study accumulation of heavy metals As, Cd, Pb and Hg in Bivalves from natural environment // Science and technology (in Vietnam). 2007. Vol. 45, No. 5. P. 57–62.
8. Лавриненко А. В., Ильясова Г. Х. Накопление тяжелых металлов в моллюсках дельты реки Волги // Естественные науки. 2010. Т. 4. № 33. С. 18–20.
9. Воробьев В. И., Зайцев В. Ф., Щербакова Е. Н. Биогенная миграция тяжелых металлов в организме русского осетра (*Acipenser guldenstadti* Brandt): моногр. Астрахань: ООО «ЦНТЭП», 2007. 116 с.
10. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 270 с.
11. Полонский В. Ф. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря. М.: ГЕОС, 1998. 280 с.
12. Чухлебова Л. М., Бердилов Н. В. Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и мышцах рыб среднего течения р. Амур // Региональные проблемы. 2011. Т. 14. № 1. С. 54–58.
13. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: Изд-во ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
14. Шулькин В. М. Геохимия металлов при седиментогенезе в прибрежной зоне моря // Геохимия. 1990. № 3. С. 457–462.
15. Павлов Д. С. Экология внутренних вод Вьетнама. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2014. 435 с.

Статья поступила в редакцию 30.10.2017

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Нгуен Тхи Тхуи Ньунг** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры гидробиологии и общей экологии; [nhung\\_nguyen@mail.ru](mailto:nhung_nguyen@mail.ru).

**Волкова Ирина Владимировна** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; г-р биол. наук, профессор; профессор кафедры гидробиологии и общей экологии; [gridasova@mail.ru](mailto:gridasova@mail.ru).



Nguyen Thi Thuy Nhung, I. V. Volkova

## TO THE QUESTION OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS (Pb, Hg, As) IN THE COMPONENTS OF AQUATIC ECOSYSTEMS OF ESTUARINE AREA OF THE RED RIVER (VIETNAM)

**Abstract.** The paper focuses on the peculiarities of accumulating heavy metals (Pb, Hg, As) in the system "water – bottom sediments – mollusks" in the estuary of the Red river (Vietnam). The objectives established in the work were to determine concentration and accumulation of heavy metals in different components of the estuarine area of the Red river (water, suspended solids, sediments, soft tissues and intestines of shellfish) and to analyze the dynamics of heavy metals. The studies were conducted during the main hydrological seasons in 2014-2016 (high water and low water periods). The suspended Pb, Hg, As concentration in the waters of the mouth area of the Red river is maximum in the mouths of the arms and gradually decreases towards the sea. The distribution of Pb, Hg, As in suspended solids is characterized by a considerable unevenness, the maximum concentration of these elements was observed in the surface water layer on the river-sea frontier. According to the average values of the enrichment coefficient  $K_{SS/BS}$ , the studied heavy metals arrange in the following order:  $Pb > Hg > As$ , i.e. the maximum contents of Hg and As in the mouth area of the Red river were observed in sediments, maximum content of Pb - in suspension. There has been found a mechanism of distributing heavy metals in different forms in sediments. Accumulating the studied heavy metals in mollusks *Meretrix lyrata* is uneven, which is both stipulated by physical abilities of different body organs of the mollusks and movability of the metals. According to the content of heavy metals in the soft tissues and intestines of mollusks, heavy metals are distributed in the following order:  $As > Pb > Hg$ . Accumulation of Pb in the intestine is 3 times greater than in soft tissues, but accumulation of As and Hg in the intestine and soft tissues are almost identical. Mollusks take most heavy metals from the suspended matter and organic fraction of bottom sediments.

**Key words:** heavy metals, enrichment coefficients of heavy metals, bottom sediments, mollusks *Meretrix lyrata*, bioaccumulation.

### REFERENCES

1. Isupova M. V., Mikhailov V. N. *Gidrologicheskie protsessy v ust'evoi oblasti r. Khongkha (Krasnaia) [Hydrological processes in the estuarine area of the river Khongha (Red)]. Vodnye resursy, 2011, vol. 38, no. 5, pp. 524-537.*
2. Nguen T. T. N., Volkova I. V. *Sravnitel'nyi analiz vozmozhnosti primeneniia metodov rascheta integral'nogo pokazatelya kachestva vody dlia otsenki vody v ust'evoi oblasti reki Krasnaia [Comparative analysis of possibility to apply methods of calculating water quality integral indicator to assess water in the estuarine area of the Red river]. Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26236> (accessed: 27.09.2017).*
3. Ky N. V. *Ust'evye oblasti rek V'etnama [Estuarine areas of the rivers of Vietnam]. Odessa, Astroprint Publ., 2004. 360 p.*
4. PND F 14.1:2:4.139 – 98. *Metodika vypolneniia izmerenii massovykh kontsentratsii kobal'ta, nikelia, medi, tsinka, khroma, margantsa, zheleza, serebra v pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vodakh metodom atomno-adsorbtsionnoi spektrometrii [ERD F14.1:2:4.139-98. Technique of measuring mass concentrations of cobalt, nickel, copper, zinc, chrome, manganese, iron, silver in potable, natural and waste waters by means of atomic adsorption spectrometric method]. Gosudarstvennyi komitet Rossiiskoi Federatsii po okhrane okruzhaiushchei sredy, 1998. 24 p.*
5. Murav'ev A. G. *Rukovodstvo po opredeleniiu pokazatelei kachestva vody polevymi metodami [Manual on determining the criteria of water quality using field methods]. Saint-Petersburg, «Krismas+» Publ., 2004. 248 p.*
6. Novikov M. A. *K voprosu o fonovykh znacheniiakh urovnei sodержaniia tiazhelykh metallov v donnykh otlozheniiakh Barentseva moria [To the problem of background level values of heavy metal concentration in the sediment of the Barents Sea]. Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2017, vol. 20, no. 1/2, pp. 280-288.*
7. Pham Kim Phuong, Nguyen Thi Dung. *To study accumulation of heavy metals As, Cd, Pb and Hg in Bivalves from natural environment. Science and technology (in Vietnam), 2007, vol. 45, no. 5, pp. 57-62.*
8. Lavrinenko A. V., Il'iasova G. Kh. *Nakoplenie tiazhelykh metallov v molliuskakh del'ty reki Volgi [Accumulation of heavy metals in mollusks of the Volga delta]. Estestvennye nauki, 2010, vol. 4, no. 33, pp. 18-20.*
9. Vorob'ev V. I., Zaitsev V. F., Shcherbakova E. N. *Biogennaia migratsiia tiazhelykh metallov v organizme russkogo osetra (Acipenser guldenstadti Brandt): monografiia [Biogenic migration of heavy metals in the body of the Russian sturgeon (Acipenser guldenstadti Brandt): monograph]. Astrakhan, OOO «TsNTEP», 2007. 116 p.*



10. Linnik P. N., Nabivanets B. I. *Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh* [Forms of metals migration in the surface fresh waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1986. 270 p.
11. Polonskii V. F. *Ust'evaia oblast' Volgi: gidrologo-morfologicheskie protsessy, rezhim zagriazniaiushchikh veshchestv i vliianie kolebanii urovnia Kaspiiskogo moria* [Estuarine area of the Volga: hydrological and morphological processes, regime of contaminating substances and influence of fluctuations of the Caspian Sea levels]. Moscow, GEOS Publ., 1998. 280 p.
12. Chukhlebova L. M., Berdikov N. V. Osobennosti nakopleniia tiazhelykh metallov v vode, donnykh otlozheniiakh i myshtsakh ryb srednego techeniia r. Amur [Characteristics of accumulating heavy metals in water, sediments and fish muscles in the middle reaches of the Amur river]. *Regional'nye problemy*, 2011, vol. 14, no. 1, pp. 54-58.
13. Shitikov V. K., Rozenberg G. S., Zinchenko T. D. *Kolichestvennaia gidroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii* [Quantitative hydroecology: methods of the system identification]. Tolyatti, Izd-vo IEVB RAN, 2003. 463 p.
14. Shul'kin V. M. Geokhimiia metallov pri sedimentogeneze v pribrezhnoi zone moria [Geochemistry of metals under sedimentogenesis in the coastal zone]. *Geokhimiia*, 1990, no. 3, pp. 457-462.
15. Pavlov D. S. *Ekologiya vnutrennikh vod V'etnama* [Ecology of the inland waters of Vietnam]. Moscow, T-vo nauch. izdaniia KMK, 2014. 435 p.

The article submitted to the editors 30.10.2017

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Nguyen Thi Thuy Nhung** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Hydrobiology and General Ecology; [nhung\\_nguyen@mail.ru](mailto:nhung_nguyen@mail.ru).

**Volkova Irina Vladimirovna** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Biology, Professor; Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; [gridasova@mail.ru](mailto:gridasova@mail.ru).

