

УДК [543.421/423:543.39]:[551.351.2:577.58:577.118]

А. В. Махлун

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КОРМОВЫХ БЕНТОСНЫХ ОРГАНИЗМОВ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ

Проведено количественное определение таких микроэлементов, как никель, кобальт, свинец, марганец, медь, цинк в грунтах и моллюсках (раковина, мягкие ткани, раковина вместе с мягкими тканями моллюска) пресноводных водоемов дельты р. Волги (тип грунта – песчаный, илистый; виды моллюсков – *Dreissena polymorpha*, *Anodonta cignea*, *Viviparus viviparus*) и Северном Каспии (тип грунта – ракуша, песок + ракуша; виды моллюсков – *Cerastoderma edule*, *Mytilaster lineatus*). Проанализировано 90 образцов грунта и 250 образцов моллюсков. Исследование содержания металлов в донных отложениях моря и в грунтах пресноводных водоемов в зависимости от типа грунта и глубины показало, что в донных отложениях моря микроэлементы по их средней концентрации можно расположить в следующий убывающий ряд: $Pb > Ni > Zn > Co > Cu > Mn$, в донных отложениях водоемов – $Co > Ni > Pb > Zn > Cu > Mn$. Установлены видовые отличия по микроэлементному составу у пресноводных моллюсков (в зависимости от степени концентрации элементов в грунте водоемов) и морского зообентоса (в зависимости от фракционного состава донных отложений и глубины обитания моллюсков).

Ключевые слова: грунт, донные отложения, пресноводные моллюски, морские моллюски, микроэлементы.

Введение

Накопление микроэлементов в водоемах находится в непосредственной зависимости от состава и типа грунтов, наличия мелкодисперстных частиц – основных сорбентов элементов. Речной сток наносов является одним из важнейших факторов, обуславливающих пространственную неоднородность концентраций металлов в донных отложениях водоемов. Кроме того, речной сток способствует формированию в поверхностном слое осадков в зависимости от донного рельефа, резких переходов от одного типа отложений к другому (илистых, песчаных, ракушечных) [1].

Моллюски являются составной частью кормовой базы рыб любого водоема, кроме того, они выступают основными организмами-деструкторами отмирающей органики. Через моллюсков проходят потоки микроэлементов, которые впоследствии откладываются в донные осадки. Моллюски способны поглощать элементы и из окружающей среды [2].

Целью исследования явился анализ микроэлементного состава пресноводных и морских бентосных кормовых организмов промысловых рыб.

Материалы и методы исследования

В ходе исследований было проанализировано 90 образцов грунта и 250 образцов моллюсков (раковина, мягкие ткани, раковина вместе с мягкими тканями моллюска), отобранных в водоемах дельты р. Волга (тип грунта – песчаный, илистый; виды моллюсков – *Dreissena polymorpha*, *Anodonta cignea*, *Viviparus viviparus*) и Северном Каспии (тип грунта – ракуша, песок + ракуша; виды моллюсков – *Cerastoderma edule*, *Mytilaster lineatus*).

Пробы отбирались и подготавливались по существующему стандарту по отбору и подготовке проб для химического анализа грунтов [3].

Микроэлементы (никель, кобальт, свинец, марганец, медь, цинк) определялись по методическим указаниям атомно-абсорбционного анализа [4, 5] на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Hitachi 180-50».

Результаты исследований

Микроэлементы в пресноводных грунтах. Максимальными концентрациями из изученных нами микроэлементов в илистых грунтах р. Кривая Болда и песчаных грунтах р. Волга характеризуется цинк с диапазоном концентраций 14,35–22,4 мг/кг, концентрации никеля, свинца

и марганца находятся в диапазоне 9–14 мг/кг, минимальные концентрации отмечены у эссенциальных микроэлементов – кобальта и меди (4,65–5,4 мг/кг).

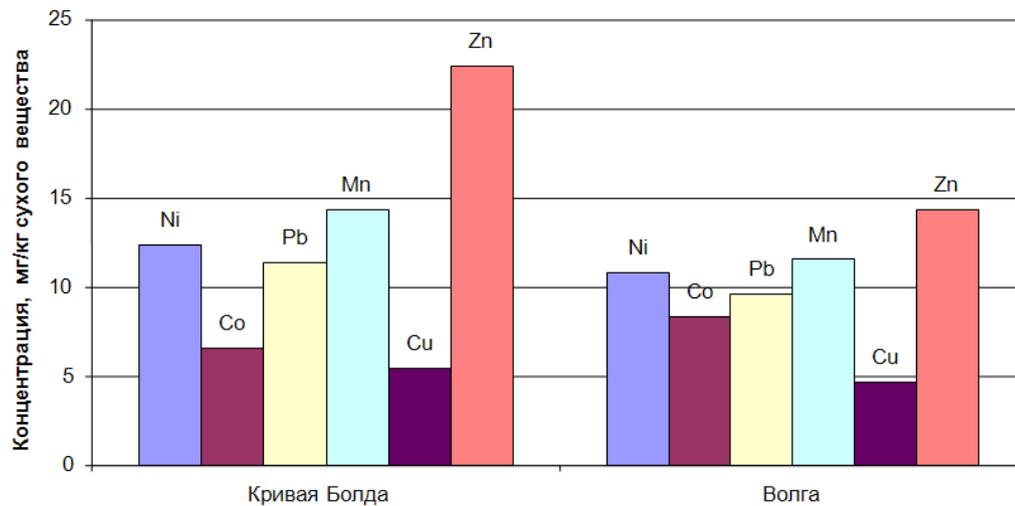


Рис. 1. Содержание металлов в грунтах пресноводных водоемов

Микроэлементы в пресноводных моллюсках. Накопление микроэлементов представителями пресноводной малакофауны находится в прямой зависимости от степени концентрирования элементов в грунтах водоемов.

Для сравнения микроэлементного состава пресноводных моллюсков были выбраны 3 вида – дрейссена, беззубка и живородка, обитающие как на илистых (р. Кривая Болда), так и на песчаных (р. Волга) грунтах (табл. 1). Данные моллюски являются эврибионтами, поэтому способны обитать на обоих типах грунтов, что является их биологической особенностью.

В ходе исследований было установлено, что в раковинах и мягких тканях дрейссены, обнаруженной в песчаных грунтах р. Волга, содержание почти всех элементов (за исключением марганца и цинка) были больше, чем в илистых грунтах р. Кривая Болда. Концентрация таких элементов, как свинец, марганец, медь и цинк в мягких тканях моллюска из р. Волга порой была в 1,5–2 раза больше, чем в мягких тканях моллюска из р. Кривая Болда. В беззубке, отобранной из р. Кривая Болда, содержание элементов было выше, чем в моллюске из р. Волга, за исключением меди и цинка. Большие различия отмечались также в степени накопления ряда элементов в река Волга и Кривая Болда. Например, свинца в раковинах было больше почти в 8 раз, цинка в мягких тканях – почти в 4 раза, а марганца – в 18 раз! В живородке, так же как и в беззубке, наибольшее накопление элементов отмечалось в моллюсках, отобранных из р. Кривая Болда.

Анализ значений коэффициента концентрации (K_k) в системе моллюски-грунт (табл. 1) выявил, что у дрейссены в р. Кривая Болда (на песчаных грунтах) этот показатель составляет 0,7–1,6, т. е. моллюск не является организмом-концентратором изученных элементов, кроме меди, которая концентрируется мягкими тканями моллюска ($K_k = 2,9$). Этот же вид из р. Волга, но обитающий на илистых песках, является концентратором свинца, который накапливается как раковинами, так и мягкими тканями, а также меди и цинка, накапливаемых телом моллюска. Противоположную динамику имеет этот показатель у беззубки, обитающей на песчаных грунтах р. Кривая Болда. Беззубка в целом обладает повышенной концентрирующей способностью по отношению к никелю, кобальту и свинцу, а также к марганцу и цинку, которые накапливаются мягкими тканями. Этот же вид из р. Волга (илистые грунты) не является концентратором изученных микроэлементов, кроме меди и цинка, накапливаемых в теле гидробионта. Еще одна особенность установлена для раковины живородки, которая, по сравнению с ее телом, обладает повышенной утилизирующей способностью по отношению к никелю, кобальту и свинцу, а также к меди и цинку, накапливающимся мягкими тканями. Данная особенность обнаруживается у живородки как в р. Кривая Болда, так и в р. Волга.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в моллюсках водоемов дельты р. Волги

Вид моллюска	Место отбора проб	Глубина, м	Тип грунта	Микроэлементы, мг/кг сухой массы											
				Ni		Co		Pb		Mn		Cu		Zn	
				Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани
<i>Dreissena polymorpha</i>	Кривая Болда	2	П	12,90 ± 1,6	9,80 ± 1,6	7,00 ± 1,1	5,70 ± 0,1	18,60 ± 2,2	13,40 ± 1,2	13,10 ± 1,9	12,50 ± 0,7	3,90 ± 0,7	15,60 ± 2,4	21,90 ± 3,1	29,40 ± 2,4
				1,04	0,8	1,06	0,86	1,6	1,2	0,9	0,86	0,7	2,9	0,98	1,3
	Волга	2	И	18,45 ± 0,05	11,35 ± 0,15	10,45 ± 0,15	5,70 ± 0,1	20,15 ± 0,15	21,55 ± 0,05	5,75 ± 0,25	2,35 ± 0,25	5,15 ± 0,15	29,35 ± 0,25	4,50 ± 0,1	49,90 ± 0,7
				1,7	1,05	1,25	0,7	2,1	2,2	0,5	0,2	1,1	6,4	0,3	3,5
<i>Anodonta cingea</i>	Кривая Болда	2	П	28,10 ± 0,1	28,40 ± 3,81	13,40 ± 0,8	15,10 ± 3,8	52,00 ± 3,6	41,70 ± 4,2	8,30 ± 0,7	118,87 ± 5,63	4,90 ± 0,7	7,90 ± 0,7	6,20 ± 2,2	116,85 ± 9,8
				2,3	2,3	2,0	2,3	4,6	3,6	0,57	8,2	0,9	1,5	0,27	5,2
	Волга	2	И	12,05 ± 0,25	9,50 ± 0,2	4,85 ± 0,05	10,25 ± 0,15	6,60 ± 0,2	15,30 ± 0,1	3,45 ± 0,15	6,50 ± 0,1	4,40 ± 0,2	14,00 ± 0,5	8,40 ± 0,2	30,5 ± 3,6
				1,1	0,88	0,58	1,2	0,7	1,6	0,3	0,6	0,94	3,0	0,6	2,1
<i>Viparus viviparus</i>	Кривая Болда	2	П	30,00 ± 1,2	16,80 ± 3,84	17,40 ± 1,2	8,60 ± 0,01	55,65 ± 1,55	18,00 ± 0,2	1,50 ± 0,1	9,30 ± 0,5	5,80 ± 1,10	17,10 ± 2,9	12,10 ± 3,1	71,70 ± 5,5
				2,4	1,3	2,6	1,3	4,9	1,6	0,1	0,6	1,07	3,2	0,5	3,2
	Волга	2	И	21,50 ± 0,25	9,10 ± 0,1	13,85 ± 0,15	12,90 ± 0,1	50,80 ± 0,2	28,20 ± 0,2	3,25 ± 0,15	1,10 ± 0,1	6,60 ± 0,2	9,55 ± 0,25	19,50 ± 0,1	30,10 ± 0,1
				2,0	0,8	1,7	1,5	5,3	2,9	0,27	0,09	1,4	2,1	1,4	2,1

Примечание. П – песчаный; И – илистый.

Микроэлементы в донных отложениях Северного Каспия. Степень накопления микроэлементов в донных отложениях зависит от их фракционного состава – максимальным количеством из исследованных нами элементов характеризуется свинец – от 36,2 до 55,8 мг/кг сухого вещества (рис. 2). Никель накапливается чуть меньше – 17,8–29 мг/кг. Минимальные концентрации были отмечены у таких металлов, как медь (3,6–6,0 мг/кг) и марганец (0,8–5,6 мг/кг).

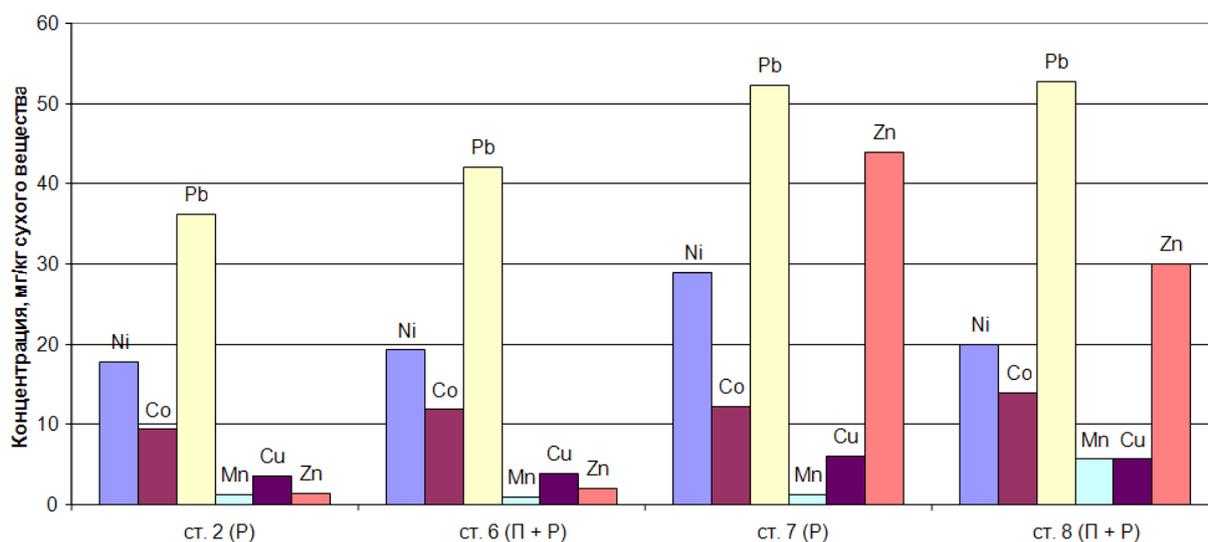


Рис. 2. Содержание металлов в донных отложениях моря

Микроэлементы в морских моллюсках. Микроэлементный состав моллюсков моря зависит как от фракционного состава донных отложений, так и от глубины распространения гидробионтов.

Так, в церастодерме, обитающей на ракушечнике, содержание микроэлементов увеличивается с глубиной (табл. 2). Минимальные количества изученных микроэлементов отмечены у церастодермы, отобранной с глубины 15 м на песчано-ракушечных грунтах (эта закономерность присуща как раковинам, так и мягким тканям). Микроэлементный состав митилястера характеризуется, во-первых, более высокими концентрациями элементов по сравнению с церастодермой, а, во-вторых, при увеличении глубины и переходе от грунта песчано-ракушечного к ракушечному происходит уменьшение концентрации изученных микроэлементов.

Представляет интерес не только абсолютное содержание микроэлементов в моллюсках, но и коэффициент концентрации их организмом относительно грунта (табл. 2). Выявлено, что все минимальные значения соответствуют концентрации свинца в мягких тканях церастодермы, а все максимумы характерны для цинка в теле данного моллюска. Абсолютно обратная картина концентрации свинца и цинка наблюдается у митилястера.

Изучение зависимости микроэлементного состава моллюсков в зависимости от глубины обитания моллюсков показало следующее.

Органы церастодермы, обнаруженной на глубинах от 9–28 м, не отличалась стабильным увеличением или уменьшением концентраций элементов в зависимости от глубины – их накопление было волнообразным (табл. 2). В организме митилястера, обитающего на глубине 20 м, концентрация элементов уменьшалась с увеличением глубины.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в моллюсках Северного Каспия

Вид моллюска	Стация	Глубина, м	Тип грунта	Микроэлементы, мг/кг сухой массы											
				Ni		Co		Pb		Mn		Cu		Zn	
				Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани	Раковина	Мягкие ткани
<i>Cerastoderma edule</i>	2	9	P	20,30 ± 3,6	14,80 ± 0,6	10,60 ± 0,93	3,53 ± 0,2	27,86 ± 3,1	6,33 ± 1,15	0,93 ± 0,09	0,43 ± 0,01	3,27 ± 0,5	5,57 ± 1,65	1,27 ± 0,1	34,7 ± 2,15
			K _к	1,14	0,8	1,1	0,4	0,8	0,17	0,75	0,3	0,9	1,5	0,92	24,8
	6	15	П+P	16,30 ± 1,72	12,57 ± 0,8	10,60 ± 1,5	2,53 ± 0,65	30,20 ± 2,4	7,50 ± 0,9	0,27 ± 0,02	0,30 ± 0,01	3,17 ± 0,3	3,87 ± 0,67	2,10 ± 0,3	37,10 ± 2,6
			K _к	0,85	0,7	0,9	0,2	0,7	0,2	0,4	0,4	0,84	1,02	1,05	18,5
	7	25	P	33,70 ± 3,2	26,40 ± 2,8	15,16 ± 1,2	4,23 ± 0,1	63,20 ± 3,9	6,00 ± 0,6	0,43 ± 0,02	0,37 ± 0,01	6,70 ± 0,35	3,43 ± 0,55	5,43 ± 1,1	46,67 ± 4,7
			K _к	1,2	0,9	1,2	0,35	1,2	0,1	0,3	0,3	1,2	0,6	0,12	1,1
	8	28	П+P	58,20 ± 4,7	18,37 ± 0,9	12,30 ± 0,75	3,60 ± 0,4	33,07 ± 2,15	6,23 ± 0,72	0,43 ± 0,01	0,30 ± 0,01	3,43 ± 0,25	3,77 ± 0,2	1,76 ± 0,4	44,53 ± 3,3
			K _к	2,9	0,9	0,85	0,26	0,6	0,1	0,08	0,05	0,6	0,7	0,06	1,5
		6	15	П+P	34,33 ± 2,8*		17,73 ± 0,84*		66,10 ± 4,7*		1,43 ± 0,01*		9,26 ± 1,5*		11,60 ± 1,6*
				K _к	1,8		1,4		1,6		1,7		2,4		5,8
<i>Mytilaster lineatus</i>	7	25	P	25,43 ± 2,9*		13,83 ± 2,1*		50,73 ± 5,1*		0,80 ± 0,02*		6,53 ± 1,2*		11,73 ± 1,25*	
			K _к	0,9		1,2		0,98		0,66		1,08		0,26	

Примечание. * – раковина вместе с мягкими тканями моллюска; П + P – песок + ракушка, P – ракушка.

Заклучение

При анализе микроэлементного состава грунтов было установлено, что в пресноводных грунтах в большей степени концентрируется кобальт, тогда как в морских – свинец. Грунты пресноводных водоемов характеризуются относительно низкой биофильностью марганца, меди и цинка, как и донные отложения Северного Каспия, концентрации этих элементов значительно ниже их концентраций в литосфере. Более высокие значения концентрации характерны для кобальта, никеля и свинца. Средние концентрации микроэлементов в морских донных отложениях представляют собой следующий убывающий ряд: $Pb > Ni > Zn > Co > Cu > Mn$, в донных отложениях водоемов – $Co > Ni > Pb > Zn > Cu > Mn$.

Для каждого вида моллюска характерны свои спектры и максимумы содержания металлов в определенных частях организма. Следует отметить, что в пресноводных водоемах моллюски накапливают больше свинца в раковинах, цинка – в мягких тканях. Накопление в наибольших концентрациях этих же элементов наблюдается у морских моллюсков. Причиной таких колебаний могут служить различия в экологии и физиологии моллюсков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брицке М. Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. М.: Химия, 1982. 232 с.
2. ГОСТ 17.4.4.02–1984. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2008.
3. Неверова Н. В., Аксенов А. С. Сравнительное исследование аккумуляции тяжелых металлов бентосными организмами класса Oligochaeta и класса Insecta (сем. Hironomidae) // Экология арктических и приарктических территорий: материалы Междунар. симпози. Архангельск, 2010. С. 101–103.
4. Патин С. А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 1997. 350 с.
5. Прайс С. В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. М.: Мир, 1976. 355 с.

Статья поступила в редакцию 13.05.2016

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Махлун Анастасия Витальевна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; лаборант кафедры гидробиологии и общей экологии; anastasia_lavrinenko@mail.ru.



A. V. Makhlun

FEATURES OF THE MICROELEMENT STRUCTURE OF FODDER BENTHOS ORGANISMS OF COMMERCIAL FISH

Abstract. Quantitative determination of such microelements as nickel, cobalt, lead, manganese, copper, zinc in soil and mollusks (shells, soft tissues, shell with soft tissues of mollusks) of the freshwater reservoirs of the Volga delta (soil kind: sand, silty; mollusks species: *Dreissena polymorpha*, *Anodonta cingea*, *Viviparus viviparus*) and the Caspian Sea (soil kind: shells, sand and shells; mollusk species: *Cerastoderma edule*, *Mytilaster lineatus*) is carried out. 90 kinds of soil and 250 mollusk species have been analyzed. The study of the content of metals in bottom sediments in the sea and in soils of freshwater reservoirs depending on the kind of soil and depth showed that in bottom sediments in the sea microelements can be placed by their average concentration in the following order: $Pb > Ni > Zn > Co > Cu > Mn$, in bottom sediments in the freshwater reservoirs in the order: $Co > Ni > Pb > Zn > Cu > Mn$. Specific differences in microelement structure in freshwater mollusks (depending on the degree of concentration of the elements in the soil of water basins) and sea zoobenthos (depending on the fractional structure of bottom sediments and depth of mollusks' habitat) are found.

Key words: soil, bottom deposits, freshwater mollusks, sea mollusks, microelement.

REFERENCES

1. Britske M. E. *Atomno-absorbtsionnyi spektrokhimicheskii analiz* [Atom-absorption spectrum chemical analysis]. Moscow, Khimiia Publ., 1982. 232 p.
2. *GOST 17.4.4.02–1984. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlia khimicheskogo, bakteriologicheskogo i gel'mintologicheskogo analiza* [Soils. Methods of selection and preparation of samples for chemical, bacteriological and helminthological analysis]. Moscow, Standartinform, 2008.
3. Neverova N. V., Aksenov A. S. Sravnitel'noe issledovanie akkumulatsii tiazhelykh metallov bentosnymi organizmami klassa Oligochaeta i klassa Insecta (sem. Hironomidae) [Comparative study of accumulation of heavy metals by benthos organisms of class Oligochaeta and class Insecta (fam. Hironomidae)]. *Ekologiya arkticheskikh i priarkticheskikh territorii. Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma*. Arkhangelsk, 2010. P. 101–103.
4. Patin S. A. *Ekologicheskie problemy osvoeniia neftegazovykh resursov morskogo shel'fa* [Ecological problems of exploration of oil and gas resources of the sea shelf]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 1997. 350 p.
5. Prais S. V. *Analiticheskaiia atomno-absorbtsionnaia spektroskopiiia* [Analytical atomabsorption spectroscopy]. Moscow, Mir Publ., 1976. 355 p.

The article submitted to the editors 13.05.2016

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Makhlun Anastasia Vitalievna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Laboratory worker of the Department of the Hydrobiology and General Ecology; anastasia_lavrinenko@mail.ru.

