

Содержание тяжелых металлов в некоторых гидробионтах Белого моря

М.В. Крупина, А.Д. Дахно*

МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра общей экологии и гидробиологии,
Россия, 119992, Москва, Ленинские горы, дом 1

*адрес для переписки: markrupina@yandex.ru

Реферат. Изучение влияния антропогенного загрязнения на морские гидробионты является необходимым условием сохранения их природной среды обитания. Целью работы было изучение уровней и особенностей накопления тяжелых металлов (ТМ) 43 видами гидробионтов разных таксономических групп из одного местообитания (Кандалакшский залив Белого моря в районе Беломорской биологической станции МГУ). Содержание Fe, Zn, Pb, Cu, Mn, Ni, Cd в образцах гидробионтов определяли методом атомной абсорбции. Для некоторых исследуемых видов гидробионтов выявлена видоспецифичность накопления ТМ. Губки, асцидии, гидроиды, моллюски-фильтраторы накапливают значительные количества одного или несколько металлов по сравнению с другими видами, что можно объяснить типом питания. Однако накопление характерно не для всех видов из этих таксонов. Выявлены различия накопления металлов в разных органах и тканях исследуемых гидробионтов. В крышечках литорины содержание Cu, Ni и Cd больше, чем в раковинах и телах, а в домиках баянусов, наоборот, меньше, чем в их телах. Содержание тяжелых металлов зависит от размера (возраста) гидробионтов. При изучении 6 размерных групп звезд обнаружено, что в молодых звездах концентрации Ni, Cu, Cd, Pb, Fe были значительно выше по сравнению со взрослыми (крупными) особями. В исследованных пробах макрофитов не выявлена зависимость содержания ТМ от таксономической принадлежности. Для целей контроля загрязнения морской среды особо опасными тяжелыми металлами следует обратить внимание на видоспецифичность накопления гидробионтами таких элементов, как Pb и Cd, содержащихся в малых количествах на уровне чувствительности метода, и использовать при мониторинге отдельные виды растений и животных, которые концентрируют эти элементы.

Ключевые слова. Экология, гидробионты, содержание тяжелых металлов, Белое море.

Content of heavy metals in some hydrobionts of the White Sea

M.V. Krupina, A.D. Dakhno*

Lomonosov Moscow State University, Department of General Ecology and Hydrobiology,
1, Leninskie Gory, Moscow, 119992, Russian Federation

*Corresponding author: markrupina@yandex.ru

Abstract. The research of the anthropogenic pollution influence of on marine aquatic organisms is a necessary condition of their natural habitat preservation. The

issue aim was to study levels and characteristics of the heavy metals (HM) accumulation by aquatic organisms 43 species of different taxonomic groups from one habitat (White Sea Kandalaksha Bay in the area of the Moscow State University White Sea Biological Station). The content of Fe, Zn, Pb, Cu, Mn, Ni, Cd in the samples of aquatic organisms was determined by the atomic absorption method. For some of the studied hydrobionts species the species-specificity of HM accumulation was revealed. Sponges, ascidians, hydroids, filter-feeding mollusks accumulate greater amounts of one or more metals in comparison with other species, which can be explained by the nutrition type. However, accumulation is not typical for all of these taxa species. Differences in the metals accumulation in different organs and tissues of the studied hydrobionts were revealed. The content of Cu, Ni, and Cd in littorina caps is higher than in shells and bodies, and in balanus crusts, on the contrary, it is less than in their tissues. The heavy metals content depends on the size (age) of hydrobionts. When studying starfish 6 size groups, it was found that Ni, Cu, Cd, Pb, Fe concentrations in young animal units were significantly higher than in adult (large) individuals. In the macrophytes studied samples no dependence of the HM content on taxonomic affiliation was revealed. For the purpose of monitoring of marine environment pollution with especially hazardous heavy metals, attention should be paid to the species-specificity biological accumulation of such elements as Pb and Cd, which are contained in small quantities at the method sensitivity level. Certain plant and animal species that concentrate these elements should be used for the monitoring.

Keywords. Ecology, hydrobionts, heavy metal content, White Sea.

Введение

Изучение влияния антропогенного загрязнения на гидробионты является необходимым условием сохранения природной среды их обитания. Загрязняющие вещества накапливаются в тканях живых организмов и наносят вред не только самим гидробионтам, но и водным экосистемам в целом (Израэль, 1974). Экологические проблемы Белого моря носят накопительный характер. Загрязнение его вод и ухудшение экологической обстановки связано исключительно с воздействием антропогенного фактора (Немировская и др., 2006). Современными источниками загрязнения Белого моря являются горнодобывающая промышленность, сельское хозяйство и судоходство (Корякин, Юрченко, 2007). Важнейшим источником поступления химических элементов, в том числе тяжелых металлов (ТМ), в природные экосистемы являются атмосферные выпадения. Показано, что аэрозоли, выпадающие над акваториями Белого моря и других морей Российской Арктики, значительно обогащены многими металлами и являются основными поставщиками Cu, Pb, Zn, Ni и Cr, которые накапливаются в живых организмах морской флоры и фауны (Голубева, 2007). ТМ являются наиболее опасными загрязняющими веществами, оказывающие сильное токсическое воздействие на живые организмы. ТМ поступают, циркулируют и практически не выводятся из водоемов (Патин, 1979). Целью работы было изучение содержания ТМ в морских гид-

робионтах из одного местообитания и выявление особенностей накопления ТМ организмами разных таксономических групп. Основными задачами работы являлось: исследование содержания ТМ в морских макрофитах в беспозвоночных животных из разных таксономических групп и гидробионтах разных размерно-возрастных групп, а также выявление различий накопления ТМ в разных органах и тканях исследуемых гидробионтов.

Материалы и методы

Материалом исследования послужили собственные пробы авторов, отобранные в 2012 г. в районе ББС МГУ Кандалакшского залива Белого моря. Полевые работы проводились в литорали и сублиторали и включали отбор макрофитов и зообентоса, некоторых гидробионтов отбирали водолазным способом с глубины до 50 метров. Площадь сбора не превышала 500 м², что позволяет определить ее как общее местообитание по химическому составу воды, в частности по содержанию ТМ. Камеральная обработка включала определение таксономической принадлежности, формирование проб для анализа ТМ, высушивание при температуре не выше 105°C в сушильном шкафу и пакетирование с описанием характеристик пробы. Пробы для анализа готовили из 3-50 штук гидробионтов в зависимости от размера. Моллюски измерялись при помощи штангенциркуля, сортировались по размерным группам, препарировались на тело, раковину и крышечки. Баянусы и раки препарировались на тело и домики. Звезды измерялись и сортировались по размерным группам. Список видов гидробионтов, отобранных для анализа на содержание тяжелых металлов, представлен ниже:

Макрофиты – *Ulva prolifera* (O.F. Müller, 1778); *Monostroma grevillei* (Thuret) Wittrock, 1866; *Desmarestia aculeata* (Linnaeus) J.V. Lamourroux, 1813; *Cladophora rupestris* (Linnaeus) Kützing, 1897; *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolig, 1863; *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & C.W. Saunders, 2006; *Fucus distichus* Linnaeus, 1767; *Fucus vesiculosus* Linnaeus, 1753; *Palmaria palmata* (Linnaeus) F. Weber & D.Mohr, 1805; *Porphyra* sp. C.Agaran, 1824; *Ceramium virgatum* Roth, 1797; *Chorda filum* (Linnaeus) Stackhose, 1797; *Zostera marina* Linnaeus, 1753.

Губки – *Halichondria panicea* (Pallas, 1766); *Polymastia arctica* (Merejkowsky, 1878); *Isodictya palmata* (Elis & Selander, 1786).

Кишечнополостные – актинии *Stomphia coccinea* (Muller, 1976), сидячие медузы *Lucernaria quadricornis* (O.F. Müller, 1776), *Hydrida* sp. (Johnston, 1836)

Черви – *Nereinyra punctata* (Müller, 1788); *Alitta virens* (M. Sars, 1835); *Terebellides* sp (M. Sars, 1835); *Arenicola marina* (Linnaeus, 1758).

Иглокожие – звезды *Solaster endeca* (Linnaeus, 1771); *Crossaster papposum* (Linnaeus, 1767), *Urasterias lincki* (Müller & Troschel, 1842), *Henricia* sp. (Gray, 1840), *Asterias rubens* (Linnaeus, 1758); морской еж *Strongylocentrotus pallidus* (G.O. Sars, 1872).

Моллюски – *Mytilus edulus* (Linnaeus, 1758); *Mya (arepomya) arenaria* (Linnaeus, 1758); *Portlandia arctica* (Gray, 1824); *Musculus laevigatus* (J.E. Gray,

1824); *Serripes groenlandicus* (Mohr, 1786); *Elliptica elliptica* (Т.В. Broun, 1827); *Modiolus modiolus* (Linnaeus, 1758); *Hiatella arctica* (Linnaeus, 1767); *Littorina saxatilis* (Oliv, 1792); *Testudinalia tessellata* (O.F. Müller, 1776).

Ракообразные – *Semibalanus balanoides* (Linnaeus, 1758); *Pagurus pubescens* (Krøyer, 1838).

Оболочники – асцидии *Boltenia echinata* (Linnaeus, 1767); *Styela rustica* (Linnaeus, 1767).

Дальнейшая работа проводилась на кафедре общей экологии и гидробиологии биологического факультета МГУ. Биопробы озоляли в графитовых чашках методом сухого озоления и подготавливали к определению ТМ (Гришина, Самойлова, 1971). В образцах определялись концентрации Fe, Zn, Pb, Cu, Mn, Ni и в некоторых – Co и Cr методом атомной абсорбции на атомно-абсорбционном спектрофотометре "Hitachi – 180-80" (Япония) в воздушно-ацетиленовом пламени.

Результаты

Получены данные по содержанию ТМ для 43 видов гидробионтов Белого моря.

Содержание ТМ в макрофитах. Исследовалось 12 видов водорослей и морская трава *Zostera marina* (L), результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в морских макрофитах (мкг/г с.в.)

Table 1. The content of heavy metals in marine macrophytes (µg/g dry matter)

Вид	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd
<i>Ulva prolifera</i>	46.9±6.9	9.5±1.4	4.3±0.4	0.18±0.02	1.35±0.13	0.06±0.01	0.27±0.03
<i>Monostroma grevillei</i>	109.0±16.0	32.8±4.8	9.2±1.4	0.07±0.01	1.33±0.13	0.07±0.03	0.25±0.02
<i>Cladophora rupestris</i>	558.0±84.8	18.3±2.2	14.5±1.8	2.69±0.20	0	0.15±0.01	0.07±0.01
<i>Desmarestia aculeata</i>	413.0±60.8	10.4±1.5	20.6±3.0	0.71±0.07	0.71±0.07	0.58±0.06	0.06±0.01
<i>Ascophyllum nodosum</i>	58.1±8.0	4.0±0.4	8.4±0.9	0.72±0.07	0	0.25±0.02	0.03±0.03
<i>Fucus distichus</i>	97.5±12.8	21.8±2.7	8.8±0.9	0.81±0.09	0	1.06±0.11	0.16±0.02
<i>Chorda filum</i>	90.6±15.7	8.4±0.8	9.9±1.5	0.41±0.04	1.49±0.16	0.05±0.02	0.50±0.10
<i>Saccharina latissima</i>	43.5±5.3	2.6±0.3	7.5±0.8	0.52±0.05	0	0.47±0.05	0.35±0.04
<i>Fucus vesiculosus</i>	119.0±16.6	40.7±5.3	9.9±1.1	0.83±0.09	0	0.06±0.01	0.22±0.02
<i>Porphyra sp.</i>	50.4±7.0	3.4±0.4	4.4±0.5	1.13±0.10	0	0.68±0.06	0.01±0.001
<i>Palmaria palmata</i>	101.0±14.9	39.2±5.8	8.7±1.3	2.36±0.20	2.52±0.24	0.71±0.07	0.25±0.02
<i>Ceramium virgatum</i>	197.0±29.5	14.1±1.4	10.2±0.9	1.61±0.10	0	1.48±0.16	0.25±0.03
<i>Zostera marina</i>	761.0±111.0	28.3±3.8	12.5±1.4	1.38±0.10	0	0.68±0.07	0.04±0.004

Из табл. 1 видно, что наибольший размах колебаний концентраций в пробах макрофитов наблюдается для Cd от 0.01 мкг/г у *Porphyra sp.* до 0.36 мкг/г у *Saccharina latissima* (36 раз), наименьший – почти 5 раз – для Zn и Cu. Содержание Fe, Mn и Pb в образцах изменялось в 16-17 раз. В исследованных пробах макрофитов не выявлена четкая зависимость содержания ТМ от таксономической принадлежности. Согласно полученным данным можно только утверждать, что зеленые водоросли меньше других макрофитов накапливают Pb. Среди красных водорослей выделяются *Ceramium virgatum*, в которой обнаружены максимальные концентрации Pb, и *Porphyra sp.* с наименьшими содержаниями Zn и Cd. В двух бурых водорослях – *Saccharina latissima*, *Chorda filum* – выявлено умеренное содержание Fe, Mn, Zn и Cu, однако содержание Pb и Cd в них было значительно выше, чем в других макроводорослях. Морская трава *Zostera marina* по содержанию металлов не отличается от водорослей, но выделяется по накоплению Fe, хотя у водорослей между собой разница в содержании этого элемента значительно больше. При использовании макрофитов в целях мониторинга загрязнения морской среды ТМ (Израэль, 1980) следует обратить внимание на видоспецифичность накопления таких элементов как Pb и Cd, содержащихся в малых количествах.

Содержание ТМ в звездах. Изучалось содержание ТМ в широко распространенной на литорали звезде *Asterias rubens*, относящейся к семейству Asteroidea отряда Forcipulatida, в зависимости от возраста (размера). Для проведения исследований были сформированы 6 размерных групп звезд от 10-15 мм до 100-110 мм, в которые вошли экземпляры разного возраста. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Содержание ТМ в морских звездах *Asterias rubens* разного размера (возраста), мкг/г с.в.

Table 2. HM content in starfish *Asterias rubens* of different sizes (ages), µg/g dry matter

Проба	Зольность	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Ni
10-15мм	64.0±8.7	35.5±4.3	94.2±11.1	78.6±9.5	9.20±0.97	13.30±1.43	2.34±0.24	0.84±0.08
25-30мм	60.0±7.1	4.0±0.4	75.5±9.2	26.6±3.2	4.17±0.43	0.10±0.01	0.06±0.01	0.12±0.01
35-42мм	59.3±6.8	4.2±0.4	98.7±12.9	43.0±5.5	12.60±1.39	0.14±0.01	0.36±0.04	0.14±0.01
48-55мм	60.4±7.1	2.2±0.2	24.1±2.6	18.9±2.3	3.49±0.36	0.09±0.01	0.05±0.01	0.09±0.01
60-65мм	57.8±7.2	1.7±0.2	45.9±5.8	9.6±1.0	2.17±0.22	1.66±0.18	0.51±0.05	0.05±0.01
>105мм	62.8±8.3	1.1±0.1	69.8±8.8	7.9±0.8	2.06±0.21	0.06±0.01	0.36±0.04	0.06±0.01

Установлено, что звезды *A. rubens*, по сравнению с другими гидробионтами, избирательно накапливают Zn, его содержание в них больше в 2-10 раз, чем в других объектах исследования. Самые молодые (мелкие) звезды по сравнению со взрослыми (крупными) особями содержат больше Ni, Cu, Cd, Pb, Fe. Наибольшие различия в значениях концентраций установлены для Pb (в 13 раз), Cu и Ni (в 5 и более раз), при этом зольность тел была почти одинаковая для всех размерных групп. Полученные результаты можно объяснить

возрастным различием интенсивности обмена веществ, что было показано для мидий (Бурдин и др., 1979).

Содержание ТМ определялось также в глубоководных звездах *Solaster endeca*, *Crossaster papposum*, *Urasterias lincki*. Для анализа были взяты крупные экземпляры больше 100 мм. Концентрации Fe, Mn, Cu, Ni, Cd и Pb в них оказались на уровне содержания этих элементов у крупных экземпляров *A. rubens*, а Zn в 3 и более раз меньше. Можно предположить, что большое содержание Zn у *A. rubens* является видоспецифичным. Проведенный анализ показал, что накопление ТМ морскими звездами зависит от их размера (возраста).

Содержание ТМ в моллюсках. ТМ определялись в телах, раковинах и крышечках 10 видов моллюсков. Были проанализированы 8 видов двусторчатых моллюсков, 2 вида брюхоногих, из них 1 вид раковинных брюхоногих (блюдечки) *Testudinalia tessellata*.

Согласно полученным результатам, было установлено, что содержание ТМ в различных видах моллюсков очень сильно колеблется, при этом диапазон значений концентраций в телах больше, чем в раковинах и крышечках и не совпадает по элементам. Причину подобных колебаний содержания ТМ, кроме как особенностями метаболизма вида, объяснить нельзя, так как все моллюски находились примерно в одних условиях. Раковины и крышечки можно рассматривать как производные тела моллюска, когда поступающие в организм элементы используются в качестве строительного материала для тех или других органов, однако эти различия можно рассматривать и как защитный механизм, выработанный некоторыми видами для понижения уровня токсичных элементов в жизненно важных органах.

На рис. 1 представлено содержание ТМ в телах, раковинах и крышечках исследуемых моллюсков (в процентных соотношениях). Выявились некоторые закономерности распределения элементов по органам моллюсков. Cu, Zn, Pb, Cd и Ni накапливаются преимущественно в телах моллюсков. Исключение составляют брюхоногие моллюски – *Littorina saxatilis*, у которого содержание этих элементов, кроме Zn, больше в крышечках, и *Testudinalia tessellata*, в телах которого накапливаются Cu, Zn, Pb и Cd, а Ni – в раковинах. Также выделяются *Mya arenaria*, накапливающий в телах Cu и Zn, а Pb, Cd и Ni – практически в равных концентрациях в телах и раковинах, *Hiatella arctica*, характеризующийся приблизительно равным накоплением указанных элементов в телах и раковинах, *Portlandia arctica*, у которого содержание Zn в телах немного меньше, чем в раковинах. Fe и Mn имеют свои особенности накопления в моллюсках. Только в телах *Mytilus edulis* и *Mya arenaria* содержание Fe почти в 80 раз больше, чем в раковинах, в остальных моллюсках его концентрации приблизительно равные в органах, а у *Hiatella arctica* наблюдается преимущественное накопление Fe в раковинах. Mn у большинства моллюсков накапливается в раковинах, кроме *Mytilus edulis* и *Modiolus modiolus*, в телах которых содержание Mn выше, и *Littorina saxatilis*, накапливающей Mn в крышечках.

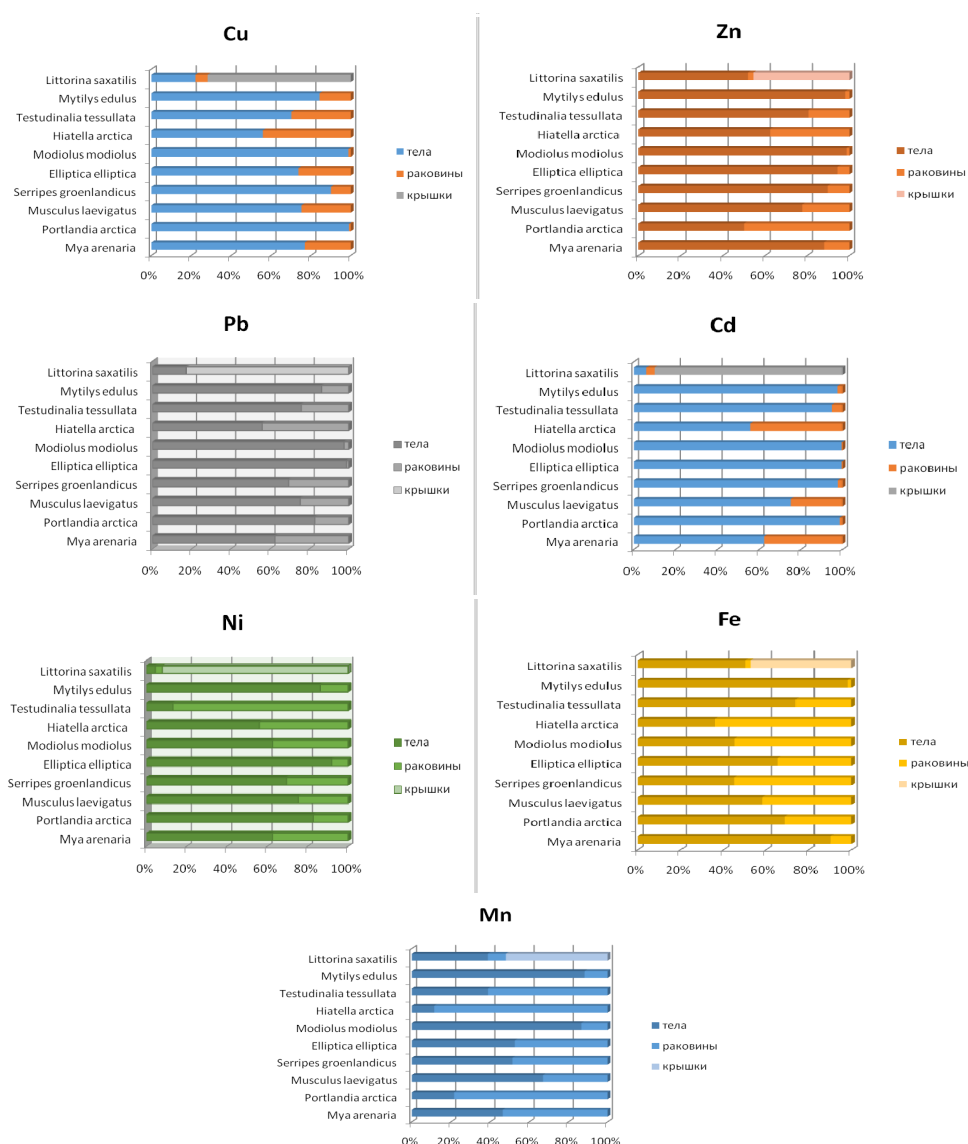


Рисунок 1. Содержание ТМ в органах моллюсков, %

Picture 1. HM content in the organs of mollusks, %

Таким образом, полученные результаты позволяют говорить о видоспецифичности накопления различных элементов гидробионтами. Однако стоит принять во внимание тот факт, что для анализов использовались моллюски разных размерных групп (возраста) и, возможно, это повлияло на уровень содержания в их органах металлов (Крупина, 2003).

Содержание ТМ в 2 видах ракообразных. Содержание ТМ в телах и домиках баянусов *Semibalanus balanoides* и в теле рака-отшельника *Pagurus pubescens* представлено в табл. 3.

Таблица 3. Содержание ТМ в ракообразных, мкг/г

Table 3. HM content in crustaceans, µg/g

Проба	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Ni
<i>S. balanoides</i> , тела	0.48	16.84	210.0	13.7	0.49	4.39	0.49
<i>S. balanoides</i> , домик d=5-12mm	0.29	0.55	7.48	10.1	0.63	0.24	0.05
<i>P. pubescens</i>	24.0	50.52	95.0	27.4	0.20	0.07	0.15

В телах *S. balanoides* содержится больше Cu, Zn, Fe, Mn, Cd и Ni, и только накопление Pb отмечается в домиках. Домики баянусов, так же, как и раковины, и крышечки моллюсков, можно рассматривать, в качестве производных тела гидробионта, однако баянусы не используют производство домика как возможность депонирования ТМ и освобождения от них организма, что характерно для некоторых моллюсков. Содержание ТМ в телах раков-отшельников отличается от их концентраций в телах баянусов. Так, в телах раков-отшельников обнаружены более высокие концентрации Cu, Zn, Mn, но меньшие Fe, Pb и Ni.

Содержание тяжелых металлов в гидробионтах из разных систематических групп. Анализировались содержание ТМ в гидробионтах, не вошедших в предыдущие подразделы. Результаты представлены на рис. 2, 3. Асцидии *Boltenia echinata* и *Styela rustica* и гидроиды накапливают Ni и Fe, последние отличаются еще повышенными концентрациями Mn. Губки *Halichondria panicea* и *Polymastia arctica* содержат много Pb и Cd. Можно предположить, что на накопление ТМ влияет тип питания – губки и асцидии фильтруют большое количество воды, гидроиды имеют большую поверхность тела, омываемую водой, однако некоторые организмы с другим типом питания также содержат большое количество ТМ. Так, полихеты *Arenicola marina* содержат большое количество Ni.

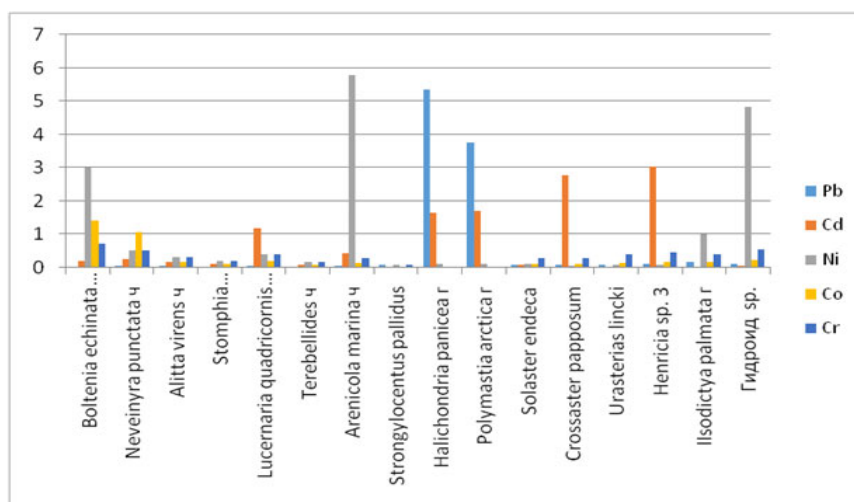


Рисунок 2. Содержание ТМ в гидробионтах из разных систематических групп

Picture 2. HM content in aquatic organisms from different taxonomic groups

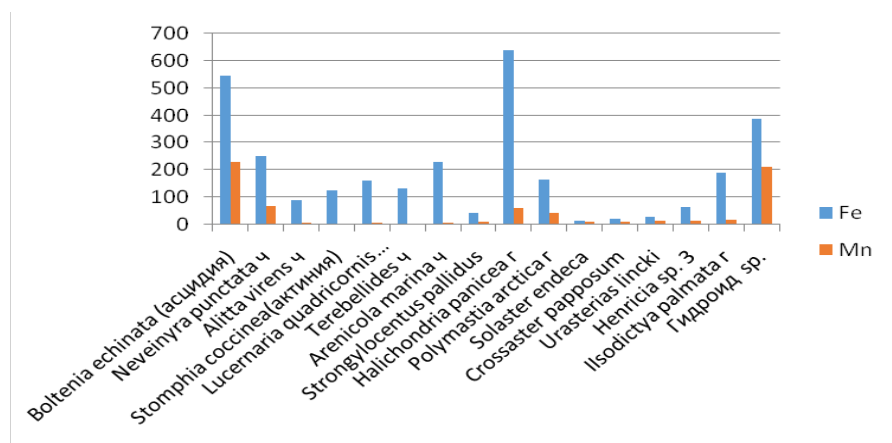


Рисунок 3. Содержание Fe и Mn в гидробионтах из разных систематических групп

Picture 3. Fe and Mn contents in hydrobionts from different taxonomic groups

Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что для изученных макрофитов не выявлена зависимость содержания металлов от таксономической принадлежности объекта.

Установлены различия накопления металлов в разных органах исследуемых моллюсков (в крышечках, телах и раковинах) и балянусах (телах и домиках).

Наглядно проявляется видоспецифичность накопления различных ТМ гидробионтами. Видоспецифичность следует учитывать и использовать в программах контроля загрязнения природной среды ТМ. Особое внимание следует обратить на видоспецифичность накопления таких элементов, как Pb и Cd, содержащихся в малых количествах (на уровне чувствительности метода), и использовать для целей мониторинга отдельные виды макрофитов и животных, которые концентрируют эти элементы. Данные по содержанию ТМ в различных гидробионтах могут быть полезны для дальнейших исследований в этом направлении.

Список литературы

Голубева, Н.И. (2007) Загрязнение атмосферы Арктики токсичными тяжелыми металлами, в кн.: *Биология и океанография*, М., Наука, с.173-189.

Гришина, Л.А., Самойлова, Е.М. (1971) *Учет биомассы и химический анализ растений*, М., изд. МГУ, 99 с.

Бурдин, К.С., Крупина, М.В., Савельев, И.Б. (1979) Моллюски рода *Mytilus* как возможные показатели содержания тяжелых и переходных металлов в морской среде, *Океанология*, т. 19, № 6, с. 1038-1944.

Израэль, Ю.А. (1974) Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменений состояния окружающей природной среды. Основы мониторинга, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 3-8.

Израэль, Ю.А. (1980) Основные принципы мониторинга окружающей среды и климата, в кн.: *Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды*, Л., Гидрометеиздат, с. 5-14.

Корякин, А.С., Юрченко, С.В. (2007) Сбросы загрязняющих веществ беломорской нефтебазой в Кандалакшский залив в 2004-2006 гг, в кн.: *Экологические исследования беломорских организмов*, СПб., изд. СПбГУ, с. 59-60.

Крупина М.В. (2003) *Накопление тяжелых металлов морскими макроводо-рослями. Экологические и физиологические аспекты*, дис... канд. биол. Наук, М., 120 с.

Морозов, Н.П. (1983) Химические элементы в гидробионтах и пищевых цепях, в кн.: *Биогеохимия океана*, М., Наука, с. 121-165.

Немировская, И.А., Новигатский, А.Н., Шевченко, В.П. (2006) Оценка состояния экосистемы Белого моря, в кн.: *Современные экологические проблемы Севера*, Изд-во РАН, с. 92-94.

Патин, С.А. (1979) *Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана*, М., Пищевая пром., 304 с.

References

Golubeva, N.I. (2007) Zagryaznenie atmosfery Arktiki toksichnymi tyazhelymi metallami [Pollution of the Arctic atmosphere with toxic heavy metals], in.: *Biologiya i okeanografiya* [Biology and Oceanography], Nauka, Moscow, Russia, pp. 173-189.

Grishina, L.A., Samoylova, E.M. (1971). *Uchet biomassy i himicheskij analiz rastenij* [Accounting of biomass and chemical analysis of plants], MSU publishing house, Moscow, Russia, 99 p.

Burdin, K.S., Krupina, M.V., Savelyev, I.B. (1979) Molluski roda Mytilus kak vozmozhnye pokazateli sodержaniya tyazhelyh i perekhodnyh metallov v morskoy srede [Mollusks of the genus Mytilus as possible indicators of the content of heavy and transition metals in the marine environment], *Okeanologiya*, vol. 19, no. 6, pp. 1038-1044.

Israel, Y.A. (1974) Global'naya sistema nablyudenij. Prognoz i ocenka izmenenij sostoyaniya okruzhayushchej prirodnoj sredy. Osnovy monitoringa [Global observation system. Forecast and assessment of changes in the state of the natural environment. Basics of monitoring], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 3-8.

Israel, Y.A. (1980) Osnovnye principy monitoringa okruzhayushchej sredy i klimata [Basic principles of environmental and climate monitoring], in:

Kompleksnyj global'nyj monitoring zagryazneniya okruzhayushchej prirodnoj sredy [Integrated global monitoring of environmental pollution], Leningrad, Hydrometeoizdat, Leningrad, Russia, pp. 5-14.

Koryakin, A.S., Yurchenko, S.V. (2007) Sbrozy zagryaznyayushchih veshchestv belomorskoj neftebazoj v Kandalakshskij zaliv v 2004-2006 gg [Discharges of pollutants by the Belomorskaya oil depot into the Kandalaksha Bay in 2004–2006], in: *Ekologicheskie issledovaniya belomorskih organizmov* [Ecological studies of White Sea organisms], St. Petersburg State University Publishing House, St. Petersburg, Russia, pp. 59-60

Krupina, M.V. (2003) *Nakoplenie tyazhelyh metallov morskimi makrovodoroslyami. Ekologicheskie i fiziologicheski aspekty* [Accumulation of heavy metals by marine macroalgae. Ecological and physiological aspects]. *Dis. of Cand. Sci. (Biol.)*, Moscow, 120 p.

Morozov, N.P. (1983) Himicheskie elementy v gidrobiontah i pishchevyh cepyah [Chemical elements in hydrobionts and food chains], in: *Biogeoimiya okeana* [Biogeochemistry of the ocean], Nauka, Moscow, Russia, pp. 121-165.

Nemirovskaya, I.A., Novigatsky A.N., Shevchenko V.P. (2006) Ocenka sostoyaniya ekosistemy Belogo moray [Assessment of the state of the ecosystem of the White Sea. In the book], in: *Sovremennye ekologicheskie problemy Severa* [Modern environmental problems of the North], Publishing House of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, pp. 92-94.

Patin, S.A. (1979) *Vliyanie zagryazneniya na biologicheskie resursy i produktivnost' Mirovogo okeana* [The impact of pollution on biological resources and productivity of the world's oceans]. Pishchevaya prom., Moscow, Russia, 304 p.

Статья поступила в редакцию (Received): 15.01.2021;

Статья доработана после рецензирования (Revised): 29.09.2021;

Принята к публикации (Accepted): 11.10.2021.

Для цитирования /For citation:

Крупина, М.В., Дахно, А.Д. (2021) Содержание тяжелых металлов в некоторых гидробionтах Белого моря, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXII, № 3-4, с. 112-122, doi: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-112-122.

Krupina, M.V., Dakhno, A.D. (2021) Content of heavy metals in some hydrobionts of the White Sea, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXII, no. 3-4, pp. 112-122, doi: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-112-122.