

Возрастная и сезонная изменчивости концентраций физиологически важных металлов в пищеварительной железе приморского гребешка из загрязненного и чистых районов

А.В. Силина, Н.Н. Бельчева

Институт биологии моря ДВО РАН, Владивосток 690041, Россия
Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН,
Владивосток 690041, Россия

Цель работы состояла в том, чтобы проанализировать внутригодовые изменения концентраций физиологически важных металлов (железа (Fe), цинка (Zn), меди (Cu) и марганца (Mn)) в пищеварительной железе разновозрастных приморских гребешков *Mizuhopecten yessoensis* из чистых и загрязненных районов зал. Петра Великого Японского моря. Регулярные выборки гребешка в течение года позволили выявить значительную (более чем в 2 раза) сезонную вариабельность массы его пищеварительной железы. В сезонных взаимоотношениях концентраций разных металлов с массой пищеварительной железы гребешка обнаружены различающиеся закономерности. Это указывает на то, что гребешок имеет различную метаболическую стратегию для этих металлов в течение года. По этой причине прямое использование концентраций этих металлов не рекомендуется для оценки загрязнения ими среды. Показано, что концентрация Fe, Zn, Cu и Mn в пищеварительной железе статистически значительно уменьшается с наступлением половозрелости гребешков. При переходе к стадии старости (> 9 лет) значительно снижаются концентрации Zn и Mn. В районах с повышенными концентрациями исследуемых металлов в среде повышается их концентрация и в пищеварительной железе гребешка — основном органе детоксикации тяжелых металлов.

Age and seasonal variations of the essential metal concentrations in digestive gland of the Japanese scallop from unpolluted and polluted areas

A.V. Silina, N.N. Belcheva

Institute of Marine Biology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Vladivostok 690041, Russia
Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Vladivostok 690041, Russia

The objective of the present study was to analyze the seasonal changes of concentrations of some essential metals (iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn)) in the different-aged Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* inhabiting polluted and unpolluted areas of Peter the Great Bay of the Sea of Japan. Regular sampling of scallops showed significant (more than in 2 times) seasonal variation of the weight of scallop digestive gland. In seasonal relationships of concentration of different metals with the weight of scallop digestive gland the differing trends were found out. This indicates that the Japanese scallop has different metabolic strategy for these essential metals during a year. For this reason the direct use of metal concentration values was not recommended to assess metal bioavailability. Besides, the results indicated that concentrations of all studied essential metals in digestive gland decreased with approach scallop maturity. At a stage of old age (> 9 years) the concentrations of Zn and Mn are significantly reduced. The higher were concentrations of the studied metals in environment, the higher were these concentrations in scallop digestive gland.

Известно, что такие физиологически важные металлы, как железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu) и марганец (Mn), входят в состав практически половины ферментов, участвующих в процессе метаболизма моллюсков. Например, Zn входит в состав ряда ферментов, играющих первостепенную роль в акте дыхания [Мойсейченко, 1989]. Кроме того, Zn — одна из составных частей карбоангидразы, то есть участвует в фосфорном и липидном обменах. Cu входит в состав ряда оксидаз и гемоцианида, определяющих процессы тканевого дыхания, а также активизирует гонадотропные ферменты [Киричук, 2003]. В течение года, а также в онтогенезе происходят изменения в интенсивности обменных процессов моллюсков. Таким образом, при вариациях скоростей этих процессов, происходящих в течение жизни моллюсков, следует ожидать изменения концентраций этих микроэлементов в тканях моллюсков. В свою очередь, на жизнедеятельность моллюсков влияет состояние окружающей их среды, в частности концентрации металлов в воде и донных осадках. Например, концентрация 5 мкг/л меди в морской воде (= ПДК для воды) отрицательно влияет на мидию *Crenomytilus grayanus*, снижает у нее содержание основных жирных кислот — фосфолипидов [Черкасова, Писарева, 1988].

Ранее было показано, что концентрации многих тяжелых металлов в мягких тканях морских двусторчатых моллюсков изменяются с увеличением их размеров и возраста. Так, при значительных различиях в массе особей более высокие концентрации ряда металлов наблюдаются в маленьких особях различных видов моллюсков [Boyden, 1977]. Однако в некоторых работах было показано, что эти взаимоотношения изменяются в зависимости от места обитания, возраста и пола моллюсков, а также от сезона [Ikuta, 1985; Лукьянова, Мартынова, 1996; Хри-

стофорова, 1996]. Ряд авторов наблюдали снижение концентрации металлов в мягких тканях (в целом) моллюсков в преднерестовый период и предложили гипотезу о разбавляющем эффекте быстро растущей массы мягких тканей в этот период [Fowler, Oregioni, 1976; Boyden, Phillips, 1981]. Другие исследователи не наблюдали обратной взаимосвязи между сезонными изменениями массы мягких тканей у половозрелых моллюсков и концентрациями в них металлов [Talbot, 1986; Bordin et al., 1992]. В то же время, в цикле гаметогенеза процессы перестройки разных органов происходят с различной интенсивностью. Кроме того, процесс гаметогенеза имеет как сезонные, так и онтогенетические особенности для разных видов моллюсков. Использование отдельных органов в исследовании микроэлементного состава на отдельно взятом виде моллюсков может позволить проверить гипотезу о разбавляющем эффекте растущей массы в репродуктивный период и расширить знания о динамике концентраций физиологически важных металлов, необходимых для нормального протекания процессов метаболизма на органном (тканевом) уровне беспозвоночных.

Для таких исследований среди двусторчатых моллюсков удобной моделью являются гребешки, так как их органы хорошо морфологически изолированы и легко отделяются друг от друга. У морских гребешков тяжелые металлы наиболее значительно накапливают почки и пищеварительная железа [Mauri et al., 1990; Evtushenko et al., 1990]. В то же время пищеварительная железа крупнее и характеризуется высокой метаболической активностью по отношению к металлам по сравнению с жабрами, мантией, гонадами и аддуктором [Pentreath, 1973]. Она — один из основных путей поступления, хранения и детоксикации металлов [Livingstone, 1985, 1998; Pennec et al., 2001].

В настоящей работе на примере приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* рассмотрены изменения концентраций таких микроэлементов, как Fe, Zn, Cu и Mn, в соответствии с возрастными и сезонными изменениями

массы его пищеварительной железы. Кроме того, проведено сравнение концентраций этих металлов в пищеварительной железе гребешков, обитающих в районах с различной степенью антропогенной нагрузки.

Материал и методика

Для исследования концентраций металлов в пищеварительной железе гребешков отобраны 113 особей в 1998–1999 гг. в Амурском заливе у г. Владивостока в районе устья Первой Речки (зал. Петра Великого, Японское море). Этот район расположен недалеко от места сброса промышленных и бытовых сточных вод города. Концентрация Cu в воде исследуемого района составляет в среднем 2.9 мкг/л [Tkalin et al., 1993]. В донных осадках концентрации Zn и Cu – около 22–220 и 19–30 мкг/г сухого осадка соответственно [Ткалин, 1998; Tkalin et al., 1993; Shulkin, Kavun, 1995], уровень Fe – 3.3%, а концентрация Mn – 292 мкг/г [Polyakov, Malakhov, 1990]. Концентрация Zn более 135 мкг/г сухого осадка в грунте вызывает неблагоприятный биологический эффект [Long et al., 1995].

Гребешков в этом районе отбирали на различных стадиях развития гонад [Дзюба, 1986]: в августе (стадия покоя), в конце ноября (начало стадии восстановления гонады); в январе (стадия роста и развития гонад); в марте (стадия активного увеличения гонады); во второй половине июня (окончание нереста).

Для сравнительных исследований были собраны особи в одной и той же стадии гаметогенеза (посленерестового покоя) в четырех районах с низкой антропогенной нагрузкой. Так, 9 июля 1998 г. у о-ва Попова Амурского залива (у м. Птичий и в б. Алексеева) было отобрано 36 экз. гребешков, 28 сентября 1994 г. у о-ва Рейнеке (в прол. Рейнеке) Амурского залива – 11 экз. и 11 сентября 2000 г. – 133 экз. из садков б. Миноноска зал. Посыета зал. Петра Вели-

кого. Концентрации Fe, Zn, Mn и Cu в воде б. Миноноска составляют 5–36, 5–11.5, 0.5–0.64 и 0.85–5.0 мкг/л, соответственно, а в донных осадках – 12699±120, 34.4±2.2, 62.5±5.8 и 6.4±0.4 мкг/г сухой массы, соответственно [Ковековдова, 1993]. Концентрации этих металлов в воде б. Алексеева равны 5–55, 6–16, 0.55–0.65 и 1.15–8.0 мкг/л соответственно, а в донных осадках – 860±60, 42.8±4.0, 70.9±6.8 и 30.5±1.2 мкг/г сухой массы соответственно. В б. Западной о-ва Попова (примыкает к северо-западному мысу острова, у которого были отобраны гребешки) концентрации исследуемых металлов в воде колеблются в пределах 10–80, 6.0–16.5, 0.5–0.7 и 1.75–6.5 мкг/л, соответственно, а в грунте – 7900±68, 70.5±6.2, 85.3±7.8 и 5.4±0.3 мкг/г сухой массы, соответственно [Ковековдова, 1993]. У о-ва Рейнеке концентрации Fe, Zn, Mn и Cu в воде составляют 13.5–20.5, 1.0–5.2, 0.6–0.65 и 0.85–6.0 мкг/л, соответственно, а в донных осадках – 8500±60, 25.0±3.4, 110.0±9.4 и 6.5±0.2 мкг/г сухой массы, соответственно [Ковековдова, 1993].

У моллюсков определяли высоту раковины, а также сухую массу пищеварительной железы (после высушивания до постоянного веса при 85°C). Рост и возраст каждого гребешка были исследованы предложенным ранее методом, использующим сезонные закономерности изменения вида и ширины элементарных слоев роста на внешней поверхности верхней створки гребешка [Силина, 1978]. Содержание металлов в пищеварительной железе каждой особи анализировали методом атомно-

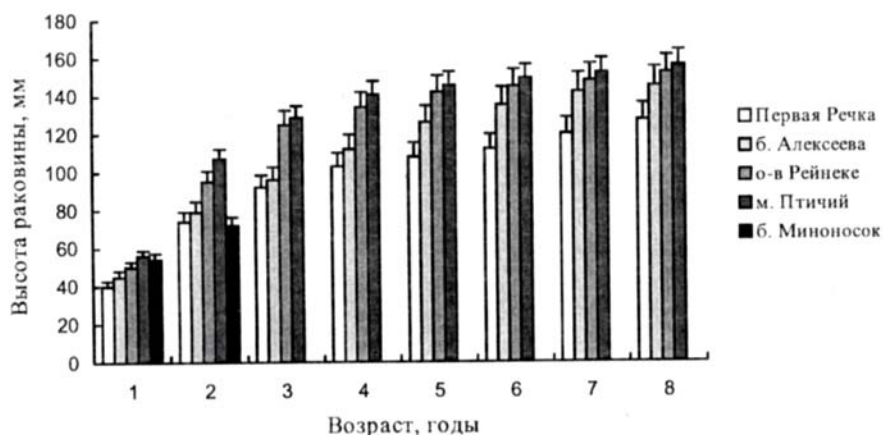


Рис. 1. Линейный рост приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* в районе устья Первой Речки, у м. Птичий и в б. Алексеева о-ва Попова, у о-ва Рейнеке Амурского залива и из б. Миноноска зал. Посыета, зал. Петра Великого Японского моря. По оси абсцисс – высота раковины, мм. По оси ординат – возраст, годы.

Fig. 1. Linear growth of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* at Pervaya Rechka River mouth, near Ptichy Cape and in Alekseeva Bight (Popov Island), near Reineke Island (Amursky Bay) and in Minonosok Bight (Pssjet Bay), Peter the Great Bay, Sea of Japan. Absciss axis – shell height (mm), ordinate axis – age (years).

абсорбционной спектрофотометрии после минерализации ткани смесью концентрированных кислот (азотной и хлорной) в соотношении 3:1 по объему.

В некоторых случаях для вычисления средних значений и стандартных отклонений концентраций металлов в пищеварительной железе гребешки нескольких генераций были объединены в одну группу, так как в соответствующей выборке особи объединяемых возрастных групп были немногочисленны. Кроме того, в выборки не всегда попада-

лись гребешки всех возрастных классов. Достоверность сезонной изменчивости исследуемых параметров гребешков оценивали по критерию Стьюдента. Для исследования степени взаимосвязи между возрастом гребешка и концентрациями металлов в его пищеварительной железе был применен корреляционный анализ, а также рассчитывали уравнения линейной и степенной регрессий. Уровень значимости составлял 95%.

Результаты

Сравнение линейного роста гребешков в исследованных местах показало, что гребешки из загрязненного района устья Первой Речки росли значительно медленнее, чем гребешки из прибрежья о-вов Рейнеке и Попова (рис. 1). Замедлен рост гребешков и в б. Алексеева о-ва Попова. Не обнаружено значительных отличий между двухлетними гре-

бешками из района устья Первой Речки и из садков б. Миноноска (рис. 1).

Концентрации исследованных металлов в пищеварительной железе гребешков из района устья Первой Речки имели значительную сезонную вариативность (табл. 1). Минимальные концентрации всех металлов в пищеварительной железе гребешка были обнару-

Таблица 1

Сезонная динамика концентраций физиологически важных металлов в пищеварительной железе приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (мкг/г сухой ткани), обитающего у устья Первой Речки (Амурский залив, Японское море)
Seasonal changes of the physiologically important metal concentrations (μg/g dry weight) in the digestive gland of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* living at polluted Pervaya Rechka River mouth (Amursky Bay, Sea of Japan)

Возраст, годы	август	ноябрь	январь	март	июнь
Цинк					
2	247± 49	113± 8	-	106± 13	-
3	209± 36	129± 14	-	108	106± 14
4-5	209± 32	123± 19	-	107± 16	123± 36
6-11	175± 34	127± 20	67± 7	119± 14	95± 30
Медь					
2	14.0± 3.7	22.0± 1.9	-	16.6± 2.2	-
3	12.7± 3.1	21.3± 2.8	-	18.3	26.2± 3.9
4-5	12.4± 1.3	21.1± 5.6	-	18.3± 4.1	27.2± 6.7
6-11	14.2± 1.8	22.3± 4.1	17.6± 1.5	22.8± 4.6	23.5± 4.5
Марганец					
2	15.7± 2.9	9.3± 0.8	-	10.8± 1.1	-
3	12.1± 3.4	11.1± 2.6	-	11.6	8.0± 2.6
4-5	15.8± 5.2	10.8± 3.2	-	10.6± 1.2	9.1± 3.7
6-11	14.6± 2.3	10.1± 2.2	7.0± 1.1	10.9± 1.6	10.9± 4.0
Железо					
2	603± 106	712± 58	-	1002± 218	-
3	620± 176	724± 77	-	1088	670± 140
4-5	558± 94	831± 110	-	847± 206	706± 187
6-11	638± 183	706± 201	468± 29	928± 226	920± 275

жены в январе, в период наиболее низкой температуры воды, когда масса железы была не минимальна и не максимальна. В то же время, максимальные значения концентраций разных металлов наблюдались в различное время года. Так, концентрации Zn и Mn в пищеварительной железе гребешка были наибольшими в августе, в период половой инертности, когда масса пищеварительной железы минимальна (температура воды – максимальная), Fe – в марте, в период активного гаметогенеза, когда масса железы была максимальной, а Cu – в июне, в период нереста. В

июне концентрации Zn и Mn были близки к мартовским значениям таковых, в то время как значения массы пищеварительной железы в эти месяцы различались в два раза, в марте – выше, чем в июне. Напротив, концентрации Fe и Cu в августе (при минимальной массе пищеварительной железы) были низкими по сравнению с другими сезонами. Для каждого сезона (по отдельности) не было выявлено значимых возрастных различий в значениях концентраций этих элементов в пищеварительной железе половозрелых гребешков в возрасте от двух до 11 лет (табл. 1).

Таблица 2

Концентрации физиологически важных металлов в пищеварительной железе приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* из сравнительно чистых районов зал. Петра Великого Японского моря
Concentrations of the physiologically important metals (μg/g dry weight) in the digestive gland of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* inhabited unpolluted areas of the Peter the Great Bay, Sea of Japan

Район, месяц отбора	Возраст, годы	Концентрации металлов, мкг/г сухой массы			
		Цинк	Медь	Марганец	Железо
О-в Попова	2	196	17.6	10.6	435
м. Птичий	3	158.5± 21.1	20.8± 2.6	8.0± 1.9	365± 35
июль	5-6	166.1± 10.0	19.2± 3.0	7.8± 0.7	307± 69
	7	134.6± 21.1	21.9± 3.1	5.5± 0.7	232± 19
	8	149.8± 6.6	27.1± 2.6	7.1± 1.3	437± 41
	9-12	91.7± 7.2	31.2± 3.4	4.9± 0.3	396± 35
О-в Попова	3	88.9± 12.0	19.9± 4.2	13.6± 2.5	460± 109
б. Алексеева	6	91.2± 12.4	30.3± 1.7	7.3± 1.7	489± 91
июль	7	87.8± 3.8	29.5± 2.8	5.6± 0.8	350± 60
О-в Рейнеке	3	96.0± 6.5	13.8± 0.9	3.7± 0.5	197± 32
прол. Рейнеке	5-6	108.0± 6.5	14.8± 1.7	4.4± 0.4	237± 46
сентябрь	7-8	100.4± 13.2	16.6± 2.0	5.9± 0.9	357± 75
Б. Миноносек	0.3	211.0± 20.0	27.9± 3.4	68.4± 10.5	1128± 105
сентябрь	1	138.3± 44.9	9.3± 2.6	10.5± 2.6	406± 156
	2	138.2± 20.5	13.7± 2.7	12.4± 3.1	404± 109

Только в марте концентрация Cu достоверно увеличивались с увеличением возраста гребешков.

Также как и для гребешков из района устья Первой Речки, у половозрелых гребешков в возрасте 3–8 лет из прибрежья исследованных островов не было обнаружено возрастных изменений в концентрациях изученных микроэлементов. В то же время у гребешков, собранных у м. Птичий о-ва Попова, где были найдены старые особи, наблюдалось статистически значимое снижение концентраций Zn и Mn в пищеварительной железе 9–12-летних гребешков по сравнению с таковыми у индивидуумов в молодом и среднем

возрасте (3–8 лет) (табл. 2).

Статистически значимое изменение с возрастом концентраций всех исследованных микроэлементов наблюдалось для ювенильных гребешков из б. Миноносек. Здесь сравнение концентраций микроэлементов в пищеварительной железе спата и годовиков показало для Mn снижение концентрации в 6.5, для Fe – в 2.7, для Cu – в 3.0 и для Zn – в 1.5 раза. Значимы как линейные, так и степенные регрессии зависимостей изменения концентраций для всех исследованных металлов в ювенильном периоде развития гребешка (0–2 года), но степенные уравнения имели более высокую корреляцию (рис. 2).

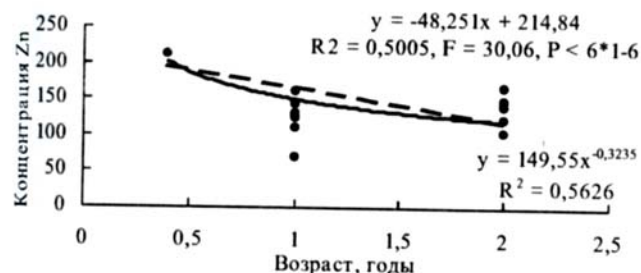
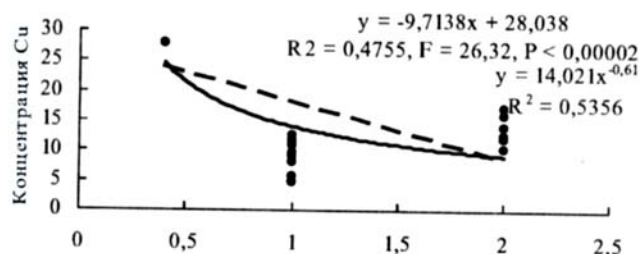
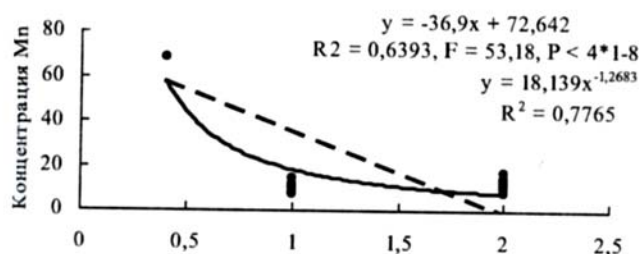
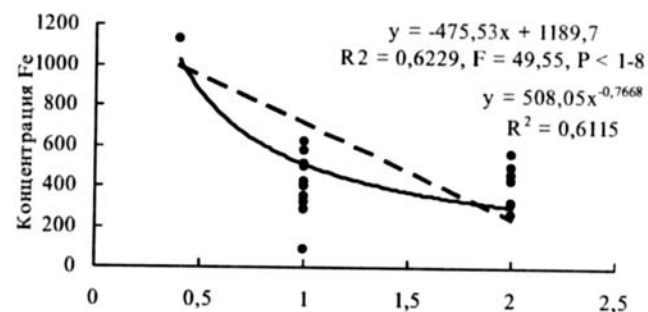


Рис. 2. Линейные (штриховые) и степенные (сплошные) линии регрессии концентраций Zn, Cu, Mn и Fe (мкг/г сухой массы) в пищеварительной железе приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* и его возраста, б. Миноносок зал. Петра Великого. По оси абсцисс — концентрация соответствующего металла, мкг/г сухой массы. По оси ординат — возраст, годы.

Fig. 2. Linear (shaded) and power (solid) regression lines between Zn, Cu, Mn and Fe concentrations (mg/g dry weight) in the digestive gland of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* and scallop age in Minonosok Bight (Peter the Great Bay, Sea of Japan). Absciss axes — concentrations of the appropriate metals (mg/g dry weight), ordinate axes — scallop ages (years).

По сравнению с районом, загрязненным тяжелыми металлами, в чистых районах концентрации изучаемых металлов в пищеварительной железе гребешков ниже (табл. 1, 2, для соответствующих сезонов). Только в б. Алексеева, где концентрации Cu в воде и донных осадках сравнимы с таковыми у устья Первой Речки, концентрации этого металла в пищеварительных железах гребешков соответствующего возраста также повышены в сравнении с

гребешками из выборки, сделанной у м. Птичий и у о-ва Рейнеке (табл. 2). Например, у 5–6-летних гребешков, обитающих у м. Птичий и у о-ва Рейнеке концентрация Cu в пищеварительной железе равна соответственно 19.2 ± 3.0 и 14.8 ± 1.7 мкг/г сухой массы, а у особей в таком же возрасте, но живущих у устья Первой Речки и в б. Алексеева — 27.2 ± 6.7 и 30.3 ± 1.7 мкг/г сухой массы, соответственно.

Обсуждение

Различия в скорости роста гребешка в различных исследованных нами местах вполне закономерны и обусловлены различиями внешних условий. В Амурском заливе наиболее оптимальны физические и химические параметры среды для роста гребешка — в его открытой части [Силина, 1990], в том числе у о-вов Попова и Рейнеке. По результатам физико-химических и биогеохимических исследований различных компонентов экосистемы из района устья Первой Речки он отнесен к наиболее загрязненной акватории залива Петра Великого [Вашенко, 2000]. Кроме того, здесь на рост гребешка отрицательно влияет значительное повышение температуры воды ($> 20^\circ\text{C}$) в августе, понижение солености ($< 29\%$) и содержания кислорода (< 5 мл/л) в воде. Скорее всего, не последнюю роль в снижении скорости роста гребешков в данном районе играет и повышенное содержание тяжелых металлов, как в воде, так и в донных осадках. В закрытой, заиленной б. Алексеева также обычны периоды повышенной температуры и пониженных значений солености и содержания кислорода в воде, что неблагоприятно отразилось на росте гребешков.

Для таких физиологически важных элементов, как Fe, Cu, Zn и Mn, не выявились общие закономерности в изменении их концентраций в течение года,

за исключением их понижения до минимума зимой. Это указывает на то, что приморский гребешок имеет различные метаболические стратегии для этих физиологически важных металлов в течение года. Например, концентрация Zn, входящего в состав ферментов, отвечающих за дыхательные процессы, максимальна в августе при температуре воды выше 20°C , когда дыхание гребешка затруднено. В то же время концентрация Cu, активизирующей гонадотропные ферменты, повышена в период начала роста гонад (конец ноября) и в период нереста (июнь), а в период полового покоя (август) она понижена. Данные других авторов по сезонным соотношениям массы тканей двусторчатых моллюсков с концентрацией этих металлов в них разнятся и зависят от вида моллюска и металла [Boydén, Phillips, 1981; Talbot, 1986; Bordin et al., 1992]. В основном работы выполнены на целых мягких тканях двусторчатых моллюсков. Отсутствие общих сезонных тенденций в изменении концентраций восьми металлов наблюдали на мидиях *Mytilus edulis* [Boalch et al., 1981] и *Crenomytilus grayanus* [Шулькин, Кавун, 1994]. В то же время для *Modiolus kurilensis* из относительно мало загрязненного района обнаружена обратная связь между изменениями массы мягких тканей и концентрацией в них Mn и Zn, но такая

взаимосвязь отсутствовала у этих моллюсков из более загрязненного места [Шулькин, Кавун, 1994].

Ранее сезонная динамика концентраций Fe, Cu, Zn и Mn в отдельных органах приморского гребешка, в том числе и в его пищеварительной железе, изучалась в районе устья Первой Речки и в б. Миноносек [Христофорова и др., 1994; Христофорова, 1996; Лукьянова, Мартемьянова, 1996]. Наши результаты по показателям концентраций микроэлементов в пищеварительной железе гребешка совпадают с данными этих авторов только частично. Вероятно, это связано с тем, что мы и предшествующие исследователи отбирали гребешков в разные годы и, возможно, не на тех же участках поселения гребешка, а также в не одни и те же месяцы года (при разной стадии гаметогенеза). Все это, как показывают наши результаты, имеет большое значение для таких показателей, как концентрация физиологически важных металлов в тканях гребешка. Межгодовая и сезонная изменчивость концентраций металлов в пищеварительной железе гребешков обусловлена, в первую очередь, процессом гаметогенеза гребешков, на сроки и интенсивность которого оказывает влияние межгодовая изменчивость таких факторов внешней среды, как температура, соленость, обеспеченность пищей и т.д. [Bryan, 1973; Fowler, Oregione, 1976; Cain, Luoma, 1990]. Важную роль в межгодовой и сезонной изменчивости концентраций физиологически важных металлов может играть также и изменение активности металлозависимых ферментов в зависимости от условий внешней среды, особенно от температуры [Chambers et al., 1975]. Скорее всего, именно по этой причине по нашим данным наблюдались минимальные концентрации всех металлов в пищеварительной железе гребешка именно в январе, в период наиболее низкой температуры воды, когда многие метабо-

лические процессы замедляются, так же как и активность ферментов, содержащих исследуемые металлы. Кроме того, как изменения солености воды (концентраций металлов в воде), так и различия содержания металлов на отдельных участках поселения могут влиять на концентрации этих металлов в гребешках. Известно, что уравниваются концентрации металлов в среде и в моллюсках довольно быстро, примерно одну неделю [Regoli, Orlando, 1994].

Резюмируя полученные результаты, можно сделать вывод, что по причине значительной сезонной вариабельности концентраций физиологически важных металлов нельзя рекомендовать прямое использование концентраций этих металлов для оценки степени загрязненности конкретного района исследованными тяжелыми металлами.

Статистически значимое снижение концентрации всех исследованных физиологически важных металлов в пищеварительной железе гребешков с увеличением их возраста обнаружено нами для гребешков из б. Миноносек, где были собраны особи, как половозрелые, так и половозрелые (от спата до двухлетнего возраста), кроме того, у них высота раковины различалась в 4 раза. Скорее всего, такое снижение связано с уменьшением интенсивности метаболических процессов, то есть состава и количества ферментов и других веществ, при переходе от ювенильности к половой зрелости. Например известно, что в этот период понижается интенсивность дыхания и относительная скорость роста. В других районах, где выборки гребешков были представлены особями только среднего возраста (2–8 лет), связи концентрации – возраст были не столь очевидны и выявлялись не для всех металлов. Так, в районе устья Первой Речки только для Cu наблюдалось возрастное повышение концентрации этого металла (в марте,

при максимальной массе пищеварительной железы и пике развития гонады). Более существенные и статистически значимые изменения в концентрации микроэлементов происходили позднее, при переходе гребешком возрастного рубежа в девять лет. Известно, что именно в этом возрасте начинается переход к периоду старости в онтогенезе гребешка [Silina, 1996]. Возможно, что этот переход связан с новым этапом снижения скорости метаболических процессов и минерального обмена в организме гребешка, влияющем в первую очередь на концентрацию именно этих двух металлов, один из которых связан с обеспечением процесса дыхания. Другие исследователи также наблюдали снижение концентраций Fe, Cu и Mn в мягких тканях ряда двусторчатых моллюсков при возрастном диапазоне от ювенильности до половозрелости, но для Zn ими были получены более противоречивые результаты [Boyden, 1977; Cossa et al., 1980; Swaileh, Adelung, 1994; Riget et al., 1996]. По их данным, концентрация этого элемента у различных видов моллюсков увеличивалась или уменьшалась с их возрастом или вообще не зависела от возраста. Причем для мидии *M. edulis* разными авторами были получены противоположные результаты.

Для приморского гребешка предшествующими исследователями при изучении возрастной динамики концентраций металлов в мягких тканях гребешка, собранных в апреле в б. Миноносек было установлено, что концентрации Fe, Cu, Zn и Mn значимо не отличались у особей в возрастном диапазоне 2–7 лет [Христофорова, 1996]. Однако на отдельных органах гребешка этим же автором обнаружены тканеспецифические и металлосоцифические возрастные изменения концен-

траций этих металлов. В частности, ею было получено, что концентрации Cu и Zn в пищеварительной железе в преднерестовый период (апрель) увеличивались с возрастом гребешка, а Mn – не изменялись.

Таким образом, как по нашим данным, так и по данным других авторов, для исследованных физиологически важных металлов, которые входят в состав ферментов, участвующих в процессах метаболизма моллюсков, нами выявлены металлосоцифические особенности возрастных и сезонных изменений их концентраций в пищеварительной железе гребешка. Причины изменчивости концентраций этих металлов в этом органе выделить трудно, литературных данных по этому вопросу крайне мало. Однако на основе полученных данных можно предположить, что определяющими факторами вариаций концентраций исследованных эссенциальных металлов в пищеварительной железе гребешка могут быть: 1) сезонные изменения скоростей метаболизма и минерального обмена под воздействием периодических и аperiodических изменений физических и химических параметров среды, а также репродуктивного состояния организма; 2) изменения интенсивности метаболизма в процессе онтогенеза гребешков, например при переходе к половозрелости, а также к старости; 3) различия в скоростях роста гребешка от одного места сбора к другому; 4) степень загрязненности места отбора гребешков, также влияющая на процессы аккумуляции металлов в гребешках; 5) тип металла, так как разные металлы могут входить в состав разных ферментов, которые участвуют в отличающихся метаболических процессах, характерных для того или иного этапа развития моллюска.

Благодарности

Благодарим Е. Слинько (ТОИ ДВО РАН) за выполнение химических анализов и Н. Золотову (АООТ «Темп») за любезное предоставление гребешков из

скадов б. Миноноска зал. Посыета. Статья написана при поддержке гранта ДВО РАН № 03-3-А-06-057.

Литература

- Ващенко М.А. 2000. Загрязнение залива Петра Великого Японского моря и его биологические последствия // Биология моря. Т. 26. № 3. С. 149-159.
- Дзюба С.М. 1986. Половая система и гаметогенез // Приморский гребешок. Ред. П.А. Мотавкин. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР. С. 118-130.
- Киричук Г.Е. 2003. Особенности накопления ионов тяжелых металлов в организме двусторчатых моллюсков // Гидробиологический журнал. Т. 39. № 3. С. 45-55.
- Ковкевадова Л.Т. 1993. Тяжелые металлы в промысловых беспозвоночных залива Петра Великого в связи с условиями существования // Автореф. ...канд. биол. наук. Владивосток. 28 с.
- Лукьянова О.Н., Мартымянова Т.Ю. 1996. Сезонные изменения микроэлементного состава органов приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* // Биология моря. Т. 22. № 6. С. 378-385.
- Мойсейченко Г.В. 1989. Общие закономерности и особенности накопления меди и цинка приморским гребешком // 1-ая Всесоюзная конференция по рыбохозяйственной токсикологии: Тезисы докладов. Рига, декабрь, 1988г. Ч. 2. Рига. С. 42-43.
- Силина А.В. 1978. Определение возраста и темпов роста приморского гребешка по скульптуре поверхности его раковины // Биология моря. Т. 4. № 5. С. 29-39.
- Силина А.В. 1990. Выбор районов и сроков вырешивания приморского гребешка у берегов Приморья // Биология моря. 1990. Т. 16. № 5. С. 48-52.
- Ткалин А.В. 1998. Оценка состояния морской среды в районе Владивостока по содержанию поллютантов в моллюсках и грунтах // Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую воду. Труды ДВНИИГМИ. Владивосток: Дальнаука. С. 114-124.
- Христофорова Н.К. 1996. Концентрация металлов в тканях гребешка *Mizuhopecten yessoensis* разного возраста // Биология моря. Т. 22. № 3. С. 183-188.
- Христофорова Н.К., Шулькин В.М., Кавун В.Я., Чернова Е.Н. 1994. Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука. 296 с.
- Черкасова И.В., Писарева Н.А. 1988. Жирные кислоты фосфолипидов церебральной ганглии самцов мидии Грея при воздействии меди // 5-ая Всесоюзная конференция по водной токсикологии: Тезисы докладов. Одесса, 18-22 апреля 1988г. М. С. 151.
- Шулькин В.М., Кавун В.Я. 1994. Сезонные изменения микроэлементного состава мягких тканей мидий *Modiolus kurilensis* и *Crenomytilus grayanus* из Амурского залива Японского моря // Биология моря. Т. 20. № 4. С. 296-304.
- Boalch R., Chan S., Taylor D. 1981. Seasonal variation in the trace metal content of *Mytilus edulis* // Marine Pollution Bulletin. V. 12. P. 276-280.
- Bordin G., McCourt J., Rodriguez A. 1992. Trace metals in the marine bivalve *Macoma balthica* in the Westerschelde Estuary (The Netherlands). Part I. Analysis of total copper, cadmium, zinc and iron concentration - location and seasonal variations // Science of Total Environments. V. 127. C. 255-280.
- Boyden C.R. 1977. Effect of size upon metal content of shellfish // Journal of Marine Biology of Association of UK. V. 57. P. 675-714.
- Boyden C.R., Phillips D.H.J. 1981. Seasonal variation and inherent variability of trace elements in oysters and their implications for indicator studies // Marine Ecology Progress Series. V. 5. P. 29-40.
- Bryan G.W. 1973. The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximus* (L.) and *Chlamys opercularis* (L.) // Journal of Marine Biology of Association of UK. V. 53. P. 145-156.
- Cain D.J., Luoma S.N. 1990. Influence of seasonal growth, age, and environmental exposure on Cu and Ag in a bivalve indicator, *Macoma balthica*, in San Francisco Bay // Marine Ecology Progress Series. V. 60. P. 45-55.
- Chambers J.E., McCorkle F.M., Carroll J.W. et al. 1975. Variation in enzyme activities of the american oyster (*Crassostrea virginica*) relative to size and season // Comparative Biochemistry and Physiology. V. 51B. P. 145-150.
- Cossa D., Bourget E., Pouliot D., Chanut J.P. 1980. Geographical and seasonal variation in the relationship between trace metal content and body weight in *Mytilus edulis* // Marine Biology. V. 58. P. 7-14.
- Evtushenko Z.S., Lukyanova O.N., Belcheva N.N. 1990. Cadmium bioaccumulation in organs of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* // Marine Biology. V. 104. P. 247-250.
- Fowler S.W., Oregoni B. 1976. Trace metals in mussels from the N.W. Mediterranean // Marine Pollution Bulletin. V. 7. P. 26-29.
- Ikuta K. 1985. Distribution of heavy metals in female and male of a scallop, *Patinopecten (Mizuhopecten) yessoensis* // Bulletin of the Faculty of Agriculture, Miyazaki University. V. 32. N 1. P. 93-102.
- Livingstone D.R. 1985. Response of the detoxification/toxication enzymes system of mollusks to organic pollutants and xenobiotics // Marine Biological Bulletin. V. 16. P. 158-164.
- Livingstone D.R. 1998. The fate of organic xenobiotics in aquatic ecosystems: quantitative and qualitative differences in biotransformation by invertebrates and fishes // Comparative Biochemistry and Physiology. V. 120A. P. 43-49.
- Long E.R., MacDonald D.D., Smith S.L., Calder F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // Environmental Management. N 19. P. 81-97.
- Mauri M., Orlando E., Nigro M., Regoli F. 1990. Heavy metals in the Antarctic scallop *Adamussium colbecki* // Marine Ecology Progress Series. V. 67. P. 27-33.
- Pennec G.L., Pennec M.L., Beninger P.G. 2001. Seasonal digestive gland dynamics of the scallop *Pecten maximus* in the Bay of Brest (France) // Journal of Marine Biology of Association of UK. V. 81. P. 663-671.
- Pentreath R.J. 1973. The accumulation from water of Zn, Mn, Co and Fe by the mussel, *Mytilus edulis* // Journal of Marine Biology of Association of UK. V. 53. P. 127-143.
- Polyakov D.M., Malakhov V.V. 1990. The distribution of metals in bottom sediments of estuaries (with a special reference to the streams of the northern Amur Bay) // The First Soviet-Chinese Symposium on Oceanography: Abstracts. Vladivostok. P. 10-11.
- Regoli F., Orlando E. 1994. Accumulation and subcellular distribution of metals (Cu, Fe, Mn, Pb and Zn) in the mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* during a field transplant experiment // Marine Pollution Bulletin. V. 28. P. 592-600.
- Riget F., Johansen P., Asmund G. 1996. Influence of length on element concentrations in blue mussels (*Mytilus edulis*) // Marine Pollution Bulletin. V. 32. P. 745-751.
- Shulkin V.M., Kavun V.Ya. 1995. The use of marine bivalves in heavy metal monitoring near Vladivostok, Russia // Marine Pollution Bulletin. V. 31. P. 330-333.
- Silina A.V. 1996. Mortality of late juvenile and adult stages of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Jay) // Aquaculture. V. 141. P. 97-105.
- Swaileh K.M., Adelung D. 1994. Levels of trace metals and effect of body size on metal content and concentration in *Arctica islandica* L. (Mollusca, Bivalvia) from Kiel Bay, Western Baltic // Marine Pollution Bulletin. V. 28. P. 500-505.
- Tkalin A.V., Belan T.A., Shapovalov E.N. 1993. The state of the Marine Environment near Vladivostok, Russia // Marine Pollution Bulletin. V. 26. P. 418-422.
- Talbot V. 1986. Seasonal variation of copper and zinc concentration in the oyster *Saccostrea cucullata* from the Dampier Archipelago, Western Australia: implication for pollution monitoring // Sciences of Total Environment. V. 57. P. 217-230.