

Е.А. ЖАДЬКО, Н.И. СТЕБЛЕВСКАЯ,  
Н.В. ПОЛЯКОВА, С.В. ЧУСОВИТИНА

## Содержание некоторых микроэлементов в тканях одно- и двухлетнего приморского гребешка бухты Северная залива Петра Великого (Японское море)

*Изучено содержание и особенности распределения некоторых микроэлементов в пищеварительной железе, жабрах и мускуле одно- и двухлетнего приморского гребешка (*Mizuhopecten yessoensis*), выращенного в марикультурном хозяйстве бухты Северная в 2015–2016 гг. В тканях моллюсков обеих возрастных групп преобладают железо, бром и цинк.*

*В пищеварительной железе моллюсков количественные показатели железа многократно превышают концентрации других металлов. В жабрах больше всего накапливается цинк. Мускул гребешков значительно уступает жабрам и пищеварительной железе по содержанию микроэлементов. Концентрации токсичных свинца, кадмия, мышьяка и ртути в тканях моллюсков не превышают предельно допустимые уровни (ПДУ), за исключением пищеварительной железы, в которой уровень концентрации кадмия выше ПДУ.*

*Ключевые слова:* микроэлементы, приморский гребешок, пищеварительная железа, мускул, жабры.

**The content of some trace elements in the tissues of the annual and two-year coastal scallop of the Severnaya Bay of Peter the Great Gulf (Sea of Japan).** E.A. ZHAD'KO (Far East State Technical Fishery University, Vladivostok), N.I. STEBLEVSKAYA (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Far East State Technical Fishery University, Vladivostok), N.V. POLYAKOVA (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok), S.V. CHUSOVITINA (Far East State Technical Fishery University, Vladivostok).

*The content and distribution of some microelements in the digestive gland, gills and muscle of the one-year and two-year-old Japanese scallops (*Mizuhopecten yessoensis*), grown in the maricultural farm of the Severnaya Bay in 2015–2016 are studied. In the tissues of mollusks of both age groups iron, bromine and zinc are predominated. In the digestive gland of mollusks, the iron content is many times higher than that of other metals, gills are leading in terms of zinc content. The muscle of the scallops is much inferior to the gills and digestive gland according to the content of trace elements. The concentration of toxic lead, cadmium, arsenic and mercury in the tissues of the mollusks does not exceed the maximum possible concentration, with the exception of the digestive gland, in which the concentration of cadmium is above the maximum possible concentration.*

*Key words:* microelements, Japanese scallop, digestive gland, muscle, gills.

Одним из приоритетов в развитии научно-теоретической базы российской марикультуры является использование современных методов контроля функционального состояния ценных промысловых и культивируемых гидробионтов как основы для разработки и оптимизации биотехнологических процессов. Изучение распределения и пороговых

---

ЖАДЬКО Елена Александровна – кандидат биологических наук, доцент, ЧУСОВИТИНА Светлана Васильевна – кандидат биологических наук, доцент (Дальневосточный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток), \*СТЕБЛЕВСКАЯ Надежда Ивановна – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), профессор (Дальневосточный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток), ПОЛЯКОВА Наталья Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник (Институт химии ДВО РАН, Владивосток). \*E-mail: [stblevskaya@ich.dvo.ru](mailto:stblevskaya@ich.dvo.ru)

концентраций микроэлементов, в том числе токсичных, в органах и тканях культивируемых гидробионтов позволяет в определенной мере оценить не только пищевую ценность и безопасность морепродукта, но и степень антропогенной нагрузки на ту или иную морскую акваторию.

Двустворчатые моллюски – важное функциональное звено прибрежных морских экосистем, через которые проходят микроэлементные потоки с последующим их отложением в донные осадки [12]. Многие виды гидробионтов способны аккумулировать металлы в концентрациях в десятки и сотни раз более высоких, чем их содержание в среде. Накапливаясь в тканях моллюсков, токсичные металлы оказывают влияние на формирование микроэлементного состава объектов промысла и марикультуры. В нашей стране безопасность пищевых продуктов из морского сырья гарантируется установлением и соблюдением регламентированного уровня содержания загрязнителей химической и биологической природы, а также природных токсичных веществ, характерных для конкретного продукта и представляющих опасность для здоровья<sup>1</sup>.

Приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* – один из наиболее ценных промысловых и культивируемых видов гидробионтов. Сведения о минеральном составе его органов дают информацию о качестве данного морепродукта, являющегося источником необходимых человеку микроэлементов. Изучение содержания и распределения микроэлементов в органах и тканях двустворчатых моллюсков в возрастном аспекте необходимо для более глубокого понимания их биологического значения для организма гидробионтов. Данная работа представляет собой часть комплексных исследований уровня антропогенной нагрузки на экосистему бухты Северная зал. Петра Великого и физиологического состояния приморского гребешка *M. yessoensis*, выращенного в условиях марикультуры, в частности микроэлементного состава тканей особей в одно- и двухлетнем возрасте.

### Объекты и методы исследований

Работа выполнялась на оборудовании Центра коллективного пользования Дальневосточного центра структурных исследований Института химии ДВО РАН.

В качестве объекта исследования выбраны разновозрастные приморские гребешки *M. yessoensis* из марикультурного хозяйства бухты Северная. Для изучения микроэлементного состава использовали ткани пищеварительной железы, мускула и жабр моллюсков. Всего анализу подвергнуто по 30 проб каждого вида тканей разновозрастных особей приморского гребешка. Подготовка проб осуществлялась в соответствии с рекомендациями [4]: образцы помещали в тefлоновые автоклавы, добавляли смесь азотной кислоты и перекиси водорода (1 : 2) и разлагали в микроволновом реакторе Milestone UltraCLAVE (Италия) в течение 60 мин при 200 °С и давлении 60 атм. Элементный анализ подготовленных растворов проб проводили рентгенофлуоресцентным методом с полным внешним отражением на приборе TXRF 8030C (FEI Compau, Германия). Пробу объемом 10 мкл наносили на подложку из полированного кварцевого стекла. Время измерения – 500 с, источники возбуждения –  $W_{L\beta}$  и  $WBr_{32}$ , внутренний стандарт – раствор иттрия в концентрации 25 мкг/мл. Предел обнаружения для различных элементов в пробах варьирует от  $10^{-7}$  до  $10^{-10}$  %.

### Результаты исследования

Микроэлементный состав тканей одно- и двухлетнего приморского гребешка, выращенного в марикультурном хозяйстве бухты Северная, представлен в таблице.

<sup>1</sup> СанПиН 2.3.2.10-78.01. Гигиенические требования к качеству и безопасности сырья и пищевых продуктов. М.: Госкомэпиднадзор России, 2002. 156 с.

Сравнивая количественные значения микроэлементов у разновозрастных моллюсков, следует отметить, что в целом содержание эссенциальных микроэлементов в тканях однолетнего гребешка несколько выше, а концентрации токсичных тяжелых металлов ниже, чем у двухлетних особей. Микроэлементы распределяются в органах моллюсков неравномерно, во многом соответственно выполняемым ими функциям. По уровню накопления в тканях и органах одно- и двухлетних особей приморского гребешка микроэлементы можно расположить следующим образом:

Однолетний приморский гребешок

Пищеварительная железа:  $Fe > Zn > Br > Cu > Sr > Cd > Pb > As$

Мускул:  $Br > Zn > Fe > Cu > Pb > Sr > As > Cd$

Жабры:  $Zn > Br > Fe > Sr > Cu > Pb > As > Cd$ .

Двухлетний приморский гребешок

Пищеварительная железа:  $Fe > Br > Zn > Cd > Sr > As > Cu > Pb > Hg$

Мускул:  $Zn > Fe > Br > Sr > Mn > As > Cu > Pb > Cd > Hg$

Жабры:  $Zn > Br > Fe > Mn > Sr > As > Pb > Cu > Cd$ .

Группу преобладающих по содержанию микроэлементов в тканях одно- и двухлетних моллюсков составили железо, бром и цинк. Для всех исследованных особей приморского гребешка характерна максимально высокая концентрация железа в пищеварительной железе, многократно превышающая уровни накопления других металлов. В жабрах железа содержится в 7–8 раз, а в мускулах – в 18 раз меньше. Количественные показатели железа в тканях у однолетних гребешков в 1,2–1,3 раза выше, чем у двухлетних. Высокие концентрации железа в пищеварительной железе приморского гребешка были отмечены ранее [20]. Известно, что пищеварительная железа моллюсков является важнейшим органом детоксикации, в которой происходит депонирование железа и других биометаллов [20]. Железобелковые комплексы расходуются на образование различных гемопротеинов, в том числе железосодержащих ферментов цитохромов, каталаз и пероксидаз, участвующих в процессах тканевого дыхания [1].

По содержанию цинка лидируют жабры моллюсков обоих возрастов. В них цинка накапливается в 1,3–1,8 раза больше, чем в пищеварительной железе, и в 3 раза больше, чем в мускуле. Количественные показатели цинка в ткани пищеварительной железы у одно- и двухлетних моллюсков различаются незначительно, тогда как в жабрах и мускуле у двухлетних особей цинка в 1,2–1,4 раза больше, чем у однолетних. Известно, что цинк входит в состав целого ряда металлоферментов, вовлеченных в узловые биохимические процессы в клетках (карбоангидраз, дегидрогеназ, фосфотаз, протеиназ, пептидаз и т.п.), и играет существенную роль в стабилизации рибосом и биополимеров. От его внутриклеточного содержания зависит прохождение гликолитических и окислительных процессов [15]. Среди моллюсков его максимальная концентрация отмечена в тканях устриц [14, 21]. В тканях приморского гребешка идентифицированы цинк-содержащие металлоферменты энергетического обмена, кислые и щелочные фосфотазы, участвующие в фосфорном и липидном обменах, супероксиддисмутаза – фермент антиоксидантного действия, который индуцирует биосинтез металлотioneинов (защитных белков клетки), т.е. служит антиоксидантом репаративного действия. Многие щелочные фосфотазы одновременно являются металлозависимыми ферментами, двухвалентные ионы других металлов стабилизируют их структуры и повышают активность [19].

У моллюсков обеих возрастных групп уровни содержания брома в ткани пищеварительной железы и жабрах имеют близкие значения, в мускуле его в несколько раз меньше. У однолетнего гребешка концентрация брома в ткани мускула втрое выше, чем у двухлетнего. Функция брома в тканях у моллюсков не изучена, у высших позвоночных бром участвует в активизации пищеварительных ферментных систем, например, способствует переходу пищеварительного фермента пепсина из неактивной формы в активную, активизирует такие ферменты, как липаза и амилаза [2].

Концентрации микроэлементов в тканях разновозрастного приморского гребешка бухты Северная (зал. Петра Великого, Японское море), мкг/г сырой массы

Органы, ткани	Fe	Zn	Br	Cu	Sr	Pb	Cd	As	Hg
Однолетний приморский гребешок									
Пищеварительная железа	115,7–334,3 200,2 ± 74,5	31,9–73,9 45,9 ± 15,9	24,4–57,9 43,3 ± 10,8	6,12–12,3 8,3 ± 2,5	9,4–8,3 7,5 ± 1,9	5,3–8,8 7,1 ± 2,3	3,8–12,7 8,5 ± 2,9	0,57–0,99 1,1 ± 0,33	–
Мускул	6,9–22,3 10,8 ± 6,9	14,1–23,1 18,1 ± 3,9	15,9–29,3 21,4 ± 4,1	5,8–8,5 7,2 ± 1,0	1,6–3,6 2,8 ± 1,2	3,8–7,4 5,6 ± 1,2	0,09–0,64 0,29 ± 0,2	0,25–0,57 0,41 ± 0,12	–
Жабры	13,0–38,6 25,9 ± 8,7	6,09–95,2 59,6 ± 27,7	38,8–57,9 46,8 ± 6,3	5,2–10,1 6,5 ± 1,7	5,7–14,8 8,4 ± 2,9	2,6–6,6 4,9 ± 1,5	0,02–0,72 0,42 ± 0,24	0,19–0,80 0,44 ± 0,19	–
Двухлетний приморский гребешок									
Пищеварительная железа	139–157 150 ± 16,2	37,9–42,6 39,8 ± 5,5	37,1–53,8 46,1 ± 5,3	3,95–5,7 4,95 ± 1,9	7,7–10,3 8,80 ± 1,9	0,4–2,1 1,2 ± 0,1	10,9–15,2 13,2 ± 2,5	5,98–7,38 6,48 ± 2,1	0,14–0,2 0,17 ± 0,01
Мускул	7,14–9,9 8,42 ± 2,9	22,6–30,1 25,7 ± 2,03	4,52–9,26 6,75 ± 1,7	0,82–1,43 1,10 ± 0,87	2,49–3,0 2,72 ± 0,23	0,6–1,6 1,1 ± 0,4	0,12–0,37 0,21 ± 0,15	1,15–1,60 1,40 ± 0,53	0,006–0,01 0,008 ± 0,002
Жабры	12,3–39,9 21,8 ± 4,95	55,8–86,2 72,7 ± 7,99	28,9–32,9 31,4 ± 4,11	0,83–0,99 0,97 ± 0,13	5,7–6,57 6,1 ± 0,89	1,1–3,3 2,3 ± 1,4	0,25–0,73 0,47 ± 0,67	1,93–3,13 2,67 ± 1,65	–

Примечание. В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние значения и стандартные отклонения. Прочерк – не обнаружено.

Медь по содержанию в тканях приморского гребешка многократно уступает железу, цинку и бромю. У однолетних моллюсков концентрации этого металла в тканях значительно выше, чем у двухлетних. Так, в пищеварительной железе однолетних особей содержится в среднем в 1,5 раза, а в жабрах и мускуле в 6–6,5 раза больше меди, чем у двухлетних. Интересно, что у однолетнего гребешка уровни содержания меди в изученных тканях различаются незначительно, тогда как у двухлетних особей количество меди в пищеварительной железе в 5 раз выше, чем в жабрах и мускуле. Среди тяжелых металлов медь отличается высокой токсичностью и в то же время является необходимым кофактором важнейших окислительно-восстановительных ферментов, в частности цитохромоксидазы и некоторых других, связанных с процессами гидроксирования, переноса кислорода и электронов, а также окислительного катализа. Медь может способствовать образованию активных форм кислорода в клетках при нормальном клеточном метаболизме, а также вызывать окисление сульфгидрильных групп ферментов, инактивируя их. Повышенный уровень меди в воде приводит к ее аккумуляции морскими организмами и усилению процессов свободно-радикального окисления [11]. Доказана способность гидробивортов аккумулировать этот микроэлемент из окружающей среды либо захватом гидроксидов этого металла жабрами, либо хемосорбцией ионов на слизистой, либо поглощением его из донных отложений [15].

Содержание стронция в жабрах и пищеварительной железе моллюсков обоих возрастов различается незначительно и в среднем в 2,5–3 раза превышает его количество в мускуле. Стронций из-за структурного сходства с кальцием обладает способностью замещать его в скелетных

структурах, в том числе в хрящевой ткани жабр, следствием этого является нарушение обмена кальция в организме. Обнаружение стронция в пищеварительной железе моллюсков, возможно, обусловлено функцией детоксикации и депонирования токсичных соединений тканью железы.

В исследованных органах приморского гребешка обнаружены свинец, кадмий, мышьяк и ртуть. Больше всего токсичных элементов содержится в пищеварительной железе моллюсков, меньше – в жабрах и мускуле. У двухлетних моллюсков концентрация кадмия в пищеварительной железе в 1,5 раза выше, чем у однолетних. В тканях жабр и мускула у моллюсков обоих возрастов уровни содержания кадмия имеют близкие значения, но на порядок меньшие, чем в пищеварительной железе.

Ранее было выявлено, что годовалые особи приморского гребешка способны аккумулировать большое количество кадмия в пищеварительной железе как при фоновых концентрациях этого тяжелого металла, так и при повышенном его содержании в водной среде, причем без видимого патологического эффекта. В исследовании, проведенном на половозрелых особях приморского гребешка, показано, что аккумуляция кадмия вызывает перераспределение меди, цинка и железа в пищеварительной железе. Высокие концентрации кадмия в пищеварительной железе и почках были обнаружены также у других представителей сем. Pectinidae, обитающих в акваториях с низким содержанием кадмия [8, 9].

У двухлетних особей в пищеварительной железе и жабрах содержится в 6 раз, а в мускуле в 3,5 раза больше мышьяка, чем у однолетних. Известно, что мышьяк в низких концентрациях относится к ретикуло-эндотелиальным элементам, т.е. принимает участие в процессах выработки иммуноглобулинов, в нуклеиновом обмене и необходим для синтеза гемоглобина. В то же время в избыточных концентрациях мышьяк обладает высокой токсичностью [18].

В отличие от однолетнего, у двухлетнего приморского гребешка обнаружено незначительное количество ртути в мускуле и пищеварительной железе.

Содержание токсичных элементов в тканях разновозрастных моллюсков из бухты Северная не превышает предельно допустимых значений, за исключением кадмия в пищеварительной железе, концентрация которого составила 8,5 и 13,2 мкг/г сырой массы (ПДУ – 2,0 мкг/г сырой массы).

Уровень содержания токсичных металлов в тканях гидробионтов зависит от целого ряда факторов: видовой принадлежности, возрастной изменчивости содержания микроэлементов, типа питания, геохимического фона среды. В результате антропогенного воздействия концентрации поллютантов, в том числе тяжелых металлов, в компонентах морской среды могут многократно возрастать [18]. Бухта Северная в составе Славянского залива по уровню загрязненности относится к классу умеренно загрязненных прибрежных полузамкнутых акваторий, в которых концентрации растворенных форм металлов повышенные за счет увеличения нагрузки с суши [3].

При повышении концентрации тяжелых металлов в морской воде увеличивается уровень их содержания в органах, выполняющих барьерные функции, – в жабрах, пищеварительном тракте, печени гидробионтов. При этом большинство элементов концентрируется в печени, которая выполняет депонирующую функцию по отношению к токсикантам. У моллюсков эту функцию выполняет гепатопанкреас (пищеварительная железа) [18].

### **Обсуждение результатов**

Возрастная динамика уровней микроэлементов в организме есть отражение результирующего действия целого ряда факторов, в частности интенсивности роста на разных стадиях онтогенеза, изменения физиологического состояния организма, интенсивности метаболизма, состояния окружающей среды [4].

Данные по возрастной динамике микроэлементов в тканях моллюсков весьма противоречивы. Так, было установлено, что у двух видов долгоживущих моллюсков – мидии Грея *Crenomytilus grayanus* и модиолюса длиннощетинистого *Modiolus kurilensis* – с возрастом увеличивается содержание в тканях кадмия, кобальта, никеля, свинца, цинка, железа и хрома (металлы приведены в порядке убывания концентраций элементов). Уровни меди и марганца либо стабильны на протяжении жизни митилид, либо уменьшаются на стадии активного роста и увеличиваются при снижении метаболизма на поздних стадиях онтогенеза [12]. В то же время в других работах обнаружена обратная связь между изменениями массы мягких тканей митилид и концентрацией в них Mn и Zn [23].

В мягких тканях беломорской мидии *Mytilus edulis* зафиксировано достоверное повышение содержания Fe, Se и Co и снижение концентраций Zn, Mn, Ni, Cu и As при увеличении длины раковины и массы моллюска [5]. В тканях американской устрицы *Crassostrea virginica* и калифорнийской мидии *Mytilus californianus* выявлено снижение концентраций Fe, Cu и Mn в возрастном диапазоне от молодежи до половозрелых особей; интересно, что при значительных различиях в массе более высокие концентрации некоторых металлов наблюдались у мелких особей [24].

Изучение распределения металлов в образцах средиземноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* разных размерно-возрастных групп показало, что с увеличением размера моллюсков в мягких тканях снижается содержание Mn, Cu, а с увеличением возраста животного повышаются концентрации Zn, Co, Cd, As [22].

Исследованиям микроэлементного состава приморского гребешка, в том числе в возрастном аспекте, посвящен целый ряд работ [13, 16, 17, 20]. Для приморского гребешка из бухты Миносок (зал. Петра Великого Японского моря) наблюдалось статистически значимое снижение концентраций микроэлементов в пищеварительной железе с увеличением их возраста. Сравнение концентраций микроэлементов в пищеварительной железе спата и годовиков показало для Mn снижение концентраций в 6,5, для Fe – в 2,7, для Cu – в 3,0, для Zn – в 1,5 раза. Такое снижение авторы связывают с уменьшением интенсивности клеточного метаболизма, т.е. состава и количества ферментов при переходе от молодежи к половой зрелости. Известно, что в это время снижаются относительная скорость роста и интенсивность дыхания. Для гребешков возрастной группы от 2 до 8 лет из других районов зал. Петра Великого связи между возрастом особей и уровнем содержания микроэлементов в тканях были не столь очевидны и выявлены не для всех металлов. Для гребешков старшей возрастной группы (9 лет и более) также наблюдалось статистически значимое снижение концентраций микроэлементов. По мнению автора, в старшем возрасте скорость метаболизма и минерального обмена у гребешка продолжает снижаться, и это влияет на концентрацию металлов, обеспечивающих клеточное дыхание [20].

Среди физиологических показателей индивидуальный возраст является одной из наименее изученных переменных величин, что связано с отсутствием методов его достоверного определения у большинства гидробионтов. Поэтому при анализе онтогенетических особенностей каких-либо процессов у водных организмов зачастую используют лишь такие косвенные показатели возраста, как изменения массы или размеров животных. Это приводит к несоответствию между стройностью теоретических моделей, которые включают понятие «возраст», и несовершенством способов оценки указанного параметра. Известно, что у морских двусторчатых моллюсков отсутствует линейная зависимость между размерно-весовыми параметрами и их возрастом. В зависимости от среды обитания и особенностей онтогенеза размеры раковины и масса моллюска одного возраста варьируют и особи, отличающиеся по размерам, могут иметь одинаковый возраст и близкие содержания микроэлементов [10]. В связи с этим для изучения возрастной динамики микроэлементного состава тканей более удобными объектами являются гидробионты, выращиваемые в условиях марикультуры. Так, интересные данные получены при проведении сравнительного анализа содержания микроэлементов в мягких тканях культивируемого двухлетнего приморского гребешка разных размеров. Концентрации Mn, Fe, Zn и Cd

в тканях моллюсков с длиной раковины 3–5 см выше, чем у гребешка длиной 7–8 см, тогда как концентрации Cu и Pb возрастают с увеличением раковины моллюска [6].

Результаты наших исследований выявили достаточно четко выраженную тенденцию к некоторому снижению концентраций эссенциальных микроэлементов в тканях двухлетнего приморского гребешка по сравнению с однолетними особями, что согласуется с данными других исследователей [20]. В то же время установлено, что у однолетних моллюсков с плантации бухты Северная средние концентрации Mn, Zn, Cu и Cd в мягком теле в целом находились в пределах 0,4–15,5 мкг/г сухой массы, у двухлетних особей содержание этих металлов резко увеличивалось (3,1–84,75 мкг/г), у трехлетних – вновь снижалось до уровня, наблюдаемого у однолетних особей гребешка (0,4–28,85 мкг/г). По мнению авторов, такая динамика концентрации металлов у приморского гребешка обусловлена высокими темпами его роста до 3-летнего возраста. В этот период происходит быстрый прирост массы тела моллюска, во время которого на фоне высокого уровня метаболизма концентрации микроэлементов снижаются [7].

Таким образом, полученные нами данные об уровнях концентраций и распределении некоторых микроэлементов в тканях одно- и двухлетнего приморского гребешка дополняют имеющиеся сведения о возрастной динамике содержания микроэлементов у двусторчатых моллюсков. Причины, а также молекулярные механизмы возрастных изменений концентраций микроэлементов в органах гидробионтов остаются малоизученными. По мнению большинства исследователей, в основе этих изменений лежит динамика интенсивности тканевого метаболизма, обусловленная физико-химическими параметрами среды и физиологическими особенностями организма на той или иной стадии онтогенеза.

## Выводы

Уровень содержания эссенциальных микроэлементов в тканях однолетнего приморского гребешка в целом выше, а концентрации токсичных тяжелых металлов значительно ниже, чем у двухлетних особей. Группу преобладающих по содержанию микроэлементов в тканях моллюсков обоих возрастов составляет железо, бром и цинк.

Количественные показатели железа в органах однолетних гребешков в 1,2–1,3 раза выше, чем двухлетних.

У одно- и двухлетних моллюсков концентрации цинка в ткани пищеварительной железы имеют близкие цифровые значения, тогда как у двухлетних особей в жабрах и мускуле содержится в 1,2–1,4 раза больше цинка, чем у однолетних.

У моллюсков обеих возрастных групп содержания брома в ткани пищеварительной железы практически одинаковы, в жабрах однолетнего гребешка концентрация брома в 1,5 раза, а в мускуле в 3 раза выше, чем у двухлетнего.

Меди в пищеварительной железе у однолетних моллюсков в 1,5 раза, а в жабрах и мускуле в 6,0–6,5 раза больше, чем у двухлетних.

Содержания стронция в жабрах и пищеварительной железе разновозрастных моллюсков различаются незначительно и в среднем в 2,5–3,0 раза превышают его количественные показатели в мускуле.

Концентрация кадмия в пищеварительной железе у двухлетних моллюсков в 1,5 раза выше, чем у однолетних. В тканях жабр и мускула у моллюсков обоих возрастов уровни содержания кадмия имеют близкие значения, но более чем на порядок меньшие, чем в пищеварительной железе.

У двухлетних особей в пищеварительной железе и жабрах мышьяка содержится в 6 раз, а в мускуле в 3,5 раза больше, чем у однолетних.

В тканях двухлетнего гребешка, в отличие от однолетнего, содержание свинца ниже в 2–3 раза, но обнаружены незначительные концентрации ртути в мускуле и пищеварительной железе.

Содержание токсичных элементов в тканях моллюсков обеих возрастных групп не превышает предельно допустимых значений, за исключением кадмия, концентрация которого в пищеварительной железе составила 8,5 и 13,2 мкг/г сырой массы соответственно (ПДУ–2,0 мкг/г сырой массы).

Полученные нами результаты анализа микроэлементного состава тканей разновозрастного приморского гребешка могут быть использованы при решении задач, связанных с оценкой качества и пищевой ценности выращиваемого моллюска, а также для оценки экологического состояния морской биоты бухты Северная, подверженной многолетнему антропогенному воздействию со стороны марикультурного гребешкового хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рафф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки: в 3 т. 2-е изд. М.: Мир, 1994. Т. 2. 539 с.
2. Барановская Н.В., Перминова Т.А. Биогеохимические особенности накопления брома в организме человека (на примере жителей Томской области) // Вестн. ОмГАУ. 2016. № 3 (23). С. 155–163.
3. Бауло Е.Н., Кучеренко Л.В., Слабженникова И.М., Мухина С.Н. Возможности метода лазерной искровой спектроскопии в экологическом мониторинге водных акваторий марихозяйства // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2013. Т. 30. С. 3–14.
4. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. М.: Химия, 1984. 432 с.
5. Бudyко Д.Ф., Демина Л.Л., Мартынова Д.М., Горшкова О.М. Микроэлементы в различных трофических группах беломорских организмов // Океанология. 2015. Т. 55, № 5. С. 808–820.
6. Вязникова К.С. Оценка изменения содержания элементов (Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях района культивирования приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* зал. Петра Великого, бухта Северная // Изв. ТИНРО. 2018. Т. 192. С. 214–233.
7. Вязникова К.С., Ковековдова Л.Т. Содержание металлов и мышьяка в культивируемом приморском гребешке и влияние марикультурного хозяйства в заливе Петра Великого на содержание тяжелых металлов в донных отложениях // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: Рыб. хоз-во. 2016. № 3. С. 109–114.
8. Жуковская А.Ф., Бельчева Н.Н., Челомин В.П. Идентификация и частичная характеристика двух высокомолекулярных кадмийсвязывающих белков приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* // Вестн. МГОУ. Серия: Естеств. науки. 2011. № 3. С. 36–42.
9. Жуковская А.Ф., Челомин В.П. Особенности механизма адаптации годовалых особей приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* к кадмию // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Т. 1. Экологическая физиология и биохимия водных организмов. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2010. С. 49–55.
10. Золотарев В.Н. Склерохронология морских двусторчатых моллюсков. Киев: Наук. думка, 1989. 107 с.
11. Истомина А.А., Довженко Н.В., Бельчева Н.Н., Челомин В.П. Раздельное и совместное действие недостатка кислорода и меди на антиоксидантную систему *Littorina mandschurica* // Вестн. МГОУ. Серия: Естеств. науки. 2011. № 1. С. 17–21.
12. Кавун В.Я. Возрастная динамика микроэлементного состава тканей долгоживущих митилид *Crenomytilus grayanus* и *Modiolus kurilensis* // Биол. моря. 1994. Т. 20, № 1. С. 62–67.
13. Кику Д.П., Ковековдова Л.Т. Металлы и металлоиды в промысловых моллюсках залива Петра Великого (Японское море) // Современное состояние водных биоресурсов: материалы науч. конф., посвященной 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. С. 537–541.
14. Кику Д.П., Ковековдова Л.Т. Оценка содержания микроэлементов в устрицах гигантских из залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. 2007. Т. 150. С. 400–406.
15. Киричук Г.Е. Особенности накопления ионов тяжелых металлов в организме двусторчатых моллюсков // Гидробиол. журн. 2003. Т. 39, № 3. С. 45–55.
16. Ковековдова Л.Т. Оценка микроэлементного состава отдельных видов промысловых гидробионтов Японского и Охотского морей // Современное состояние водных биоресурсов: материалы науч. конф., посвященной 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. С. 551–556.
17. Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В., Кику Д.П. Токсичные элементы в промысловых гидробионтах прибрежных акваторий северо-западной части Японского моря // Вопр. рыболовства. 2006. Т. 7, № 1 (25). С. 185–190.
18. Морозов Н.П. Химические элементы в гидробионтах и пищевых цепях // Биогеохимия океана. М.: Наука, 1983. С. 127–164.
19. Сеткалиева А.В., Мензорова Н.И., Рассказов В.А. Фосфатазы двусторчатых моллюсков и иглокожих Японского и Охотского морей // Биол. моря. 2015. Т. 41, № 1. С. 46–54.
20. Силина А.В., Бельчева Н.Н. Возрастная и сезонная изменчивости концентраций физиологически важных металлов в пищеварительной железе приморского гребешка из загрязненных и чистых районов // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. 2004. Вып. 8. С. 75–86.



21. Силкина Е.Н., Силкин Ю.А., Силкин М.Ю. и др. Влияние тяжелых металлов на функциональные и биохимические показатели морских гидробионтов как биоиндикаторов экологического состояния среды // Соврем. пробл. науки и образования. 2016. № 6. – <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25712> (дата обращения: 02.12.2016).

22. Темердашев З.А. Определение тяжелых металлов в мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck методом ИСП-АЭС // Аналитика и контроль. 2017. Т. 21, № 2. С. 116–124.

23. Шулькин В.М., Кавун В.Я. Сезонные изменения микроэлементного состава мягких тканей модиолуса курильского и мидии Грея из Амурского залива Японского моря // Биол. моря. 1994. Т. 20, № 4. С. 296–304.

24. Boyden C.R. The effect of size upon metal content of shellfish // J. Mar. Biol. Assoc. UK. 1977. Vol. 57. P. 675–714.