

УДК 639.446+628.394(265.54)

К.С. Вязникова*

Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
(Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Hg, Cd, Pb, As) В ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЯХ РАЙОНА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА *PATINOPECTEN YESSOENSIS*
(ЗАЛ. ПЕТРА ВЕЛИКОГО, БУХТА СЕВЕРНАЯ)**

Проведено определение и изменение концентраций тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях под плантациями марикультурного хозяйства бухты Северной в период 2015–2017 гг. Измерение концентраций металлов и мышьяка проводилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Shimadzu» 6800. Концентрацию Hg в донных отложениях определяли на прямом анализаторе ртути фирмы Milestone DMA-80. Оценка уровней загрязнения донных отложений бухты Северной, основанная на расчете индексов C_f и C_{dHMP} показала, что содержание As в донных отложениях, собранных в 2016–2017 гг., в районе второго участка марикультурного хозяйства превышает уровень вероятного токсического эффекта. В 2017 г. концентрации As на всех участках превышали уровень вероятного воздействия PEL, что свидетельствует о высокой степени воздействия донных отложений на гидробионтов, а также о неблагоприятных биологических последствиях. Содержание Cd в донных отложениях в 2015 (на 2 и 3-м участках) и в 2017 гг. (на 2-м участке) показывает очень высокую степень загрязнения. Донные отложения на 1-м участке марикультурного хозяйства с садками приморского гребешка в 2015 и 2017 гг. были подвержены высокому уровню загрязнения кадмием. Расчет коэффициента экологического риска $SQG-Q$ донных отложений бухты Северной в период с 2015 по 2017 г. позволил отнести их к умеренно токсичным, способным оказывать негативное воздействие на гидробионтов. Увеличение концентраций Cd в донных отложениях марикультурного хозяйства может быть следствием влияния жизнедеятельности гребешков, являющихся концентратором этого элемента. Также был проведен анализ содержания элементов в моллюсках, собранных из садков 1-го участка марикультурного хозяйства бухты Северной в 2016 г. Выяснено, что содержание кадмия в жабрах самцов 2-го года жизни превышает предельно допустимые уровни, указанные в нормативном документе Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299.

Ключевые слова: донные отложения, приморский гребешок, *Patinopecten yessoensis*, металлы, мышьяк, атомная абсорбция, загрязнение.

DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-214-223.

Vyaznikova K.S. Evaluation of changes in content of the elements (Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Hg, Cd, Pb, As) in the bottom sediments in the area of cultivation of the scallop *Patinopecten yessoensis* (Peter the Great Bay, Severnaya Bay) // Izv. TINRO. — 2018. — Vol. 192. — P. 214–223.

* Вязникова Ксения Сергеевна, ассистент, e-mail: vyalochka@mail.ru.
Vyaznikova Ksenia S., assistant, e-mail: vyalochka@mail.ru.

Contents of heavy metals and arsenic were measured in bottom sediments under plantations of the marine farm in the Severnaya Bay in 2015–2017, using atomic-absorption spectrophotometer Shimadzu 6800 and mercury analyzer Milestone DMA-80. Indices of pollution C_f and C_{adm} and the sediment quality guideline quotient ($SQG-Q$) are calculated. Dangerous As content is found: it exceeded the probable toxic dose (PTD) for one plantation in 2016–2017 and exceeded the probable effect level (PEL) for all plantations in 2017. Content of Cd was also high, though unstable — the Cd pollution could be caused by scallops metabolism because this species concentrates Cd in its tissues. Using the quantitative indices, pollution of the bottom sediments in the Severnaya Bay is evaluated as moderate toxic, able to make negative effect on marine organisms. The same elements contents in tissues of the cultivated scallop were measured, as well, in 2016. The dangerous content of Cd over the maximum permissible concentration allowed by the norms of the Custom Union Commission (2010) was detected for gills of adult (1+) scallop.

Key words: bottom sediment, scallop, *Patinopecten yessoensis*, heavy metal, arsenic, atomic absorption, pollution.

Введение

Биологические ресурсы Мирового океана являются жизненно важным источником питания для человека. Как только человечество осознало, что Мировой океан не неисчерпаем, возникла необходимость в регулировании добычи морепродуктов. Возникает морское фермерство или марикультура. В Японии опыт промышленного культивирования насчитывает не менее сотни лет. Интенсивное культивирование гребешка в этой стране ведется с 1960-х гг., именно Япония выращивает основную массу гребешка среди стран юго-восточной Азии, где сосредоточены мировые объемы его культивирования*. В России промышленное культивирование приморского гребешка осуществляется в прибрежной зоне Приморья с середины 1970-х гг., в настоящее время это одно из основных направлений марикультуры беспозвоночных в регионе. Были созданы и успешно функционировали два хозяйства, специализирующиеся на гребешке: в бухте Миноносок (зал. Посьета) и в зал. Владимира (Пахомова, Дорошенко, 2012).

В 1988 г. с 40 га плантаций марикультуры зал. Петра Великого было собрано 55 т гребешка, а в 1989 г. — 180 т. С наступлением общего кризиса в рыбной отрасли марикультурные хозяйства пришли в упадок, и лишь в последние годы стали появляться признаки их возрождения: постепенно восстанавливается деятельность хозяйств, наращиваются объемы реализации продукции. Благодаря климатическим и гидрологическим условиям акватории Японского моря являются благоприятными для совершенствования и развития марикультуры.

В бухте Северной (зал. Петра Великого) существует научно-производственная база Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета и с 2006 г. работает мини-завод по воспроизводству дальневосточного трепанга и товарного гребешка.

Донные отложения являются средой обитания многих водных организмов. Они влияют на экологическую обстановку водных экосистем, действуя сначала как поглотители, а впоследствии как источник загрязняющих веществ. Многие водные организмы могут подвергаться воздействию химических веществ через непосредственное взаимодействие с донными отложениями (Вашенко и др., 2010).

В процессе жизнедеятельности моллюски, выращиваемые в садках, способны изменять параметры среды, как правило, в негативную сторону. Возникает обратная связь — изменение качества среды вызывает угнетение жизнедеятельности самих культивируемых организмов (Iwama, 1991; Black et al., 1996).

Моллюски способны концентрировать элементы и парантерально из воды, и алиментарно из пищи (Поликарпов, Егоров, 1986). Основным различием аккумуляции растворенных соединений металлов моллюсками по сравнению с другими водными

* The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome: FAO, 2010. 197 p. (also available at www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e.pdf).

организмами является наличие в их тканях специфических белков металлотионеинов, которые связывают металлы и поддерживают градиент концентрации со средой и накоплением металлов в тканях (Лукьянова, 1997).

Возможность применения моллюсков в качестве организмов-индикаторов обусловлена тем, что они отражают загрязнение среды тяжелыми металлами (Христофорова и др., 1993). Влияние данного марикультурного хозяйства на состояние донных отложений и морской воды практически не изучено.

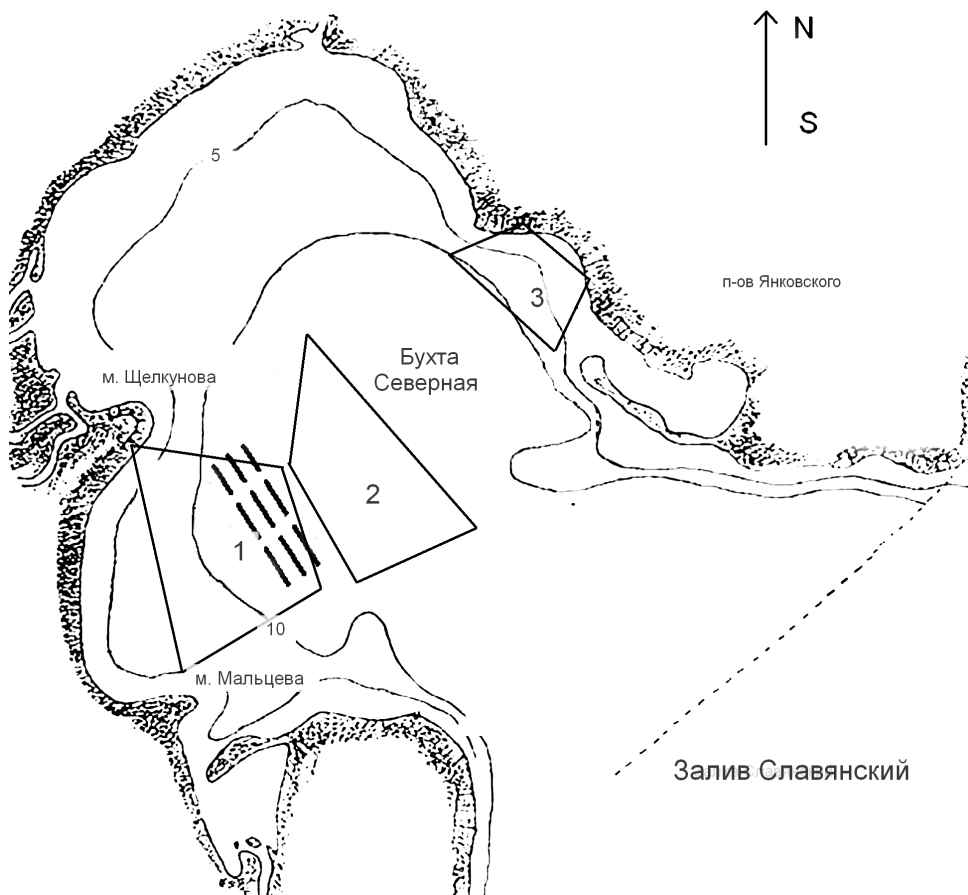
Бухта Северная расположена в пределах акватории зал. Славянского Амурского залива. До 1992 г. бухта Северная находилась под сильным антропогенным влиянием: траловый промысел рыбы, загрязнение хозяйственно-бытовыми стоками предприятий и судов.

Бухта Северная мелководна и невелика по своей площади: протяженность береговой линии 4 км, ширина около 2,8 км, глубины у входа составляют 11–20 м, постепенно уменьшаясь по направлению к берегу до 2–5 м. Наибольшие глубины отмечаются в северо-восточной части бухты.

Цель работы — оценить изменения уровней содержания элементов (Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Ni, Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях района культивирования приморского гребешка (зал. Петра Великого, бухта Северная) с 2015 по 2017 г.

Материалы и методы

Были исследованы донные отложения бухты Северной, собранные в 2015–2016 гг., и культивируемый приморский гребешок *Patinopecten yessoensis* 2-летнего возраста, отобранный в 2016 г. Схема расположения участков (плантаций) марикультурного хозяйства в бухте Северной приведена на рисунке.



Карта-схема расположения участков (плантаций) марикультурного хозяйства в бухте Северной

Scheme of plantations arrangement for the marine farm in the Severnaya Bay

Отбор проб донных отложений проводили согласно ГОСТу 17.1.5.01-80: грунтовыми трубками с пластмассовыми вкладышами отбирали пробы верхнего (4–5 см) слоя донных осадков. С каждого участка марикультурного хозяйства отобрано по 4 пробы донных отложений.

Отбор моллюсков проводился водолазным способом из 4 садков с 1-го участка плантации. Из каждого садка было отобрано не менее 10 особей.

В пробах донных отложений элементы определяли в соответствии с методикой количественного химического анализа «Определение As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn (кислоторастворимые формы) в почвах и донных отложениях атомно-абсорбционным методом» (М 02-902-125-2005).

Подготовку мягких тканей моллюсков к атомно-абсорбционному определению элементов проводили методом кислотной минерализации с HNO_3 согласно ГОСТу 26929-94. До анализа пробы хранились в замороженном виде. Отобранных моллюсков делили на размерные группы. Из открытой раковины, надрезав мантию в передней части, сливали мантийную жидкость. После этого из раковины тщательно извлекали тело моллюска, которое брали на анализ как целиком, так и по органам. Навеску обрабатывали 5–10 мл концентрированной HNO_3 и выдерживали 24 ч при комнатной температуре, а затем нагревали при 120 °С в течение 3 ч. Остаток фильтровали и доводили до 25 мл в мерной колбе.

Измерение концентраций Fe, Zn, Mn, Cu, Co и Ni в моллюсках и донных отложениях проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Shimadzu» 6800 (Shimadzu corporation, Киото, Япония). В качестве атомизатора использовали однощелевую горелку, в качестве горючей смеси — смесь ацетилен–воздух. Фон корректировался дейтериевой лампой.

Концентрацию Cd, Pb и As в моллюсках определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Shimadzu» 6800, где атомизатором служила графитовая кювета. Концентрацию Hg в донных отложениях определяли на прямом анализаторе ртути фирмы Milestone DMA-80.

Для сравнения использовали рабочие стандартные образцы растворов металлов, внесенные в Государственный реестр средств измерений. Относительная погрешность определения элементов составляла не более 7 %.

Все полученные результаты обработаны статистически с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Уровень концентрации элементов в донных отложениях зависит от гранулометрического состава донных отложений, содержания в них органических веществ и антропогенного воздействия на акваторию. Антропогенное влияние на экологическое состояние бухты Северной оказывают стоки р. Брусья и наличие марикультурного хозяйства.

При формировании геохимического фона водного объекта существенная роль принадлежит донным осадкам. Известно, что донные отложения морских акваторий являются интегральным показателем загрязнения и отражают долговременные процессы.

Эколого-санитарно-гигиеническая оценка уровней содержания химических элементов в природных средах осуществляется посредством сопоставления их фактических концентраций с показателями ПДК и/или ОДК. Для донных отложений утвержденные нормативы отсутствуют. В России разработаны классы загрязняющих веществ по степени их опасности (ГОСТ 17.41.02-83): 1-й класс — высокоопасные (Hg, Cd, Pb, Zn, As, Se, F); 2-й — умеренно опасные (Cu, Co, Ni, Mo, Cr, B, Sb); 3-й — малоопасные (V, W, Mn, Sr, Ba). Среди тяжелых металлов с точки зрения загрязнения Японского моря принято выделять трассеры техногенного влияния — Pb, Cd, Ni, антропогенного влияния — Cu, Zn и терригенного стока — Fe, Mn (Современное экологическое состояние..., 2012).

Оценка изменения уровней содержания элементов в донных отложениях в течение времени производилась с учетом фоновых концентраций, характерных для зал. Петра Великого и обусловленных его геохимическими особенностями.

В табл. 1 представлены уровни концентраций элементов в пробах донных отложений, собранных с 2015 по 2017 г., а также средние концентрации элементов в донных отложениях зал. Петра Великого. Наибольшие концентрации всех элементов в исследуемый период отмечены на 2-м участке марикультурного хозяйства. В результате сравнения средних концентраций элементов в донных отложениях бухты Северной с фоновыми концентрациями для зал. Петра Великого отмечено превышение следующих элементов: 2015 г. — Fe, Zn и Cu (2-й участок), Mn и Co (2 и 3-й участки), Pb — на 1-м участке марикультурного хозяйства с садками приморского гребешка первого года жизни, Cd — на всех участках; 2016 г. — Mn, Zn, As и Cd (1, 2, 3-й участки), Cu и Ni (2-й участок); 2017 г. — Fe, Mn, Zn, Pb (1 и 2-й участки), As и Cd (1, 2, 3-й участки), Ni (2-й участок). Средние концентрации Hg не превышали фоновых для зал. Петра Великого.

Во многих странах (США, Канада, Австралия, Новая Зеландия, Норвегия, Нидерланды и др.) разработаны различные критерии качества донных отложений*. Для расчета индексов загрязнения донных отложений и экологического риска используют критерии, принятые Агентством по охране окружающей среды США (US EPA).

Наиболее часто применяют следующие показатели: ERL (effect range low) — представляет собой пороговое значение, выше которого ожидается неблагоприятное воздействие на водные организмы; ERM (effect range median) — представляет собой пороговое значение, выше которого часто или всегда наблюдается неблагоприятное воздействие на большинство водных организмов (Klarow and Lewis, 1979). Для расчета индексов экологического риска также используют другие критерии: пороговый уровень воздействия (threshold effect level — TEL), концентрации элементов в его пределах не являются опасными для водных организмов, и уровень вероятного воздействия (probable effect level — PEL), при превышении которого следуют неблагоприятные биологические последствия (Sokal and Rohlf, 1981).

Методы, описанные Long и Morgan (1991) и MacDonald (1993), используются как ориентировочные значения (ERL/TEL), представляющие собой концентрацию, ниже которой токсические эффекты редко или никогда не наблюдаются, значения ERM/PEL — концентрация, выше которой токсические эффекты обычно или часто наблюдаются.

В 2015 г. на 1-м и 2-м участках марикультурного хозяйства максимальные концентрации Zn, As и Cd превосходили пороговый уровень токсикологического воздействия. В 2016–2017 гг. пороговый уровень воздействия превышали концентрации Cu и Ni на 2-м участке хозяйства, а также в 2017 г. — Cd на 1 и 2-м участках (табл. 2). Исходя из максимальных концентраций элементов и значений ERM/PEL (табл. 2) видно, что содержание As в донных отложениях, собранных в 2016–2017 гг., в районе 2-го участка марикультурного хозяйства превышали уровень вероятного токсического эффекта. В 2017 г. концентрации As на всех участках превышали уровень вероятного воздействия PEL, что свидетельствует о высокой степени воздействия донных отложений на гидробионтов, а также о неблагоприятных биологических последствиях.

Для оценки уровня загрязнения донных отложений бухты Северной был рассчитан индекс загрязнения C_f , предложенный Хакансоном (Hakanson, 1980). Значения C_f были рассчитаны для каждого из токсических веществ по формуле

$$C_f = C_{mean}/C_n,$$

где C_{mean} — средняя концентрация вещества; C_n — фоновая концентрация этого вещества.

* Use of sediment quality and related tools for the assessment of contaminated sediments. Florida: SETAC Press, 2005. 815 p.

Диапазон концентраций элементов в донных отложениях бухты Северной в 2015–2017 гг., мкг/г сухой массы

Ranges of the elements content in bottom sediments in the Severnaya Bay in 2015–2017, mg/kg DW

Химический элемент	2015 г.			2016 г.			2017 г.			Фоновая концентрация*
	1-й участок (n = 4)	2-й участок (n = 4)	3-й участок (n = 2)	1-й участок (n = 4)	2-й участок (n = 4)	3-й участок (n = 2)	1-й участок (n = 4)	2-й участок (n = 4)	3-й участок (n = 2)	
Fe	6338–11471 7905	10406–11638 11406	8521–9039 8780	3729–7498 6228	7464–7559 7521	4839–7257 6209	13416–13561 13457	13883–14182 13998	10140–10342 10476	10467
Mn	6.6–132.7 51.2	63.2–159.2 123.7	41.9–111.7 76.8	60.6–218.2 129.7	185.4–208.6 201.4	77.0–145.9 110.7	160.0–173.9 168.0	163.5–193.8 177.2	47.5–57.9 52.6	72,5
Zn	26.7–116.6 55,4	111.6–133.7 122,0	54.3–62.3 58,3	23.1–75.9 50,9	77.5–113.1 93,1	40.3–75.5 57,6	63.2–77.9 69,3	73.3–90.6 81,5	36.2–44.4 38,5	45,6
Cu	2.8–17.5 7,4	16.3–18.3 17,6	2.9–6.0 4,5	1.6–16.6 9,0	16.5–21.1 18,5	6.0–14.6 10,3	13.6–14.9 14,3	11.4–20.1 16,5	4.7–6.0 5,8	11,3
Co	1.2–3.1 2,0	3.3–7.1 5,8	3.5–3.9 3,7	Нд	Нд	Нд	Нд	Нд	Нд	3,5
As	31.7–36.7 34,9	12.6–30.3 20,9	4.4–7.6 6,0	40.9–57.0 48,9	48.3–103.2 75,8	40.0–55.0 47,5	41.9–57.3 46,6	49.3–88.1 68,7	42.1–55.9 49,5	32,4
Pb	5.3–15.8 10,6	1.6–13.9 6,8	3.5–6.2 4,9	2.4–5.2 3,9	0.4–4.6 3,0	2.5–4.7 3,9	10.9–15.0 13,1	15.1–16.9 15,9	4.7–6.8 5,9	8,5
Cd	0.02–0.67 0,20	0.06–1.20 0,40	0.06–0.84 0,50	0.06–0.25 0,20	0.05–0.25 0,10	0.05–0.08 0,07	0.14–0.99 0,36	0.14–0.98 0,48	0.05–0.11 0,08	0,06
Ni	0.5–7.7 3,1	10.5–12.5 11,7	0.8–3.5 2,2	3.2–13.3 7,8	13.4–16.5 14,7	5.7–11.7 8,4	5.2–14.3 9,6	10.4–16.9 27,3	6.7–16.7 11,7	12,8
Hg	0.014–0.050 0,032	0.018–0.059 0,039	0.010–0.050 0,030	0.007–0.057 0,030	0.018–0.054 0,033	0.009–0.049 0,020	0.010–0.058 0,030	0.015–0.056 0,030	0.009–0.052 0,031	0,040

* Средние концентрации в донных отложениях зал. Петра Великого (Ковкевдова, Кикю, 2013).

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения концентраций, превышающие фоновый уровень; Нд — нет данных.

Максимальные концентрации элементов в донных отложениях бухты Северной в 2015–2017 гг., мкг/г сухой массы

Maximal contents of the elements in bottom sediments in the Severnaya Bay in 2015–2017, mg/kg DW

Химический элемент	2015 г.			2016 г.			2017 г.			ERL	ERM	TEL	PEL
	1-й участок	2-й участок	3-й участок	1-й участок	2-й участок	3-й участок	1-й участок	2-й участок	3-й участок				
	Zn	116,6	133,7	62,3	75,9	113,1	75,5	77,9	90,6				
Cu	17,5	18,3	6,0	16,6	21,1	14,6	14,9	20,1	6,0	34,0	270,0	18,7	108,2
As	6,7	30,3	7,6	40,9	103,2	55,0	57,3	88,1	55,9	8,2	70,0	7,2	41,6
Pb	15,8	13,9	6,2	5,2	4,6	4,7	15,0	16,9	6,8	43,7	218,0	30,2	112,2
Cd	0,67	1,20	0,84	0,25	0,25	0,08	0,99	0,98	0,11	1,20	9,60	0,68	4,20
Ni	7,7	12,5	3,5	13,3	16,5	11,7	14,3	16,9	16,7	20,9	51,6	15,9	42,8
Hg	0,050	0,059	0,050	0,057	0,054	0,049	0,058	0,056	0,052	0,2	0,7	0,13	0,7

Примечание. Значения ERL и ERM (по: Long et al., 1995); TEL и PEL (по: MacDonald et al., 1996).

Коэффициенты степени загрязнения донных отложений были рассчитаны по формуле

$$C_{dHM} (C_d) = \sum C_f$$

Расчет критерия экологического риска, предложенный Лонгом и МакДональдом (Long, MacDonald, 1998) и отражающий потенциальную токсичность донных отложений, произведен по формуле

$$SQG-Q = \sum PEL-Q/n,$$

где $\sum PEL-Q$ — отношение средней концентрации токсиканта в донных отложениях к величине PEL для этого же токсиканта; n — количество токсикантов.

Полученные значения C_f (табл. 3) анализировали в соответствии со следующими показателями: $C_f < 1$ — низкие, $1 \leq C_f < 3$ — средние, $3 \leq C_f < 6$ — высокие, $C_f \geq 6$ — очень высокие (Nakanson, 1980; Pekey et al., 2004). Исходя из полученных данных отмечено, что содержание Cd в 2015 (на 2 и 3-м участках) и в 2017 гг. (на 2-м участке) показывает очень высокую степень загрязнения. Донные отложения на 1-м участке марикультурного хозяйства с садками приморского гребешка в 2015 и 2017 гг. были подвержены высокому уровню загрязнения кадмием. Донные отложения на остальных участках в исследуемый период характеризуются средним и низким уровнем загрязнения.

По степени загрязнения полученные значения были ранжированы следующим образом: $C_{dHM} < 5$ — низкая, $5 \leq C_{dHM} < 10$ — средняя, $C_{dHM} > 10$ — высокая. Высокая степень загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком отмечена на 2 и 3-м участках в 2015 г., а также на 2-м участке в 2017 г. Донные отложения на остальных участках в исследуемый период характеризуются средним уровнем загрязнения.

Результаты расчета коэффициента $SQG-Q$ характеризовали в соответствии со следующими критериями: $SQG-Q \leq 0,1$ — нетоксичные осадки, наименьшая вероятность наблюдения негативных биологических эффектов; $0,1 < SQG-Q < 1$ — умеренно токсичные осадки, средняя вероятность наблюдения негативных биологических эффектов; $SQG-Q > 1$ — сильно токсичные осадки, высокая вероятность наблюдения негативных биологических эффектов. В результате расчета коэффициента экологического риска $SQG-Q$ донные отложения бухты Северной в период с 2015 по 2017 г. можно отнести к умеренно токсичным, способным оказывать негативное воздействие на гидробионтов.

Таблица 3

Значение индексов загрязнения донных отложений бухты Северной (C_p , $C_{днм}$)
и индекса экологического риска $SQG-Q$

Table 3

Indices of pollution (C_p , $C_{днм}$) and sediment quality guideline quotient ($SQG-Q$)
for bottom sediments in the Severnaya Bay

Участок	C_p							$C_{днм}$	$SQG-Q$
	Zn	Cu	As	Pb	Cd	Ni	Hg		
<i>2015 г.</i>									
1-й	1,2	0,7	0,2	1,2	3,3	0,2	0,8	7,6	0,06
2-й	2,7	1,6	0,6	0,8	6,7	0,9	0,9	14,2	0,20
3-й	1,3	0,4	0,2	0,6	8,3	0,2	0,8	11,8	0,09
<i>2016 г.</i>									
1-й	0,7	0,6	0,9	0,4	2,5	0,4	0,8	6,3	0,3
2-й	1,2	1,2	1,3	0,3	1,3	0,7	0,8	6,8	0,4
3-й	0,8	0,7	0,8	0,4	0,9	0,4	0,5	4,5	0,2
<i>2017 г.</i>									
1-й	0,9	0,9	0,8	1,5	4,5	0,4	0,8	9,8	0,3
2-й	1,1	1,1	1,2	1,8	6,0	1,3	0,8	13,3	0,4
3-й	0,5	0,4	0,9	0,7	1,0	0,5	0,8	4,8	0,3

На фоне сложившейся обстановки для оценки экологического состояния бухты Северной, связанной с загрязнением донных отложений, был проведен анализ содержания элементов в моллюсках, собранных из садков 1-го участка марикультурного хозяйства бухты Северной в 2016 г.

Моллюски, собранные в 2016 г. в бухте Северной, были разделены на 2 размерные группы: 1-я группа — 3–5 см, 2-я группа — 7–8 см. Средние концентрации элементов в разноразмерных группах приморского гребешка представлены в табл. 4.

Таблица 4

Средние концентрации элементов в целом мягком теле приморского гребешка
Patinopecten yessoensis 2-го года жизни в 2016 г., мкг/г сухой массы

Table 4

Mean contents of the elements in soft tissues of the scallop *Patinopecten yessoensis* (age 1+)
in 2016, mg/kg DW

Группа	Длина, см	Mn	Cu	Fe	Zn	Cd	Pb
1-я	3–5 (n = 12)	2,4 ± 0,8	0,9 ± 0,3	51,1 ± 10,1	38,4 ± 11,8	0,7 ± 0,3	0,003 ± 0,001
2-я	7–8 (n = 12)	1,4 ± 0,9	1,1 ± 0,5	20,5 ± 5,7	13,9 ± 3,8	0,10 ± 0,05	0,023 ± 0,009

Анализ содержания элементов в мягких тканях 2-летнего приморского гребешка в зависимости от длины раковины показал: концентрация Mn, Fe, Zn и Cd в тканях моллюсков в первой размерной группе выше, чем во второй исследуемой. Концентрации Cu и Pb возрастают с увеличением раковины моллюска (табл. 4).

Для гребешков первых двух лет жизни характерен самый интенсивный линейный рост раковины (Христофорова и др., 1993). Повышенные концентрации Mn, Fe в моллюсках первой группы связаны с накоплением этих элементов как необходимых биологически активных. Накопление Pb может происходить из-за неразвитого у молодых моллюсков механизма выведения токсичных элементов. Как уже отмечалось Н.К. Христофоровой с соавторами (1993), накопление Cd происходит с возрастом моллюсков. При небольшом содержании кадмия в среде происходит накопление его тканями организмов, которые являются специфическими концентраторами этого элемента.

В России безопасность пищевых продуктов гарантируется установлением и соблюдением регламентированного уровня содержания (отсутствие или ограничение ПДУ) загрязнителей химической и биологической природы, а также токсичных при-

родных веществ. Предельно допустимые уровни указаны в нормативном документе Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299*.

Допустимый уровень содержания свинца в моллюсках не должен превышать 10,0 мг/кг, кадмия — 2,0 мг/кг.

Превышение предельно допустимых уровней содержания кадмия отмечено в жабрах самцов 2-го года жизни, собранных в 2016 г. (табл. 5). Как уже упоминалось выше, приморский гребешок является концентратором кадмия, а жабры в свою очередь осуществляют непрерывный контакт со средой, фильтруя все взвешенные и растворенные компоненты. В отличие от других элементов, кадмий выводится из организма очень медленно.

Таблица 5

Концентрации элементов в органах приморского гребешка *Patinopecten yessoensis* 2-го года жизни, мкг/г сырой массы

Table 5

Contents of the elements in organs of the scallop *Patinopecten yessoensis* (age 1+), mg/kg WW

Орган	Cu		Fe		Zn		Mn		Cd		Pb	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Мускул	0,1	0,04	4,9	7,9	16,5	21,6	1,8	1,2	0,2	0,1	0,016	0,006
Печень	2,6	6,30	93,3	96,1	37,6	48,8	3,0	4,4	0,3	0,2	0,021	0,004
Гонада	22,8	0,04	54,3	24,9	53,5	21,6	1,3	2,7	1,0	0,1	0,003	0,004
Жабры	–	–	19,4	22,6	145,2	128,6	2,9	2,1	0,9	4,3	0,009	0,003
Мантия	0,3	0,50	39,3	13,2	54,3	58,2	1,9	1,9	0,2	0,3	0,005	0,011

Выводы

Проведено определение и сравнение концентраций тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях под плантациями марикультурного хозяйства бухты Северной в период 2015–2017 гг.

Оценка уровней загрязнения донных отложений бухты Северной, основанная на расчете индексов C_f и $C_{днмр}$ показала, что содержание As в донных отложениях, собранных в 2016–2017 гг., в районе 2-го участка марикультурного хозяйства превышает уровень вероятного токсического эффекта. В 2017 г. концентрации As на всех участках превышали уровень вероятного воздействия PEL, что свидетельствует о высокой степени воздействия донных отложений на гидробионтов, а также о неблагоприятных биологических последствиях. Содержание Cd в донных отложениях в 2015 г. (на 2 и 3-м участках) и в 2017 г. (на 2-м участке) показывает очень высокую степень загрязнения. Донные отложения на 1-м участке марикультурного хозяйства с садками приморского гребешка в 2015 и 2017 гг. были подвержены высокому уровню загрязнения кадмием. Расчет коэффициента экологического риска $SQG-Q$ донных отложений бухты Северной в период с 2015 по 2017 г. позволил отнести их к умеренно токсичным, способным оказывать негативное воздействие на гидробионтов.

Увеличение концентраций Cd в донных отложениях марикультурного хозяйства может быть следствием влияния жизнедеятельности гребешков, являющихся концентратором этого элемента.

Проведенный анализ содержания элементов в моллюсках, собранных из садков 1-го участка марикультурного хозяйства бухты Северной в 2016 г., показал, что содержание кадмия в жабрах самцов 2-го года жизни превышает предельно допустимые уровни, указанные в нормативном документе Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299*.

Результаты проведенного исследования позволяют с большой долей уверенности говорить о том, что загрязнение донных отложений бухты Северной негативно влияет на культивируемых моллюсков.

* Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому контролю (С изменениями на 15 января 2013 г.). Решение Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299.

Список литературы

- Вашенко М.А., Жадан П.М., Альмяшова Т.Н. и др.** Оценка уровня загрязнения донных осадков Амурского залива (Японское море) и их потенциальной токсичности // Биол. моря. — 2010. — Т. 36, № 5. — С. 354–361.
- Ковековдова Л.Т., Кикун Д.П.** Металлы в донных отложениях залива Петра Великого // Проблемы региональной экологии. — 2013. — № 2. — С. 98–104.
- Лукьянова О.Н.** Молекулярные биомаркеры состояния морских беспозвоночных в условиях антропогенного загрязнения : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 1997. — 42 с.
- Пахомова Н.Ю., Дорошенко М.А.** Проведение контрольных мероприятий по охране водных биоресурсов и среды их обитания // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2012. — Т. 25. — С. 11–15.
- Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н.** Морская динамическая радиохемозология : моногр. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 176 с.
- Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря :** моногр. / отв. ред. Н.К. Христофорова. — Владивосток : ДВФУ, 2012. — 440 с.
- Христофорова Н.К., Шулькин В.М., Кавун В.Я., Чернова Е.Н.** Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 1993. — 296 с.
- Black K.D., Kiemer M.C.B., Ezzi I.A.** The relationships between hydrodynamics, the concentration of hydrogen sulphide produced by polluted sediments and fish health at several marine cage farms in Scotland and Ireland // J. Appl. Ichthyol. — 1996. — Vol. 12, Iss. 1. — P. 15–20.
- Hakanson L.** An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // Water Res. — 1980. — Vol. 14, Iss. 8. — P. 975–1001.
- Iwama G.K.** Interactions between aquaculture and the environment // Crit. Rev. Environ. Control. — 1991. — Vol. 21, Iss. 2. — P. 177–216.
- Klapow L.A. and Lewis R.H.** Analysis of toxicity data for California marine water quality standards // J. Water Pollut. Control Fed. — 1979. — Vol. 51, № 8. — P. 2054–2070.
- Long E.R. and Morgan L.G.** The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program : NOAA Techn. Mem. NOS OMA 52. — Seattle ; Wash., 1991. — 175 p.
- Long E.R., MacDonald D.D.** Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems // Hum. Ecol. Risk Assess. — 1998. — Vol. 4, Iss. 5. — P. 1019–1039.
- Long E.R., MacDonald D.D., Smith S.L., Calder F.D.** Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // Environ. Manag. — 1995. — Vol. 19, № 1. — P. 81–97.
- MacDonald D.D.** Development of an approach to the assessment of sediment quality in Florida coastal waters. Prepared for the Florida Department of Environmental Protection. MacDonald Environmental Sciences, Ltd., Ladysmith, BC. 1993. — Vol. 1. — 128 p.; — Vol. 2. — 117 p.
- MacDonald D.D., Carr R.S., Calder F.D. et al.** Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters // Ecotoxicology. — 1996. — Vol. 5, Iss. 4. — P. 253–278.
- Pekey H., Karakas D., Ayberk S. et al.** Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey // Mar. Pollut. Bull. — 2004. — Vol. 49, Iss. 9–10. — P. 946–953.
- Sokal R.R. and Rohlf F.J.** Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 2d ed. — San Francisco : W.H. Freeman, 1981. — 859 p.

Поступила в редакцию 24.11.17 г.

Принята в печать 26.02.18 г.