

УДК 577.47:170.49

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОЛГОЖИВУЩИХ МИТИЛИДАХ УССУРИЙСКОГО ЗАЛИВА ЯПОНСКОГО МОРЯ

© 2022 г. Н. К. Христофорова<sup>1, 2</sup>, А. В. Гнетецкий<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), Владивосток 690091, Россия

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии (ТИГ) ДВО РАН, Владивосток 690041, Россия

<sup>3</sup>Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток 690041, Россия

\*e-mail: jamper22@mail.ru

Поступила в редакцию 14.12.2020 г.

После доработки 20.04.2021 г.

Принята к публикации 22.04.2021 г.

В массовых видах долгоживущих митилид Уссурийского залива *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) и *Modiolus kurilensis* F.R. Bernard, 1983 определено содержание тяжелых металлов (ТМ) Fe и Mn, характеризующих влияние терригенного стока, Cu и Zn, являющихся индикаторами хозяйственно-бытового загрязнения, а также Cd и Ni – показателей техногенного воздействия. Мидию Грея собирали на восьми станциях, модиолуса курильского – на одной (мыс Басаргина), поэтому содержание ТМ в среде и организмах было оценено по результатам анализа мидии Грея. Установлено, что современное распределение содержания ТМ в моллюсках из залива в целом не показало резких контрастов; повышенные концентрации Cu выявлены лишь у мидии Грея с мыса Теляковского, а Cd и Ni – у моллюсков, собранных у строящегося пирса порта “Вера”. По сравнению с показателями 2006 г. в настоящее время произошло повышение верхних значений диапазонов концентраций Zn в 1.5 раза, Cu – более чем в 2 раза и Cd – почти в 1.5 раза. В моллюсках из б. Лазурная (популярное место отдыха горожан) содержание Zn и Cu – трассеров антропогенного воздействия, увеличилось на 10 и 20% соответственно. Поскольку исследованные моллюски являются промысловыми, содержание ТМ в них сравнивали с предельно-допустимым уровнем (ПДУ). Превышение ПДУ Cd выявлено у мидии Грея – в двух особях, собранных у строящегося пирса порта “Вера”, и в одной особи с мыса Седловидный.

**Ключевые слова:** *Crenomytilus grayanus*, *Modiolus kurilensis*, Уссурийский залив, Японское море, тяжелые металлы

DOI: 10.31857/S0134347522010065

В третьей четверти XX века началась работа по предложенной американскими учеными (Goldberg, 1975; Phillips, 1977) международной программе “Mussel Watch”, целями которой являлись на контроль и мониторинг загрязнения прибрежных вод тяжелыми металлами. В качестве аккумулярующих организмов-индикаторов в этой программе использовались двустворчатые моллюски – мидии и устрицы. Мидиевый контроль получил распространение и в морских регионах России. На Дальнем Востоке внимание биологов и экологов привлек вид-монитор *Mytilus trossulus* (Христофорова, Кавун, 1987; Кавун и др., 1989; Кавун, 1991, и др.). Этот моллюск, как правило, прикрепляется к камням и скалам, удерживаясь в расщелинах, западинах и трещинах-разломах, однако в зал. Петра Великого подходящие для него грунты встречаются нечасто. Лимитирующим распространение *M. trossulus* фактором является и недостаток подходящего субстрата для оседания личи-

нок. Так, данный вид отсутствует в северо-западной части зал. Посыета, редко встречается в Амурском и Уссурийском заливах. Поэтому на Дальнем Востоке России в качестве организмов-индикаторов стали использовать и другие виды митилид. Это широко распространенные мидия Грея *Crenomytilus grayanus* и модиолус курильский *Modiolus kurilensis* – массовые виды долгоживущих митилид, обитающие в разнообразных биотопах сублиторали Японского моря (Кавун, 1991; Христофорова и др., 1994; Shulkin, Kavun, 1995, и др.). Мидии Грея посвящена отдельная монография “Биология мидии Грея” (1983), объединившая исследования ряда авторов, среди которых О.А. Скарлато, Я.И. Старобогатов, И.А. Садыхова, Н.И. Селин, В.А. Свешников, А.А. Кутишев и др., изучавшие разные стороны жизни этого крупного промыслового моллюска. В связи с загрязнением морских вод тяжелыми металлами в начале 2000-х годов опубликованы материалы

дальневосточных исследователей, посвященные мидиям и модиолусам, обитающим в зал. Петра Великого (Шулькин и др., 2002; Кавун, Шулькин, 2005; Кику, 2008; Ковековдова, 2011).

К настоящему времени в зал. Петра Великого, как и в других акваториях Японского моря, произошли существенные изменения, связанные со строительством новых портов, с развитием портовой деятельности, возрастанием рекреационного пресса и освоением берегов для различных хозяйственных целей (ремонт судов, вылов рыбы и морских беспозвоночных, переработка морепродуктов и др.). Заметные перемены в прибрежных водах г. Владивостока обусловлены также строительством мостов. Уссурийский залив – крупнейший залив второго порядка, входящий в состав зал. Петра Великого, образовался в раннем голоцене в затопленной ингрессионными водами долине р. Артемовка (Петренко, Мануйлов, 1988); за исключением вершины, имеет высокие крутые обрывистые и приглубые берега. Его западное побережье слабо изрезано, отличается небольшими открытыми бухтами. Для восточного побережья залива характерны большая изрезанность и глубоко вдающиеся закрытые и полузакрытые бухты.

За прошедшие два десятилетия XXI века произошел ряд перемен, оказавших положительное влияние на качество среды в Уссурийском заливе. В 2012 г. в глиняный саркофаг был забран полигон твердых бытовых отходов (ТБО) г. Владивостока, и его прямое воздействие на окружающую экосистему резко снизилось. В 2010–2017 гг. произведен поэтапный перевод Владивостокской тепловой электростанции (ТЭЦ-2) на природный газ. С 2011 г. ведутся работы по рекультивации золоотвалов ТЭЦ-2, стоки от которых поступали в бухты Промежуточная и Горностай. В то же время происходит развитие портовой инфраструктуры на выходе из залива южнее пос. Подъяпольский, в 2019 г. введен в эксплуатацию угольный морской терминал “Порт Вера”. В б. Суходол начато строительство угольного порта, который планируется ввести в эксплуатацию в 2021 г. В г. Большой Камень рядом с заводом “Звезда” строится крупнейшая в России верфь. Несмотря на почти полное отсутствие пляжей из-за крутых иногда почти вертикальных склонов побережья, все доступные участки западного берега залива заняты рекреантами, как “дикими”, так и организованными в пансионаты и базы отдыха; на переходе к вершине залива построена так называемая игровая зона (Христофорова и др., 2020).

Цель настоящей работы – в связи с изменениями, вызванными антропогенным воздействием, оценить современный уровень загрязнения Уссурийского залива тяжелыми металлами, используя в качестве индикаторов состояния окружающей

среды долгоживущих митилид *C. grayanus* и *M. kurilensis*.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

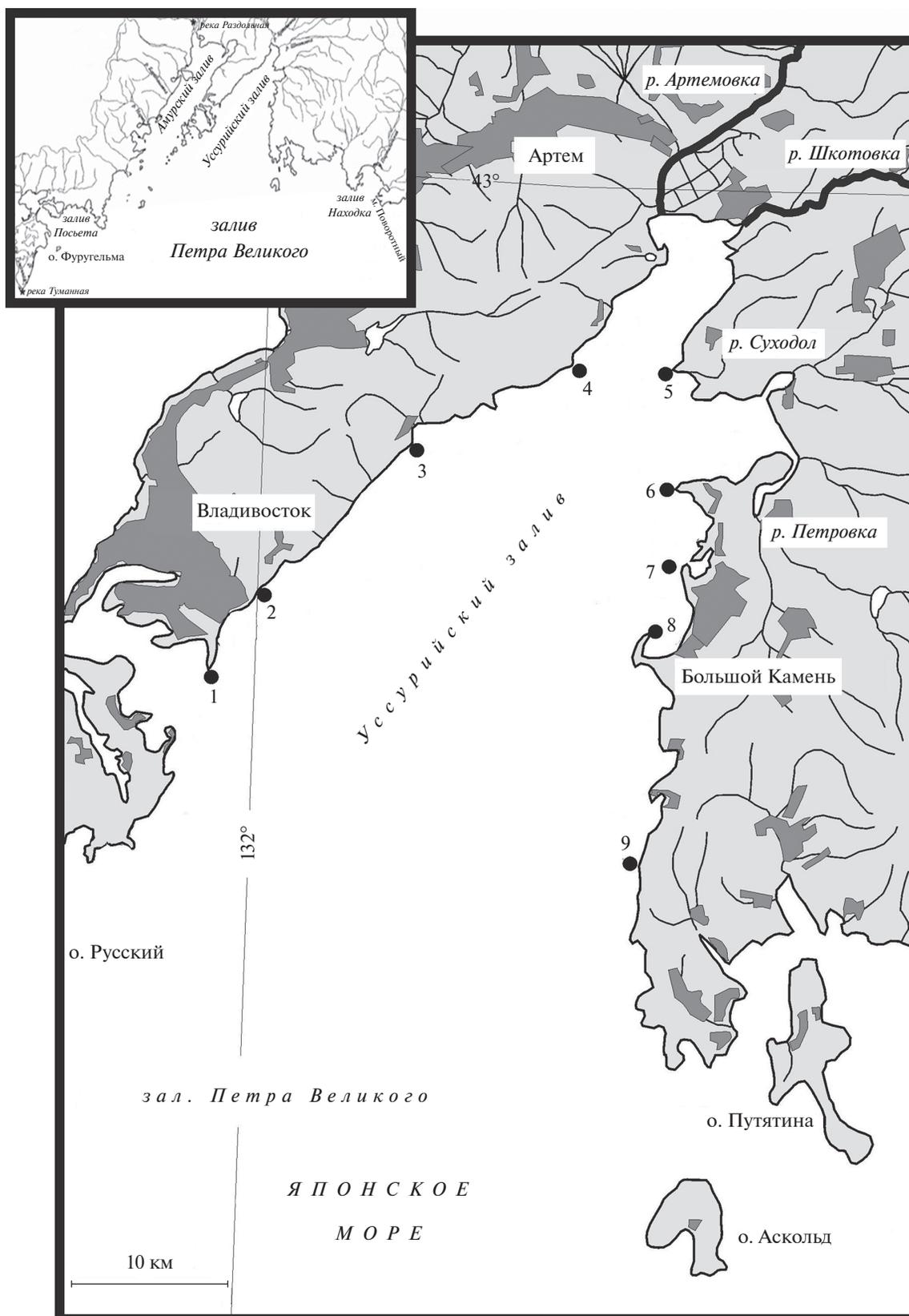
Мидия Грея – один из распространенных на Дальнем Востоке России крупных морских промысловых моллюсков из семейства Mytilidae. Относящийся к этому же семейству модиолус курильский также довольно крупный моллюск, однако он встречается реже. Данные виды занимают разные биотопы (Скарлато, 1981; Селин, 2018, и др.). Мидия Грея обитает на твердых грунтах, модиолус курильский приурочен к более мягким грунтам, хотя встречается и на твердых. Оба вида образуют друзы, но встречаются и поодиночке.

Крупных половозрелых моллюсков (длина раковины 98–149 мм) собирали в июле 2018 г. легководолазным способом на глубине 3–5 м у западного и восточного побережий Уссурийского залива на девяти станциях: *Modiolus kurilensis* – на станции 1, *Crenomytilus grayanus* – на станциях 2–9 (рис. 1). Доставленных в лабораторию Дальневосточного федерального университета моллюсков после 48-часовой дефекации препарировали, целиком отделяя мягкие ткани от створок и биссуса, и замораживали для хранения. Перед химическим анализом мягкие ткани животных высушивали при температуре 85°C в течение 2–3 сут до постоянной массы и механически гомогенизировали. Каждую особь анализировали отдельно. Минерализация тканей выполнена в системе микроволнового разложения MARS 6 согласно ГОСТ 26929-94 (2010). Для характеристики каждой станции определяли среднюю концентрацию элементов для пяти особей.

Концентрации Fe, Cu, Mn, Zn, Cd и Ni определяли методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (AAS) на приборе Shimadzu AA-6800 в пламенном варианте в Центре коллективного пользования “Центр ландшафтной экодиагностики и ГИС-технологий” ТИГ ДВО РАН. Для оценки корректности определения использовали стандартные (референтные) образцы моллюсков с аттестованным содержанием определяемых элементов. Ошибка определения составляла от 10 до 20%. Статистическая обработка данных выполнена с помощью программ Microsoft Excel и Statistica 6.1. Вычисляли средние значения со стандартными отклонениями, проводили проверку нормальности распределения, для оценки различий между выборками использовали критерий Манна–Уитни и коэффициент Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно полученным данным, наиболее высокие концентрации Fe (рис. 2а) были характерны для мидии Грея, собранной в б. Вилкова и у



**Рис. 1.** Карта-схема расположения станций отбора проб в Уссурийском заливе: 1 – мыс Басаргина; 2 – б. Промежуточная; 3 – б. Лазурная; 4 – б. Вилкова, мыс Вилкова; 5 – мыс Теляковского; 6 – мыс Красный; 7 – мыс Палец; 8 – мыс Седловидный; 9 – строящийся пирс порта “Вера”.

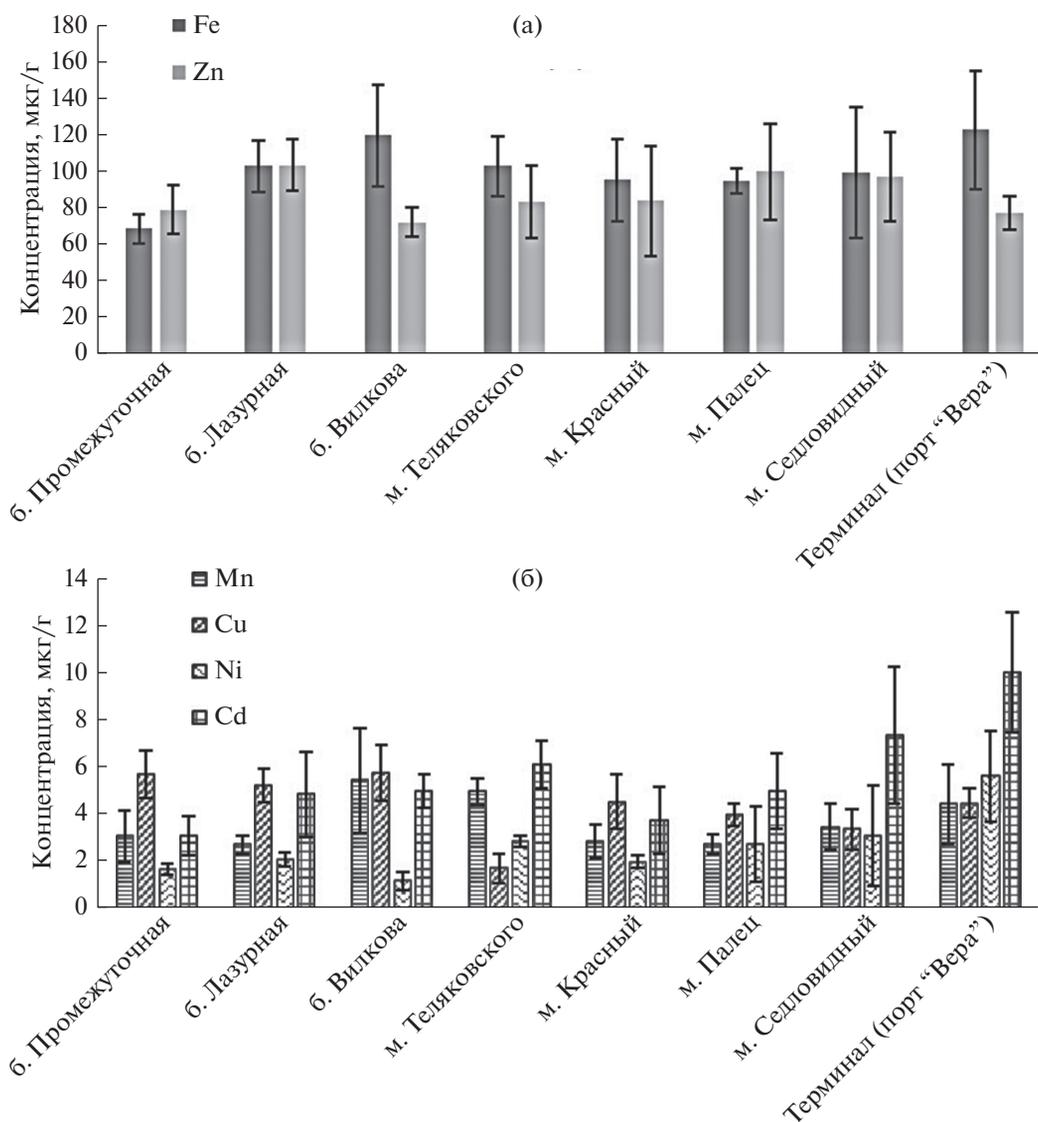


Рис. 2. Средние концентрации тяжелых металлов в мягких тканях *Crenomytilus grayanus*, мкг/г сухой массы (а – Fe, Zn; б – Mn, Cu, Ni, Cd). Примечание: истинная величина концентрации Cu на станции мыс Теляковского –  $n \times 10$ .

строющегося пирса порта “Вера” (достоверно они не различались). Очевидно, это связано с обилием взвеси как в вершинной части залива, так и у строящегося пирса, где сняты растительность и верхний слой почвы. Содержание железа в тканях моллюсков из б. Промежуточная было значительно ниже, чем в тканях животных с других станций. Моллюски, собранные в б. Лазурная, а также у мысов Палец и Седловидный (рис. 2а), характеризовались повышенным уровнем содержания Zn, однако достоверных различий концентрации Zn у мидий с разных станций не выявлено.

Среднее содержание Mn в тканях мидии Грея с разных станций также достоверно не различалось (рис. 2б). Концентрация Cu была наибольшей у моллюсков, собранных у мыса Теляковского в ку-

товой части Уссурийского залива (рис. 2б). В вершине залива в него впадают реки Артемовка, Шкотовка, Суходол и Петровка, которые, как отмечено ранее (Кику, 2008), имеют опасный уровень загрязнения – от 10 до 20 ПДК по восьми элементам: Pb, Cd, Zn, Ag, Co, Ni, Mn и Cu. Очевидно, высокое содержание Cu в мидиях, собранных у мыса Теляковского, можно объяснить влиянием загрязненного речного стока.

Концентрации Ni и Cd в тканях моллюсков, собранных у строящегося пирса порта “Вера”, были достоверно выше, чем в тканях моллюсков с других станций (рис. 2б). Строительство пирса сопровождалось курсированием грузовых и обслуживающих судов, что могло сказаться на содержании элементов, поступающих в окружающую сре-

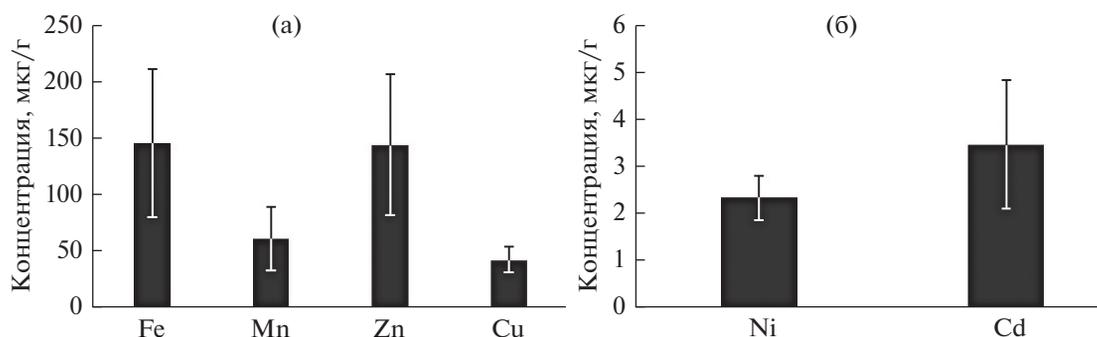


Рис. 3. Средние концентрации тяжелых металлов (мкг/г сухой массы) в мягких тканях *Modiolus kurilensis* у мыса Басаргина (а – Fe, Mn, Zn, Cu; б – Ni, Cd).

ду при сжигании углеводородного топлива. Кроме того, при строительстве пирса происходил обильный смыв терригенной взвеси в море. Наконец, содержание Ni зависит и от поступления железа в среду, поскольку Ni соосаждается с гидроокисью железа.

Таким образом, хотя средние концентрации элементов в моллюсках из Уссурийского залива с разных станций различались, анализ пространственного распределения металлов в тканях мидии Грея в целом не выявил резких контрастов, обусловленных различием содержания микроэлементов в среде. Это позволило определить усредненную концентрацию (или диапазон концентраций) каждого элемента в тканях мидии Грея для данной акватории, которую затем сравнили с содержанием металлов в тканях модиолуса *M. kurilensis* со станции у мыса Басаргина. Моллюсков собирали не у скалистой лобовой части мыса, характеризующейся мощной гидродинамикой, а в относительно тихой тыловой части, с более мягким грунтом. Установлено, что среднее содержание Fe в тканях модиолуса было выше, чем в тканях *S. grayanus*, а различия в концентрации Mn превышали порядок величин, что подтвердило известную специфику модиолусов как “марганцевых” моллюсков (Христофорова и др., 1994). Существенно различалось в исследованных митилидах и содержание Zn. Если наиболее высокое среднее содержание этого металла в тканях особей *S. grayanus*, собранных в б. Лазурная, а также у мысов Палец и Седловидный, составляло 100 мкг/г (верхнее значение разброса до 126 мкг/г), то у модиолуса аналогичные показатели достигали 144 и 205 мкг/г. Самая высокая концентрация меди в мидиях, собранных у мыса Теляковского ( $16.8 \pm 6.4$ ), также была заметно ниже содержания этого элемента в тканях модиолуса с мыса Басаргина ( $42.4 \pm 11.8$  мкг/г) (рис. 3). Однако концентрации таких техногенных элементов, как Ni и Cd, в мягких тканях мидии Грея, собранной у строящегося пирса порта “Вера”, достигали наибольших величин ( $5.6 \pm 1.9$  и  $10.0 \pm 2.6$  мкг/г), в

модиолусах содержание этих элементов было существенно ниже –  $2.3 \pm 0.5$  и  $3.5 \pm 1.4$  мкг/г соответственно (рис. 3).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение современных данных и сведений, полученных ранее (табл. 1–3), позволило оценить, как отразилось развитие событий в Уссурийском заливе на микроэлементном составе индикаторных видов моллюсков. Так, по сравнению с 2006 г. в тканях *Crenomytilus grayanus* в 2018 г. отмечено повышение верхних значений диапазонов концентраций для Zn, Cu, Cd и снижение верхних показателей диапазонов концентрации Fe (табл. 1). В тканях *Modiolus kurilensis* также наблюдалось повышение верхних значений диапазонов концентраций для Zn и Cu, в то время как верхние значения концентраций для Fe, Mn и Cd снижались. Повышение верхних значений диапазонов концентраций Zn и Cu может говорить об увеличении антропогенного загрязнения, а повышение концентрации Cd – об увеличении загрязнения Уссурийского залива продуктами сжигания углеводородов.

Характер изменения концентраций тяжелых металлов в тканях *S. grayanus* в западной части залива можно проследить на примере б. Лазурная, которая подвергается сильному антропогенному загрязнению стоками от многочисленных баз отдыха (табл. 2). Можно видеть, что содержание в мидиях цинка с 1996 г. увеличилось в 1.5 раза, меди – в 1.3 раза. Содержание железа, марганца и кадмия не изменилось или незначительно снизилось.

В тканях моллюсков, собранных в восточной части Уссурийского залива в б. Суходол, в которую впадают реки Суходол и Петровка, средние концентрации Mn и Cd в 2018 г. практически не изменились по сравнению с таковыми в 2006 г., незначимо снизилось и содержание Zn. Снижение более чем в 2 раза содержания Fe может быть связано с различием мест сбора моллюсков:

**Таблица 1.** Сравнение диапазонов концентраций микроэлементов (мкг/г сухой массы) в мягких тканях двустворчатых моллюсков из Уссурийского залива в 2006 и 2018 гг.

Микроэлемент	<i>Crenomytilus grayanus</i>		<i>Modiolus kurilensis</i>	
	2006 г. (по: Кику, 2008)	2018 г. (наши данные)	2006 г. (по: Кику, 2008)	2018 г. (наши данные)
Fe	70– <b>315</b>	60–164	182– <b>430</b>	95–254
Mn	2.5–8.7	2.0–8.7	325– <b>1125</b>	46–110
Zn	62–95	52.2– <b>138.1</b>	65–140	101– <b>254</b>
Cu	3.7–10	2.6– <b>23.6</b>	8.7–27.5	24.4– <b>56.2</b>
Ni	–	0.59–7.53	–	1.79–3.04
Cd	2.5–9.2	1.8– <b>13.5</b>	5.2– <b>17.5</b>	2.3–5.7

Примечание. Здесь и табл. 2 жирным шрифтом выделены высокие значения.

**Таблица 2.** Динамика средних концентраций микроэлементов (мкг/г сухой массы) в мягких тканях мидии Грея *Crenomytilus grayanus* из б. Лазурная

Микроэлемент	1996 г. (по: Ткалин, 1998)	2006 г. (по: Кику, 2008)	2018 г. (наши данные)
Fe	–	150 ± 18	103 ± 14
Mn	–	8 ± 1.1	2.7 ± 0.4
Zn	65	90 ± 9.6	<b>103.4 ± 13.9</b>
Cu	4	–	<b>5.21 ± 0.72</b>
Ni	–	–	2.06 ± 0.27
Cd	–	6.8 ± 2	4.84 ± 1.81

в 2006 г. животных отбирали ближе к эстуарию р. Суходол, а в 2018 г. – у мыса Теляковского.

Таким образом, более чем за 10-летний период (2006–2018 гг.) в мидии Грея из Уссурийского залива незначительно увеличилось содержание показателей антропогенного и техногенного воздействия – микроэлементов Zn, Cu и Cd, но снизилось содержание элементов терригенного стока – Fe и Mn, за исключением моллюсков из района строительства порта “Вера”.

*Превышение ПДУ элементов в моллюсках.* Согласно Техническому регламенту таможенного союза (ТР ТС 021/2011), допустимый уровень содержания кадмия в моллюсках составляет

2.0 мкг/г сырой массы. В Уссурийском заливе обнаружено превышение ПДУ Cd в мягких тканях двух особей мидии Грея, собранных у строящегося пирса порта “Вера”, и в тканях одной особи, собранной у мыса Седловидный. Коэффициент пересчета сухой массы на сырую равен 5.

Проведенное исследование позволило получить представление о современных уровнях содержания и диапазонах концентраций тяжелых металлов в мягких тканях *C. grayanus* из Уссурийского залива. Различия между концентрациями разных металлов в тканях моллюсков весьма примечательны. Если наибольшие и наименьшие их значения для Zn и Fe различались лишь в 2.6 и 2.7

**Таблица 3.** Средние концентрации микроэлементов (мкг/г сухой массы) в мягких тканях мидии Грея *Crenomytilus grayanus* из б. Суходол в разные годы

Микроэлемент	2006 г. (по: Кику, 2008)	2018 г. (наши данные)
Fe	250 ± 39	103 ± 28
Mn	5 ± 1.5	4.9 ± 2.2
Zn	90 ± 9.8	82.9 ± 8.2
Cu	–	16.82 ± 1.19
Ni	–	2.81 ± 0.39
Cd	5.9 ± 0.52	6.08 ± 0.71

раза, а Mn – в 4.3 раза, то различие между уровнями содержания Cd, Cu и Ni постепенно нарастало – от 7.5 к 9.1 и до 12.5 раза, т.е. достигало порядка величин, что свидетельствует об усилении техногенного воздействия на отдельных станциях. Наибольшие концентрации Cu выявлены у мидий из б. Теляковского, а Cd и Ni – у моллюсков, собранных у строящегося пирса порта “Вера”.

Согласно результатам наших исследований, верхние значения диапазонов концентраций Zn, Cu и Cd в тканях *C. grayanus* из Уссурийского залива к 2018 г. по сравнению с 2006 г. увеличились соответственно в 1.5, 2.3 и 1.5 раза; отмечено небольшое увеличение средних концентраций Zn и Cu в мидиях из б. Лазурная, что позволяет говорить о постепенном нарастании антропогенного пресса на Уссурийский залив.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 14-50-00034).

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят соискателя кафедры экологии Школы естественных наук ДВФУ профессионального водолаза А.А. Емельянова за помощь в сборе материала, а также инженера-аналитика Г.А. Власову, определившую содержание микроэлементов в пробах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Биология мидии Грея. М.: Наука. 1983. 146 с.
- ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: Стандартинформ. 2010. 12 с.
- Кавун В.Я. Микроэлементный состав массовых видов митилид северо-западной части Тихого океана в связи с условиями существования: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 1991. 25 с.
- Кавун В.Я., Христофорова Н.К., Шулькин В.М. Микроэлементный состав тканей мидии съедобной из прибрежных вод Камчатки и северных Курил // Экология. 1989. № 3. С. 53–58.
- Кавун В.Я., Шулькин В.М. Изменение микроэлементного состава органов и тканей двусторчатого моллюска *Crenomytilus grayanus* при акклиматизации в биотопе, хронически загрязненном тяжелыми металлами // Биол. моря. 2005. Т. 31. № 2. С. 123–128.
- Кику Д.П. Микроэлементный состав двусторчатых моллюсков залива Петра Великого в связи с условиями существования: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 2008. 112 с.
- Ковековдова Л.Т. Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владивосток. 2011. 40 с.
- Петренко В.С., Мануйлов В.А. Физическая география залива Петра Великого. Владивосток: Дальневост. гос. ун-т. 1988. 147 с.
- Селин Н.И. Состав и структура смешанных поселений *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) и *Modiolus kurilensis* (Bernard, 1983) (Bivalvia: Mytilidae) в заливе Петра Великого Японского моря // Биол. моря. 2018. Т. 44. № 5. С. 307–316.
- Скарлато О.А. Двусторчатые моллюски умеренных вод северо-западной части Тихого океана. Л.: Наука. 1981. 480 с.
- Ткалин А.В. Оценка состояния морской среды в районе Владивостока по содержанию поллютантов в моллюсках и грунтах // Тр. ДВНИГМИ. Тематический выпуск: Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду. Владивосток: Дальнаука. 1998. С. 114–125.
- Христофорова Н.К., Кавун В.Я. Микроэлементный состав съедобной мидии, выращиваемой в заливе Восток Японского моря // Биол. моря. 1987. № 3. С. 9–13.
- Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д., Григоров Р.А. Уссурийский залив: загрязнение прибрежных вод тяжелыми металлами и его оценка с использованием бурых водорослей // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 3. С. 116–125.
- Христофорова Н.К., Шулькин В.М., Кавун В.Я., Чернова Е.Н. Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука. 1994. 296 с.
- Шулькин В.М., Кавун В.Я., Ткалин А.В., Пресли В.Дж. Влияние концентрации металлов в донных отложениях на накопление металлов митилидами *Crenomytilus grayanus* и *Modiolus kurilensis* // Биол. моря. 2002. Т. 28. № 1. С. 53–60.
- Goldberg E.D. The mussel watch – a first step in global marine monitoring // Mar. Pollut. Bull. 1975. V. 6. № 7. P. 111–114.
- Phillips D.G.N. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments – a review // Environ. Pollut. 1977. V. 13. P. 281–317.
- Shulkin V.M., Kavun V.Ya. The use of marine bivalves in heavy metal monitoring near Vladivostok, Russia // Mar. Pollut. Bull. 1995. V. 31. № 4–12. P. 330–333.

## The Content of Heavy Metals in Long-Living Mytilids from Ussuriisky Bay

N. K. Khristoforova<sup>a, b</sup> and A. V. Gnetetskiy<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok 690091, Russia

<sup>b</sup>Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok 690041, Russia

<sup>c</sup>A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok 690041, Russia

The content of heavy metals (HM) Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, and Ni was determined in common species of long-living mussels *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) and *Modiolus kurilensis* F.R. Bernard, 1983 from Ussuriisky Bay. Fe and Mn are indicators of the influence of terrigenous runoff; Cu and Zn, industrial and municipal waste pollution; and Cd and Ni, technogenic impacts. *C. grayanus* was sampled at eight stations, *M. kurilensis* was collected at one station (Cape Basargin); therefore, the HM content in organisms and the environment was mainly assessed from analysis of Gray's mussel samples. The current distribution of HM levels in mollusks of Ussuriisky Bay was generally more or less uniform. The concentration of Cu was only increased in Gray's mussel from Cape Telyakovsky; increased Cd and Ni levels were found in mollusks collected from the pier of the port of Vera. In comparison with 2006, the upper values of the concentration ranges increased 1.5 times for Zn, more than 2 times for Cu, and almost 1.5 times for Cd. In mollusks from Lazurnaya Bay (a popular recreation site), the concentrations of Zn and Cu, tracers of anthropogenic impacts, increased by 10 and 20%, respectively. Since the mollusks studied are commercially valuable, their HM content was compared with the maximum permissible concentration levels (MPCL). The content of Cd exceeded MPCL in two specimens of Gray's mussels from the pier of the port of Vera and in a single specimen from Cape Sedlovidny.

**Keywords:** *Crenomytilus grayanus*, *Modiolus kurilensis*, Ussuriisky Bay, Sea of Japan, heavy metals