

## Тяжёлые металлы в долгоживущих Mytilidae (Mollusca: Bivalvia) залива Восток, Японское море, Приморский край

Надежда Константиновна Христофорова<sup>1,2</sup>, Анастасия Андреевна Дюрдеева<sup>1</sup>,

Кристина Руслановна Масалёва<sup>1</sup>, ✉ Елена Николаевна Чернова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет,  
Владивосток, 690922, Российская Федерация

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,  
Владивосток, 690041, Российская Федерация

✉ Corresponding author, e-mail: [elena@tigdvo.ru](mailto:elena@tigdvo.ru)

Received April 15, 2024; accepted May 15, 2024

**Аннотация.** Рассмотрено содержание тяжёлых металлов в долгоживущих двустворчатых моллюсках семейства Mytilidae из залива Восток: *Modiolus kurilensis* и *Crenomytilus grayanus*, которые предпочитают разные типы грунтов – мягкие и твёрдые, соответственно. Показано, что по сравнению с фоновыми концентрациями металлов в моллюсках зал. Петра Великого, мидий и модиолусы зал. Восток содержат металлы в близких количествах. Отмечено повышение концентраций Cu и снижение концентраций Pb в обоих видах на ряде станций по сравнению с фоном, установленным по данным 1990 г. С позиции санитарных норм РФ превышения уровней содержания металлов в моллюсках не наблюдается. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости продолжения экологического мониторинга залива указанными методами для уточнения отмеченных тенденций.

**Ключевые слова:** долгоживущие митилиды, *Modiolus kurilensis*, *Crenomytilus grayanus*, тяжёлые металлы, залив Восток.

## Heavy metals in long-lived Mytilidae (Mollusca: Bivalvia) from Vostok Bay, Sea of Japan, Primorsky Krai

Nadezhda K. Khristoforova<sup>1,2</sup>, Anastasia A. Dyurdeeva<sup>1</sup>,

Kristina R. Masalyova<sup>1</sup>, ✉ Elena N. Chernova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, 690922, Russian Federation

<sup>2</sup>Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok  
690041, Russian Federation

✉ Corresponding author, e-mail: [elena@tigdvo.ru](mailto:elena@tigdvo.ru)

Received April 15, 2024; accepted May 15, 2024

**Abstract** Heavy metal content in long-lived bivalves of the family Mytilidae in the Vostok Bay, *Modiolus kurilensis* and *Crenomytilus grayanus* is considered. These species prefer different types of substrate, soft and hard, respectively. It is shown these mytilids contain metals in quantities close to the background concentrations of metals in the same species from the Peter the Great Bay. An increase in Cu concentrations and a decrease in Pb concentrations in both species is recorded at several stations compared to the background concentrations established according to 1990 data. From the standpoint of sanitary regulations of the Russian Federation, no excess levels of metal content are observed in these mytilids. The results obtained indicate the need to continue ecological monitoring of the bay using the indicated methods to obtain comparable data and observation of noted trends.

**Keywords:** long-lived Mytilidae, *Modiolus kurilensis*, *Crenomytilus grayanus*, heavy metals, Vostok Bay.

### Введение

В конце 1960-х – начале 1970-х гг. получила развитие идея использования двустворчатых моллюсков (прежде всего, мидий и устриц) в качестве индикаторов загрязнения морских вод тяжёлыми металлами, представляющего экологическую угрозу. Двустворчатые моллюски обладают рядом особенностей, повышающих

их потенциал как индикаторов, в связи с чем они используются в этом качестве с 1975 г. (Farrington et al. 1983). На отклике двустворок-митилид на появление в среде различных загрязняющих веществ основана получившая широкое применение в разных странах система биоконтроля «Mussel watch» (Goldberg 1986). Мидиевый контроль получил распространение и в морских регионах России (Христофорова 1989; Кавун и др. 1989; Чернова, Христофорова 2008 и др.). Однако род *Mytilus* Linnaeus, 1758 в заливе Петра Великого не имеет широкого распространения из-за отсутствия подходящего субстрата для оседания личинок, поэтому для экологического мониторинга стали использовать представителей других родов – крупных долгоживущих модиолусов и мидии Грея (Христофорова и др. 1994; Кику 2008; Ковековдова 2011; Христофорова, Гнетецкий 2022 и др.).

Залив Восток в плане экологических исследований привлекателен тем, что долгие годы оставался наиболее чистой акваторией (Христофорова и др. 2005). Это отличает его от находящихся под антропогенным прессом таких заливов второго порядка, как Амурский, Уссурийский и Находка, входящих в состав зал. Петра Великого. Чтобы сохранить в естественном состоянии природные комплексы Востока, его акватория была частично включена в Государственный морской заказник регионального значения «Залив Восток» (Тюрин 1996). Однако эта мера оказалась недостаточной, и экосистема залива Восток испытывает всё большее антропогенное воздействие, что требует постоянного контроля состояния среды и биоты.

Изучение биологии залива началось с появления в 1970 г. Морской биологической станции «Восток» (ныне биостанция Национального научного центра морской биологии – НИЦМБ ДВО РАН). В 1976 г. в книге «Биологические исследования залива Восток» ее редактор В. Л. Касьянов в предисловии писал: «...уже сейчас зал. Восток – наиболее изученный в биологическом отношении район Японского моря». В 1983 г. в издательстве «Наука» вышел коллективный труд «Биология мидии Грея». Кроме изучения биологии отдельных видов на биостанции велись биоценологические и экологические исследования, включавшие оценку качества вод залива, выяснение влияния условий среды на микроэлементный состав *Mytilus trossulus* A. Gould, 1850 (Христофорова, Кавун 1987), воздействие рекреационного пресса на экосистему залива (Христофорова и др. 2002).

Обилие песчаных пляжей, хорошо прогреваемые чистые воды, а также доступность района, обусловленная близостью автомобильной трассы, привлекают на берега залива все большее количество отдыхающих. Нарастающий поток туристов, усилившийся в связи с неблагоприятной политической ситуацией, также заставляет более внимательно следить за состоянием залива. Кроме рекреационной, охватывающей в основном северо-западную, северную и восточную части залива, имеются и другие зоны антропогенного и индустриального пресса. Негативные тенденции наиболее заметны на крайнем юго-западе в бухте Гайдамак, где в последнее время к существовавшему долгие годы комплексному воздействию, обусловленному расположением здесь крупного поселка, автостоянки и пункта судоремонта маломерного добывающего флота, прибавился рыбоконсервный цех, вносящий свою лепту в загрязнение залива. Кроме того, на востоке залива начались строительные работы по созданию марикультурного хозяйства, что в будущем после окончания стройки может стать положительным фактором.

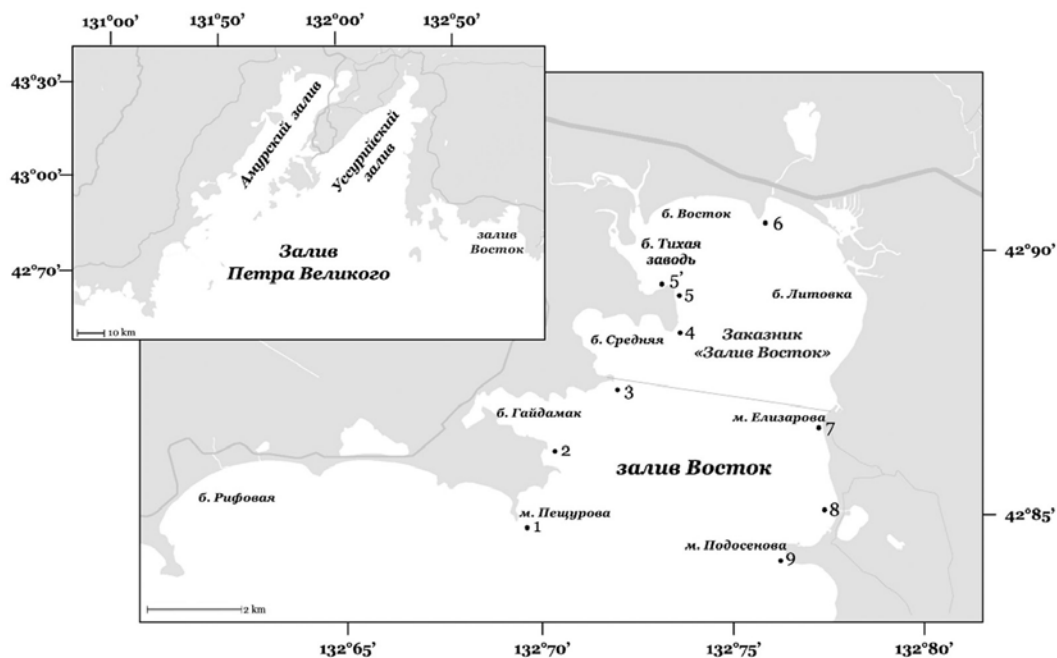
Цель работы: провести мониторинг современного состояния водной среды залива Восток путём изучения содержания тяжёлых металлов в долгоживущих митилидах.

### Район работ, материал и методы

Объектом исследования послужили два широко распространенных вида долгоживущих митилид: мидия Грея (*Crenomytilus grayanus* Dunker, 1853) и модиолус курильский (*Modiolus kurilensis* Bernard, 1983) – типичные обитатели зал. Петра Великого Японского моря (Волова, Скарлато 1979; Скарлато 1981; Селин 2018). Несмотря на таксономическую близость, они имеют экологические особенности: модиолусы предпочитают мягкие грунты, в то время как мидии Грея – валунно-каменистые. Приуроченность этих видов к разным биотопам соответствует целям охвата неоднородных по типу грунтов районов зал. Восток, где западную сторону слагают рифовые скальные грунты, а вершинную, северную и частично восточную части заполняют мягкие грунты.

Крупных половозрелых особей моллюсков (длина раковины 59–151 мм) собирали водолажным способом на глубинах 2–4 м в прибрежных водах залива Восток 2–4 октября 2020 г. на восьми станциях: *M. kurilensis* – на станциях 5', 6, 8, 9 *C. grayanus* – на станциях 1, 2, 3, 4, 5, 7 (рис.).

Нерест модиолусов в заливе Восток происходит в сентябре, пик приходится на середину сентября. Мидия Грея имеет два периода размножения: первый – с середины мая по июнь, второй при большем прогреве воды – с середины августа по сентябрь включительно (Касьянов и др. 1980). Таким образом, собранные нами моллюски находились на стадии завершения нереста, в сходном функциональном состоянии. Их гонады были наполнены половыми продуктами на треть и значи-



**Рис.** Карта–схема станций сбора моллюсков в заливе Восток: 1 – м. Пещурова; 2 – м. Чайковского; 3 – м. Пущина; 4 – м. Пашинникова; 5, 5' – биостанция; 6 – м. Красный; 7 – м. Елизарова; 8 – между мысами Елизарова и Подосёнова; 9 – м. Подосёнова.

**Fig.** Map–scheme of mussel collection stations in the Vostok Bay: 1 – Peshchurov cape; 2 – Tchaikovsky cape; 3 – Pushchin cape; 4 – Pashinnikov cape; 5, 5' – Vostok biological station; 6 – Krasny cape; 7 – Elizarov cape; 8 – between Elizarov cape and Podosyonov cape; 9 – Podosyonov cape.

тельно отличались по цвету: у самцов они были бело-жёлтыми, у самок – кремово-розовыми.

Особенностью среды на ст. 5', расположенной на мелководье у выхода из бухты Тихая Заводь вблизи водолазного эллинга биостанции «Восток» ННЦМБ ДВО РАН, являются мягкие грунты. Для ст. 5, напротив, характерны крупные глыбы вдоль восточного валунного берега биостанции. Биотопы модиолусов и мидий у биостанции резко различаются, несмотря на сравнительно близкое их расположение. Станции 5 и 5' разделены выступающим мысом и удалены друг от друга по берегу на 600 м, а по прямой – на 400 м.

После очистки раковин от обрастаний и 48-часовой дефекации в аэрируемой морской воде, моллюсков препарировали, отделяя мягкие ткани целиком от створок и биссусов, и замораживали для хранения. В лабораторных условиях мягкие ткани высушивали при температуре 85 °С в течение 2–3 суток до постоянной массы и механически гомогенизировали. Каждая особь анализировалась отдельно. После минерализации навесок, которая производилась азотной кислотой марки «ОСЧ» (особо чистая) в системе микроволнового разложения MARS6 согласно ГОСТ 26929-94, в них определяли концентрации Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cd и Pb методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (AAS) на приборе Shimadzu AA-6800 в пламенном варианте в Центре коллективного пользования ЦЛЭДГИС ТИГ ДВО РАН. Для оценки корректности определения использовали стандартные (референтные) образцы моллюсков с аттестованным содержанием контролируемых элементов. Ошибка определения составляла от 10 до 20%. Статистическая обработка данных выполнена с помощью программы Microsoft Excel. Все данные представлены в виде средней концентрации ( $\bar{x}$ )  $\pm$  стандартное отклонение (S), ( $\bar{x} \pm S$ ), результаты анализа отражены в таблице. Здесь же для сравнения приведена информация о микроэлементном составе митилид из фоновых районов зал. Петра Великого, а также Уссурийского залива и гигиенических нормативах (предельно допустимые уровни содержания микроэлементов в морепродуктах, принятые в РФ и ЕС).

Среди контролируемых микроэлементов Fe, Mn отражают влияние на среду и биоту речного стока, Zn, Cu – антропогенное, Ni, Cd и Pb – техногенное воздействие (Христофорова и др. 1994).

### **Результаты и обсуждение**

Как видно из таблицы, несмотря на принадлежность одному семейству, мидии и модиолусы значительно отличаются друг от друга по микроэлементному составу. С одной стороны, это результат обитания модиолусов в мягких грунтах – они накапливают значительно более высокие концентрации Fe, Mn, Zn, Cu. В зал. Восток в модиолусах и мидиях концентрации Ni, Cd, Pb сопоставимы, тогда как в фоновых районах, даже там, где оба вида обитают по соседству, концентрации этих металлов в модиолусах повышены.

По уровню содержания изучаемых элементов среди мест сбора модиолусов выделяется ст. 8, где отмечены относительно высокое содержание и повышенная вариабельность Fe, Mn, Zn, Cd в тканях моллюсков – соответственно,  $377 \pm 102$ ,  $147 \pm 75$ ,  $376 \pm 102$ ,  $7.8 \pm 5.8$  мкг/г. Причиной этого, вероятно, является наибольший возраст и размер моллюсков на этой станции (11–26 лет, 100–119 мм). Возраст и размер остальных модиолусов составляет 4–9 лет и 59–103 мм. Известно, что большинство металлов в долгоживущих моллюсках с возрастом увеличивают свою концентрацию в тканях, особенно кадмий, который плохо выводится из организма (Христофорова и др. 1994).

Концентрации меди, никеля и кадмия в модиолусах из остальных местообитаний зал. Восток различались от места к месту не более чем в два раза: Zn (224–325 мкг/г), Cu (39.5–42.1 мкг/г), Ni (3.8–5.2 мкг/г), Cd (2.2–4.0 мкг/г). Больше всего варьировали концентрации свинца, различаясь почти в три раза – от 0.4 до 1.1 мкг/г (таблица).

Сравнив полученные данные с содержанием металлов в моллюсках фоновых станций зал. Петра Великого (о. Антипенко и б. Миноносок) (Христофорова и др. 1994) получаем, что концентрации Mn, Zn, Ni и Cd у модиолусов зал. Восток ниже, Fe – выше, а Cu – сопоставимы или выше известного фонового диапазона. Повышение концентраций железа у прибрежных митилид обычно связывают с влиянием речного стока (Шулькин 2004). Поэтому в данном случае может сказываться воздействие рек Волчанка и Литовка, впадающих в зал. Восток.

Техногенный элемент Pb как в модиолусах, так и в мидиях является самым минорным. Снижение его уровня в моллюсках залива по сравнению с фоновыми концентрациями, возможно, связано с запретом использования тетраэтилсвинца в качестве добавки к сжигаемому на транспорте топливу как антидетонатора (Закон о запрете принят в РФ в 2003 году). Но также может иметь место ошибка определения фоновых уровней, т. к. в XX столетии из-за технических сложностей и отсутствия стандартов этот показатель искусственно завышался (Савенко 2006; Шулькин 2004).

Природные биотопы на станциях, в которых собрана мидия Грея (ст. 1, 2, 3, 4, 5, 7, см. рис.) близки по уровню терригенного (Fe) и антропогенного (Zn) воздействия на моллюсков. Концентрации как железа, так и цинка в мидиях на этих станциях варьировали в узком диапазоне: 81.2–102.0 и 77.5–104.8 мкг/г, соответственно. Свинец присутствовал в мидиях Грея в таком же малом количестве, как и в модиолусах (диапазон 0.1–1.3 мкг/г). Содержание металлов в мидиях зал. Восток сопоставимо с таковым из фоновых местообитаний. Исключение составляет свинец, которого стало существенно меньше. На станции 3 (у б. Гайдамак) содержание Zn, Ni и Cd в мидиях было несколько повышенным и изменчивым (различия средних недостоверны), возможно, вследствие техногенного воздействия со стороны судоремонтного пункта. Однако в целом, концентрации Fe, Zn, Cd и Ni в мидиях Грея зал. Восток соответствуют фоновому диапазону, содержание Mn ниже, тогда как Cu соответствует или немного превышает его (на станциях 1, 2, 4), как отмечено и у модиолусов.

Итак, содержание металлов в мидиях и модиолусах зал. Восток сопоставимо с фоновыми. Небольшое превышение по отношению к фону содержания Cu у моллюсков на некоторых станциях может быть связано с неоднократно отмечавшейся ранее тенденцией роста антропогенного пресса на зал. Восток и другие части залива Петра Великого (Христофорова и др. 2002, 2005; Коженкова и др. 2021). Сравним выявленные концентрации микроэлементов в митилидах зал. Восток с данными по содержанию металлов в этих же видах из Уссурийского залива (таблица). Среди акваторий зал. Петра Великого (заливы Амурский, Уссурийский, Находка, прол. Босфор Восточный), Уссурийский залив характеризуется наименьшим загрязнением на всей акватории за исключением восточного побережья напротив рекультивированного полигона твёрдых бытовых отходов (Коженкова и др. 2021). Как видно, значения Fe и Zn в модиолусах Востока несколько больше, чем у моллюсков Уссурийского залива, и высоко изменчивы в пределах выборки, что мы связываем с обилием мягких тонкодисперсных грунтов и близостью к устьям рек Волчанка и Литовка. В то же время содержание Zn в модиолусах Востока и фоновых районов

Табл. Концентрации тяжёлых металлов в моллюсках, мкг/г сух. массы.  
Table. Heavy metal concentrations in mussels, µg/g dry weight.

| Станции<br>Stations   | Диапазон размеров, мм<br>Size range, mm | Fe                   | Mn                  | Zn            | Cu          | Ni        | Cd               | Pb        |
|---|---|----------------------|---------------------|---------------|-------------|-----------|------------------|-----------|
| <i>Modiolus kurlensis</i>   |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
| 5'  | 81.3–103.2                              | 322.0 ± 40.5         | 67.7 ± 36.6         | 223.8 ± 42.2  | 41.1 ± 12.7 | 3.8 ± 0.7 | 2.3 ± 0.4        | 0.6 ± 0.1 |
| 6   | 79.2–89.8                               | 257.6 ± 55.8         | 113.1 ± 73.8        | 325.0 ± 159.5 | 39.5 ± 22.8 | 5.2 ± 1.3 | 4.0 ± 1.7        | 1.1 ± 0.5 |
| 8   | 100.8–119.3                             | <b>377.3 ± 101.8</b> | <b>146.8 ± 75.0</b> | 376.8 ± 102.1 | 18.0 ± 7.1  | 4.0 ± 1.0 | <b>7.8 ± 5.8</b> | 1.3 ± 0.4 |
| 9   | 59.3–64.8                               | 355.6 ± 70.7         | 78.2 ± 37.0         | 262.4 ± 114.8 | 42.1 ± 8.4  | 3.8 ± 1.2 | 2.2 ± 1.0        | 0.4 ± 0.1 |
| Диапазоны концентраций<br>Concentration ranges  |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
|   |   | 322.0–355.6          | 67.7–113.1          | 223.8–325.0   | 39.5–42.1   | 3.8–5.2   | 2.2–4.0          | 0.4–1.1   |
| <i>Crenomytilus grayanus</i>  |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
| 1   | 81.5–110.2                              | 81.2 ± 26.9          | 1.0 ± 0.2           | 77.5 ± 13.2   | 6.4 ± 1.0   | 2.7 ± 0.7 | 2.8 ± 0.8        | 0.1 ± 0.1 |
| 2   | 102.5–114                               | 116.8 ± 26.1         | 1.1 ± 0.3           | 93.3 ± 17.0   | 7.1 ± 1.6   | 3.4 ± 1.0 | 3.6 ± 1.2        | 0.1 ± 0.1 |
| 3   | 83.4–102.7                              | 102.0 ± 59.0         | 1.0 ± 0.2           | 104.8 ± 23.7  | 5.0 ± 1.0   | 4.0 ± 2.5 | <b>8.1 ± 3.1</b> | 0.2 ± 0.1 |
| 4   | 110.0–151.0                             | 93.8 ± 29.0          | 1.1 ± 0.3           | 95.8 ± 16.3   | 6.0 ± 1.4   | 2.0 ± 0.4 | 3.5 ± 0.6        | 0.2 ± 0.1 |
| 5   | 110.7–129.2                             | 101.5 ± 18.0         | 0.9 ± 0.1           | 88.3 ± 12.4   | 4.1 ± 0.4   | 2.7 ± 1.0 | 5.8 ± 1.6        | 0.2 ± 0.1 |
| 7   | 110.0–122.0                             | 83.6 ± 39.5          | 0.9 ± 0.1           | 83.4 ± 13.1   | 4.0 ± 0.9   | 2.5 ± 0.8 | 4.1 ± 1.4        | 0.2 ± 0.1 |
| Диапазоны концентраций<br>Concentration ranges  |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
|   |   | 81.2–116.8           | 0.9–1.1             | 83.4–104.8    | 4.0–7.1     | 2.0–4.0   | 2.8–8.1          | 0.1–0.2   |
| Содержание тяжёлых металлов в фоновых районах (внешняя часть) зал. Петра Великого (Христофорова и др. 1994)<br>Heavy metal content in background areas (outer part) of the Peter the Great Bay (Khrisoforova et al. 1994) |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
| Диапазоны концентраций<br><i>Modiolus kurlensis</i><br>concentration ranges   |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
|   |   | 172–188              | 287–452             | 408–441       | 14–40       | 6–8.5     | 7.5–19.4         | 8.8–9.2   |
| Диапазоны концентраций<br><i>Crenomytilus grayanus</i><br>Concentration ranges  |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
|   |   | 44–181               | 3.5–4.2             | 62–107        | 2.8–5.8     | 1.3–3.3   | 4.8–8.3          | 2.7–3.7   |
| Содержание тяжёлых металлов в моллюсках Уссурийского залива (Христофорова, Гнетецкий 2022)<br>Heavy metals content in long-lived mussels of the Ussuri Bay (Khrisoforova, Gnetecckiy 2022)                                |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
| Диапазоны концентраций<br><i>Modiolus kurlensis</i><br>concentration ranges   |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
|   |   | 95–254               | 46–110              | 101–254       | 24.4–56.2   | 1.79–3.04 | 2.3–5.7          | –         |
| Диапазоны концентраций<br><i>Crenomytilus grayanus</i><br>Concentration ranges  |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
|   |   | 60–164               | 2.0–8.7             | 52.2–138.1    | 2.6–23.6    | 0.59–7.53 | 1.8–13.5         | –         |
| Гигиенические нормативы / Sanitary regulations  |   |                      |                     |               |             |           |                  |           |
| ПДУ РФ / PEL Russia   |   | –                    | –                   | 1000**        | 150**       | –         | 10*              | 50*       |
| ПДУ ЕС / PEL EU   |   | –                    | –                   | –             | –           | –         | 5***             | 7.5***    |

Примечание: «–» – отсутствие данных; полужирным выделены наиболее высокие показатели для каждого из элементов. В диапазоны концентраций не включены данные по Мидии Грея со станции 8. \* СанПиН 2.3.2.1078-01. \*\* СанПиН 42-123-4089-86. \*\*\* СанПиН 42-123-4089-86. \*\*\* (Commission Regulation... 2006)

Note: “–” indicates that no data is available; the highest values for each of the elements are highlighted in bold. The concentration ranges do not include data on Gray's Mussels from station 8. A significant difference in samples ( $p \leq 0.5$ ) is typical for all stations.

сходно и превышает таковое в Уссурийском заливе. Концентрации Mn, Cu, Ni и Cd в моллюсках зал. Восток и Уссурийском практически совпадают. Это означает, что концентрации металлов в индикаторах в целом соответствуют фоновому уровню, а, как известно, в акваториях с фоновыми диапазонами концентраций элементов связь «содержание металлов организм-среда» ослабевает (Чернова 2023). В этих условиях отдельные повышения средних концентраций металлов в моллюсках скорее связаны с биотическими факторами, например, с возрастом и полом (Христофорова и др. 1994) или с биомассой на единицу площади (Henrigues et al. 2019), что также показано на примере водорослей (Чернова, Коженкова 2016).

Поскольку рассматриваемые виды–индикаторы являются съедобными моллюсками, легко добываемыми ныряльщиками, необходимо было сравнить содержание в них металлов с гигиеническими нормативами (ПДУ). При пересчете концентраций элементов на сухую массу моллюсков, которая отличается от сырой в пять раз, ПДУ кадмия по нормативам РФ составляет 10, по гигиеническим нормам ЕС – 5 мкг/г сухой массы. ПДУ свинца по нормативам РФ – 50 мкг/г, ЕС – 7.5 мкг/г сухой массы. Допустимые концентрации Cu, Zn в пересчете на сухую массу составляют 150 и 1000 мкг/г. Как видно, содержание Cu и Zn в моллюсках значительно меньше ПДУ. Как видно из таблицы, в модиолусах превышения допустимых уровней тяжёлых металлов из Российских и Европейских стандартов не обнаружено для обоих нормируемых элементов, а также для свинца. ПДУ ЕС кадмия превышен для мидий и модиолусов на трёх станциях: у м. Пушина, на биостанции, между мысами Елизарова и Подосёнова, уровень РФ не превышен ни на одной из станций.

### **Заключение**

Использование двух видов долгоживущих митилид, преимущественно приуроченных к разным биотопам, позволило провести оценку экологического состояния морской среды в разных частях зал. Восток. Показано, что местные митилиды содержат металлы в концентрациях, сопоставимых с таковыми в тех же видах из других частей зал. Петра Великого. Эти концентрации в целом являются фоновыми для данных видов и акваторий. Некоторое превышение над фоном отмечено у меди в митилидах на ряде станций зал. Восток, что, теоретически может свидетельствовать о росте антропогенного пресса на залив, но требует дополнительных исследований.

Также зарегистрировано снижение содержания в митилидах свинца, но это недостоверно, т. к. применяемые в 1990-х гг. методики определения этого металла в моллюсках были недостаточно точны.

С позиции санитарных норм РФ превышения уровней содержания тяжёлых металлов в моллюсках не наблюдается. С позиции гигиенического нормирования ЕС настораживает содержание кадмия в мидиях и модиолусах с трёх станций: у м. Пушина, на биостанции, между мысами Елизарова и Подосёнова, где эти концентрации превысили допустимый уровень.

Полученные результаты указывают на необходимость продолжения мониторинга водной среды зал. Восток для дальнейшего отслеживания отмеченных тенденций.

### **Благодарности**

Авторы благодарят рецензентов, замечания и рекомендации которых способствовали улучшению качества рукописи, а также благодарят руководство НИЦМБ ДВО РАН за обеспечение водолазных работ и предоставление рабочих мест на биостанции Восток. Авторы искренне признательны сотрудникам Центра коллективного пользования ЦЛЭДГИС ТИГ ДВО РАН за выполнение аналитической обработки.

### Литература (References)

- Волова Г. Н., Скарлато О. А.** 1980. Двустворчатые моллюски залива Петра Великого. – Владивосток: Дальневосточное книжное изд-во. 95 с. (**Volkova G. N., Scarlato O. A.** 1980. Bivalve Mollusks of Peter the Great Bay. Vladivostok: Dalnevostochnoe Knizhnoe Izdatelstvo, 95 pp. [In Russian])
- Кавун В. Я., Христофорова Н. К., Шулькин В. М.** 1989. Микроэлементный состав тканей мидии съедобной из прибрежных вод Камчатки и северных Курил // *Экология*. № 3. С. 53–58. <https://elibrary.ru/xbcxel> (**Kavun V. Ya., Khristoforova N. K., Shulkin V. M.** 1989. Microelement composition of edible mussel tissues from the coastal waters of Kamchatka and the northern Kuriles. *Russian Journal of Ecology* (3): 53–58. [In Russian])
- Касьянов В. Л., Медведева Л. А., Яковлев С. Н., Яковлев Ю. М.** 1980. Размножение иглокожих и двустворчатых моллюсков. – М.: Наука, 207 с. [https://vk.com/wall-71630588\\_41574](https://vk.com/wall-71630588_41574) (**Kasyanov V. L., Medvedeva L. A., Yakovlev S. N., Yakovlev Yu. M.** 1980. [Reproduction of echinoderms and bivalves shellfish.] М.: Nauka, 207 pp. [In Russian])
- Кику Д. П.** 2008. Микроэлементный состав двустворчатых моллюсков залива Петра Великого в связи с условиями существования: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. 03.00.16. – Владивосток. 112 с. (**Kiku D. P.** 2008. [Microelement composition of bivalve mollusks of Peter the Great Bay in connection with the conditions of existence]. Abstract. dis. ... cand. biol. sciences. Vladivostok, 112 pp. [In Russian])
- Клинская Е. О.** 2005. Оценка состояния окружающей среды г. Биробиджана по содержанию цинка, никеля и кадмия в почве, снеге и одуванчике лекарственном *Taraxacum officinale* – Дис. канд. биол. наук. 03.00.16. Владивосток. 154 с. (**Klinskaya E. O.** 2005. [Assessment of the state of the environment of Birobidzhan by the content of zinc, nickel and cadmium in soil, snow, and dandelion medicinal *Taraxacum officinale*]. Dis. cand. biol. sciences. Vladivostok, 154 pp. [In Russian])
- Ковековдова Л. Т.** 2011. Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока России: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владивосток. 40 с. (**Kovekovdova L. T.** 2011. [Trace elements in marine commercial objects of the Russian Far East]. Abstract. dis. ... doct. biol. sciences. Vladivostok, 40 pp. [In Russian])
- Коженкова С. И., Христофорова Н. К., Чернова Е. Н., Кобзарь А. Д.** 2021. Долговременный биомониторинг загрязнения Уссурийского залива Японского моря тяжёлыми металлами // *Биология моря*. Т. 47. № 4. С. 235–243. DOI: 10.31857/S0134347521040094 [**Kozhenkova S. I., Khristoforova N. K., Chernova E. N., Kobzar A. D.** 2021. Long-term biomonitoring of heavy metal pollution of Ussuri Bay, Sea of Japan *Russian Journal of Marine Biology* 47 (4): 256–264. DOI: 10.1134/S106307402104009X).
- Савенко В. С.** 2006. Химический состав взвешенных наносов рек Мира. – М.: ГЕОС, 175 с. (**Savenko V. S.** 2006. Chemical content of World River's suspended matter. Moscow: GEOS, 175 pp. [In Russian])
- Селин Н. И.** 2018. Состав и структура смешанных поселений *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) и *Modiolus kurilensis* (Bernard, 1983) (Bivalvia: Mytilidae) в заливе Петра Великого Японского моря // *Биология моря*. Т. 44. № 5. С. 307–316. <https://elibrary.ru/ybdonf> (**Selin N. I.** 2018. The composition and structure of mixed population of *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) and *Modiolus kurilensis* (Bernard, 1983) (Bivalvia: Mytilidae) in Peter the Great Bay, the Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology* 44(5): 363–372. <https://doi.org/10.1134/S1063074018050103>)
- Скарлато О. А.** 1981. Двустворчатые моллюски умеренных вод северо-западной части Тихого океана. – Л.: Наука, 480 с. (**Scarlato O. A.** 1981. [Bivalve mollusks of temperate waters of the northwestern Pacific Ocean.] Л.: Nauka, 480 pp. [In Russian]) <http://dspace.vniro.ru/handle/123456789/1226>
- Тюрин А. Н.** 1996. Морской заказник «Залив Восток» // *Биология моря*. Т. 22. № 1. С. 58–63 [http://www.imb.dvo.ru/images/nscmb/files/publications/bm/BM\\_1\\_1996\\_pp\\_58-63.pdf](http://www.imb.dvo.ru/images/nscmb/files/publications/bm/BM_1_1996_pp_58-63.pdf) (**Tyurin A. N.** 1996. Marine reserve Zaliv Vostok. *Russian Journal of Marine Biology* 22(1): 57–62 <https://elibrary.ru/ldoeit>)
- Христофорова Н. К.** 1989. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжёлыми металлами. – Л.: Наука, 192 с. <https://elibrary.ru/zsyzlv> (**Khristoforova N. K.** 1989. [Bioindication and monitoring of marine water pollution by heavy metals.] Л.: Nauka, 192 pp. [In Russian])
- Христофорова Н. К., Галышева Ю. А., Коженкова С. И.** 2005. Оценка антропогенного воздействия на залив Восток (Японского моря) по флористическим показателям макробентоса // *Доклады Академии наук*. Т. 405. № 6. С. 819–821. <https://elibrary.ru/hskbiz>



- (**Khristoforova N. K., Galysheva Yu. A., Kozhenkova S. I.** 2005. Assessment of human impact on the Vostok Bay (Sea of Japan): Evidence from macrobenthic algae. *Doklady Earth Sciences* 405(6): 1423–1425.)
- Христофорова Н. К., Гнетецкий А. В.** 2022. Содержание тяжёлых металлов в долгоживущих митилидах Уссурийского залива // *Биология моря*. Т. 48. № 1. С. 30–37 <https://elibrary.ru/zjavnk>
- (**Khristoforova N. K., Gnetetsky A. V.** 2022. The contents of heavy metals in long-lived mtilids of the Ussuriisky Bay. *Russian Journal of Marine Biology* 48(1): 26–32.)
- Христофорова Н. К., Журавель Е. В., Миронова Ю. А.** 2002. Рекреационное воздействие на залив Восток (Японское море) // *Биология моря*. Т. 28. № 4. С. 300–303. <https://elibrary.ru/xcuwep>
- (**Khristoforova N. K., Zhuravel' E. V., Mironova Yu. A.** 2002. Recreational effects in Vostok Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology* 28(4): 274–277. <https://doi.org/10.1023/A:1020233429568>)
- Христофорова Н. К., Кавун В. Я.** 1987. Микроэлементный состав съедобной мидии, выращиваемой в заливе Восток Японского моря // *Биология моря*. Т. 13. № 3. С. 9–13. <https://elibrary.ru/xbkdsj>
- (**Khristoforova N. K., Kavun V. Ya.** 1987. Microelement composition of edible mussels grown in the East Bay of the Sea of Japan. *Soviet Journal of Marine Biology* 13(3): 9–13. [In Russian])
- Христофорова Н. К., Кавун В. Я., Шулькин В. М., Чернова Е. Н.** 1993. Тяжёлые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. – Владивосток: Дальнаука. 296 с. <https://elibrary.ru/totedz>
- (**Khristoforova N. K., Kavun V. Ya., Shulkin V. M., Chernova E. N.** 1993. Heavy metals in commercial and cultivated mollusks of Peter the Great Bay. Vladivostok: Dalnauka, 296 pp. [In Russian])
- Христофорова Н. К., Наумов Ю. А., Арзамасцев И. С.** 2004. Тяжёлые металлы в донных осадках залива Восток (Японское море) // *Известия ТИНРО*. Т. 136. С. 278–289. <https://elibrary.ru/hpncdv>
- (**Khristoforova N. K., Naumov Yu. A., Arzamascev I. S.** 2004. Heavy metals in bottom sediments of the Vostok Bay (Sea of Japan). *Izvestiya TINRO* 136: 278–289. [In Russian])
- Чернова Е. Н., Христофорова Н. К.** 2008. Сравнительная оценка микроэлементного состава мидий Японского и Белого морей // *Проблемы региональной экологии*. № 1. С. 64–68. <https://elibrary.ru/karwgj>
- (**Chernova E. N., Khristoforova N. K.** 2008. [Comparative assessment of the microelement composition of mussels of the Japanese and White Seas.] *Problems of Regional Ecology* (1): 64–69. [In Russian].)
- Чернова Е. Н.** 2023. Принцип лимитирующих факторов применительно к накоплению металлов водорослями // *Биота и среда природных территорий*. Т. 11. № 1. С. 73–83. (Chernova E. N. 2023. The principle of limiting factors as applied to the accumulation of metals by algae. *Biota and Environment of natural Areas* 11 (1): 73–83. [In Russian]) [https://doi.org/10.25221/2782-1978\\_2023\\_1\\_4](https://doi.org/10.25221/2782-1978_2023_1_4)
- Чернова Е. Н., Коженкова С. И.** 2016. Определение пороговых концентраций металлов в водорослях-индикаторах прибрежных (? что-то пропущено в названии?) северо-западной части Японского моря // *Океанология*. Т. 56. № 3. С. 393–402. <https://doi.org/10.7868/S0030157416030023>
- (Chernova E. N., Kozhenkova S. I. 2016. Determination of threshold concentrations of metals in indicator algae of coastal waters in the northwest Sea of Japan. *Oceanology* 56(3): 363–371.) <https://doi.org/10.1134/S0001437016030024>
- Шулькин В. М.** 2004. Металлы в экосистемах морских мелководий. – Владивосток: Дальнаука. 279 с. (Shulkin V. M. 2004. [Metals in Marine Shallow Ecosystems]. Vladivostok: Dalnauka, 279 pp. [In Russian].)
- Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. 2006. *Official Journal of the European Union L364* 49: 5–24.
- Farrington J. W., Tripp B. W., Tanabe S., Subramanian A., Sericano J. L., Wade T. L., Knap A. H.** 2016. Edward D. Goldberg's proposal of «the Mussel Watch»: Reflections after 40 years. *Marine Pollution Bulletin* 110(1): 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.074>
- Goldberg E. D.** 1986. The Mussel Watch concept. *Environment monitoring and assessment* 7(1): 91–103. <https://doi.org/10.1007/BF00398031>
- Henriques B., Teixeira A., Figueira P., Reis A. T., Almeida J., Vale C., Pereira E.** 2019. Simultaneous removal of trace elements from contaminated waters by living *Ulva lactuca*. *Science of the Total Environment* 652: 880–888. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.282>
- Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПин 2.3.2.1078-01 Утверждено Главным

государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 06 ноября 2001. Электронный документ: [https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1717552764&tld=ru&lang=ru&name=SanPiN\\_Gigienicheskie](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1717552764&tld=ru&lang=ru&name=SanPiN_Gigienicheskie) (дата обращения 05.06.2024).

Предельно допустимые концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах 1986. СанПин 42-123-4089-86. Утверждено Главным государственным санитарным врачом СССР П. Н. Бургасовым 31 марта 1986 г. N4089-86. Электронный документ: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=259784> (дата обращения 05.06.2024).