Трансформация экосистем
Ecosystem Transformation

ISSN 2619-0931 Online
www.ecosysttrans.com

DOI: https://doi.org/10.23859/estr-240506
EDN: https://elibrary.ru/qyguqj
УДК 57.04: 574.3: 574.5

Научная статья

Мониторинг долгосрочных изменений среды и макробентоса залива Восток Японского моря

Ю.А. Галышева[1]*, Н.К. Христофорова[1], Т.В. Бойченко[1], А.Д. Пелех[1], А.Ю. Лазарюк[2], В.А. Чиченко[1]

[1] *Институт Мирового океана Дальневосточного Федерального университета, 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10*

[2] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 690041, Россия, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43*

**galysheva.yua@dvfu.ru*

Аннотация. В статье представлен анализ изменения макробентоса и характеристик среды залива Восток соответственно с 1970-х и 2000-х гг. по настоящее время. Антропогенное воздействие на залив Восток продолжается уже более 150 лет: интенсивно увеличивается рекреационная нагрузка, работают предприятия рыбной промышленности и судоремонта, активно застраивается береговая линия. Весенние и осенние значения температуры воды за последние 20 лет увеличились, что свидетельствует о нарастании скорости прогрева и уменьшении скорости охлаждения водной массы залива в настоящее время. Данный факт способствует ухудшению кислородных показателей и стимулирует перестройку продукционно-деструкционных процессов, отражающихся на балансе соединений биогенных элементов. Численность гетеротрофных микроорганизмов свидетельствует о высоком содержании органического вещества в водной среде. Антропогенное загрязнение подтверждается высокими уровнями энтеробактерий (в том числе кишечной палочки), а также высокой численностью бактерий-деструкторов нефти, дизельного топлива и фенолов. Численность металл-резистентных бактерий отражает высокий уровень содержания тяжелых металлов в водной среде залива. Макробентос на современном этапе стабилен. Однако биомасса мидии Грея и модиолуса курильского за последние 50 лет достоверно снизилась. В мягких тканях мидии Грея из залива обнаружено превышение допустимых токсикологических норм в отношении кадмия. Расчет риска здоровью человека по совокупному содержанию кадмия и свинца показал существующую опасность возникновения онкологических заболеваний при непрерывном потреблении мягких тканей мидий в течении рекреационного сезона и более длительного времени. Происходящая трансформация экосистемы залива Восток требует постоянного экологического мониторинга и управленческих решений в области природопользования.

Ключевые слова: морская среда, гидрологические параметры, гидрохимические параметры, микробиологическая оценка, донные организмы, тяжелые металлы, риск здоровью человека, антропогенное воздействие, трансформация экосистем

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, проект FZNS-2023-0011 «Технологии мониторинга устойчивости экосистем внутренних и окраинных морей России в условиях глобального изменения климата и антропогенного воздействия».

Благодарности. Над статьей вместе с коллективом авторов начинала работать д.б.н., профессор, Заслуженный деятель наук РФ Надежда Константиновна Христофорова – наш учитель. Работа посвящается ее памяти.

ORCID:
Ю.А. Галышева, https://orcid.org/0000-0001-8054-972X
Н.К. Христофорова, https://orcid.org/0000-0002-9559-8660
Т.В. Бойченко, https://orcid.org/0000-0002-1338-9479
А.Д. Пелех, https://orcid.org/0000-0002-3246-5617
А.Ю. Лазарюк, https://orcid.org/0000-0003-4231-9653
В.А. Чиченко, https://orcid.org/0009-0005-0782-3493

Для цитирования: Галышева, Ю.А. и др., 2025. Мониторинг долгосрочных изменений среды и макробентоса залива Восток Японского моря. *Трансформация экосистем* **8** (4), 93–119. https://doi.org/10.23859/estr-240506

Поступила в редакцию: 06.05.2024
Принята к печати: 20.09.2024
Опубликована онлайн: 21.11.2025

DOI: https://doi.org/10.23859/estr-240506
EDN: https://elibrary.ru/qyguqj
UDC 57.04: 574.3: 574.5

Article

Monitoring long-term changes in the environment and macrobenthos of the Vostok Bay, the Sea of Japan

Yu.A. Galysheva[1]*, N.K. Khristoforova[1], T.V. Boychenko[1], A.D. Pelekh[1], A.Yu. Lazaryuk[2], V.A. Chichenko[1]

[1] *Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, Ayaks settlement 10, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922 Russia*

[2] *V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Baltiyskaya St. 43, Vladivostok, 690041 Russia*

**galysheva.yua@dvfu.ru*

Abstract. The changes of the macrobenthos and environmental characteristics in the Vostok Bay, the Sea of Japan, have been analyzed for the periods starting from the 1970s and 2000s to the present, respectively. Anthropogenic impact on the Vostok Bay has been ongoing for over 150 years: recreational load is rapidly increasing, fishing industry and ship repair enterprises are operating, and the coastline is being actively developed. The water temperature in spring and autumn have increased over the past 20 years, indicating an increase in the heating rate and a decrease in the cooling rate of the bay's water mass at present. This fact contributes to the deterioration of oxygen indicators and stimulates the restructuring of production-destruction processes, affecting the balance of nutrient compounds. The abundance of heterotrophic microorganisms indicates a high content of organic matter in the aquatic environment. Anthropogenic pollution is confirmed by high abundance of enterobacteria (including *E. coli*), as well as a high number of bacteria that degrade oil, diesel fuel, and phenols. The abundance of metal-resistant bacteria reflects the high concentrations of heavy metals in the bay. Macrobenthos community is currently stable. However, the biomass of the Gray mussel and the Kuril horse mussel has significantly decreased over the past 50 years. Cadmium levels exceeding toxicological standards were detected in the soft tissue of Gray mussels. Assessing the human health risk, based on the combined cadmium and lead levels, revealed a significant risk of cancer from continuous consumption of mussel soft tissue during the recreational season and beyond. The ongoing transformation of the Vostok Bay ecosystem requires continuous environmental monitoring and relevant environmental management decisions.

Keywords: marine environment, hydrological parameters, hydrochemical parameters, microbiological assessment, benthic organisms, heavy metals, human health risk, anthropogenic impact, ecosystem transformation

Funding. This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project no. FZNS-2023-0011 "Technologies for monitoring the sustainability of ecosystems of inland and marginal seas of Russia under conditions of global climate change and anthropogenic impact."

Acknowledgements. Our teacher, Nadezhda K. Khristoforova, Doctor of Biological Sciences, Professor, and Honored Scientist of the Russian Federation, began working on this article with a team of authors. This work is dedicated to her memory.

ORCID:
Yu.A. Galysheva, https://orcid.org/0000-0001-8054-972X
N.K. Khristoforova, https://orcid.org/0000-0002-9559-8660
T.V. Boychenko, https://orcid.org/0000-0002-1338-9479
A.D. Pelekh, https://orcid.org/0000-0002-3246-5617
A.Yu. Lazaryuk, https://orcid.org/0000-0003-4231-9653
V.A. Chichenko, https://orcid.org/0009-0005-0782-3493

To cite this article: Galysheva, Yu.A. et al., 2025. Monitoring long-term changes in the environment and macrobenthos of the Vostok Bay, the Sea of Japan. *Ecosystem Transformation* **8** (4), 93–119. https://doi.org/10.23859/estr-240506

Received: 06.05.2024
Accepted: 20.09.2024
Published online: 21.11.2025

Введение

Залив Восток расположен в Японском море юго-западнее г. Находка Приморского края и ограничен мысами Подосёнова и Пещурова. Размеры залива относительно невелики – его площадь составляет около 36 км^2, глубина врезки в береговую линию около 8 км, максимальная глубина 31 м.

Освоение залива Восток началось еще в середине XIX в., при этом антропогенное воздействие неуклонно нарастало и продолжается уже более 150 лет. Гидрографические подробные описания залива и его бухт впервые были проведены русскими моряками во главе с командиром клипера «Гайдамак» А. Пещуровым в 1861–1863 гг.[1]. В дальнейшем освоение залива и основание населенных пунктов на его берегах было связано с прибрежным рыболовством и переработкой рыбы.

В середине XX столетия на побережье были построены судостроительный и агаровый заводы. К середине 1970-х гг. в поселках на берегах залива значительно увеличилась численность населения и развилась муниципальная инфраструктура. Рыбколхоз и судоремонтный завод наращивали свои мощности и были градообразующими предприятиями. В 1992 г. «Гайдамакский судоремонтный завод» (ГСРЗ) был преобразован в ОАО, существенно снизил производство и в итоге на несколько лет прекратил работу. В марте 2001 г. работа завода возобновилась под новым названием – ООО «РПК Посейдон», которое сохранило основное направление деятельности – судоремонт.

Помимо промышленного кластера, на побережье зал. Восток во второй половине XX в. начал развиваться и научно-исследовательский. В 1971 г. в бухте Тихая заводь[2] было заложено строительство Морской биологической станции Института биологии моря (ИБМ) ДВНЦ «Восток» (Кашенко, 1976), которая к настоящему времени превратилась в современный научный центр. Биостанция предназначена для морских исследований по различным направлениям. Таким образом, с начала 1970-х гг. в зал. Восток проводятся комплексные морские исследования.

В 1989 г. был образован комплексный морской заказник «Залив Восток», который вошел в систему ДВО РАН (Тюрин, 1996). Заказник ограничен линией, соединяющей мысы Пущина и Елизарова, с санитарной зоной шириной 50 м. Цель создания – сохранение и восстановление природных комплексов зал. Восток в естественном состоянии, поддержание экологического баланса и рационального использования природных ресурсов, марикультурных плантаций и зоны рекреации[3].

В 2016–2017 гг. на восточном берегу залива, на мысе Елизарова, предполагалось строительство нефтехимического комплекса Восточной нефтехимической компании (ВНХК), что могло привести к изменению химического состава морской воды, а также отрицательно сказаться на биоразнообразии экосистемы. Ученые, обеспокоенные назревающей проблемой, сформулировали обоснование о размещении ВНХК и его терминала восточнее бухты Врангеля в зал. Находка (Барышева и др., 2019; Вышкварцев, 2010). В 2021 г. проект решили утвердить, ВНХК будет построен в порту Находка. Однако в составе портовых земель все же запланированы земельные участки на восточном побережье зал. Восток между мысом Елизарова и мысом Подосенова, до 2030 г. проект планируют закончить, несмотря на критику ученых-экологов (Вышкварцев, 2010).

Присутствует на исследуемой акватории и браконьерство. Только за четыре месяца (январь–апрель) 2020 г. инспекторами заказника «Залив Восток» было проведено более 50 рейдов и изъято около 1.6 км рыболовных сетей[4].

По данным официальной статистики, постоянное население поселков побережья зал. Восток в настоящее время составляет: Авангард – 973 человека, Ливадия – 134 человека, Волчанец – 2903 человека, Ново-Литовск – 695 человек, Южно-Морской – 6000 человек; также влияние на залив оказывает и расположенный выше по р. Волчанка пос. Душкино с населением 563 человека[5]. Численность людей на берегах залива существенно варьирует по сезонам, достигая максимума в период с начала июля по конец сентября в связи с интенсивной рекреационной нагрузкой (Галышева и др., 2022).

---

[1] Залив Восток. Интернет-ресурс.URL: http://territoriya.nakhodka-lib.ru/geografy/zaliv%20vostok.htm (дата обращения: 09.03.2022).

[2] Морская биологическая станция "Восток". Интернет-ресурс. URL: http://www.mbsvostok.ru/ (дата обращения; 23.12.2021).

[3] Заповедное Приморье: морская энергия заказника "Залив Восток". Интернет-ресурс. URL: https://primamedia.ru/news/502737/ (дата обращения: 14.11.2021).

[4] Электронная версия газеты "Владивосток" №4675 (6380) от 24.04.2020. Более 1,5 километра сетей изъяли в морском заказнике. Интернет-ресурс. URL: https://vladnews.ru/ev/vl/4675/126624/bolee_kilometra (дата обращения: 09.03.2022).

[5] Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Приморскому краю. Население. Интернет-ресурс. URL: https://25.rosstat.gov.ru/folder/27118 (дата обращения: 09.03.2022).

На сегодняшний день зал. Восток все еще остается одной из чистых акваторий прибрежной зоны Приморья и привлекает на свои живописные берега множество туристов. В бухте Гайдамак продолжают свою работу судоремонтный и рыбоконсервный заводы, а также рыболовецкий колхоз «Тихий океан», активно осваивается и застраивается практически вся береговая линия залива. Многолетнее природопользование в береговой и морской прибрежной зонах зал. Восток не могло не наложить отпечаток на его экосистему и проявляется не только в изменениях компонентов среды, но и биоты залива. В связи с этим цель работы состояла в анализе долговременных изменений характеристик морских вод и макробентоса зал. Восток на основании данных общего периода научных наблюдений, ведущихся в заливе с начала 1970-х гг. по настоящее время (всего около 50 лет), и оценке экологического риска.

Материалы и методы

В работе использованы материалы экспедиций 2020 г. (июль, октябрь) и 2021 г. (май, июль), каждая экспедиционная съемка охватывала 21 станцию (Рис. 1). Для сравнительного анализа привлечены более ранние данные авторов этой статьи, а также опубликованные данные других авторов.

Гидрологический анализ

Параметры водной толщи (температуру, соленость, концентрацию растворенного кислорода и хлорофилла *a*) определяли автономным CTD-зондом (профилографом) ASTD102 (JFE Advantech Co Ltd., Япония; разрешение 10 Гц). По результатам первичной обработки CTD-данных, выполненной с применением оригинальных программных продуктов (Лазарюк и Кошелева, 2014), получены ряды измеренных гидрологических параметров с шагом по глубине (z) 0.5 м, оптимальным для последующего анализа.

Микробиологический анализ

Пробы воды отбирали в июле 2020 г. и мае 2021 г. из подповерхностного слоя (10–20 см) в стерильные пластиковые емкости и транспортировали для анализа в лабораторию согласно ГОСТ 31861-12[6] и ГОСТ 31942-12[7]. Пробы анализировали в трех повторностях с соблюдением сроков хранения проб. Качество поверхностных вод зал. Восток определяли на основании оценки численности следующих эколого-трофических групп микроорганизмов (МО): колониеобразующие гетеротрофные микроорганизмы (КГМ), углеводородокисляющие (Н – нефтеустойчивые, ДТ – устойчивые к дизельному топливу), фенолрезистентные (Ф), а также бактерии группы кишечной палочки (БГКП) и металл-резистентные бактерии (МР).

Анализ общей численности КГМ проводили на среде СММ (среда для морских микроорганизмов) с добавлением 1.5% агара (Наливайко, 2006; Yochimizu and Kimura, 1976). Количество олиготрофов в 1 мл воды находили тем же методом на твердой модифицированной для морских микроорганизмов среде Миллса (Ильинский и др., 2010). Наиболее вероятное количество бактерий эколого-физиологических групп Н, ДТ и Ф оценивали на основе метода десятикратных разведений с использованием элективных сред. В качестве основы для приготовления элективных сред применяли дрожжевой экстракт (0.005%) с минеральными солями, куда добавляли нефть, дизельное топливо или фенол в конечной концентрации 0.1% как единственный источник углерода для развития бактерий (Руководство..., 1980). Количество МР форм в сообществе гетеротрофных культивируемых МО определяли чашечным методом, используя мясопептонный агар (МПА) с добавками солей металлов в концентрациях, ингибирующих рост чувствительных форм бактерий. В качестве добавок использовали хлориды металлов: Zn, Cu, Cd, Ni, Pb (Димитриева и Безвербная, 2002). Проверка на резистентность осуществлялась поэлементно для всех отобранных проб (в трех повторностях). БГКП обнаруживали с использованием селективной среды Эндо. Определяли каталазоположительные, оксидазоотрицательные грамм-отрицательные бактерии (Руководство..., 1980). Для всех параметров рассчитывали средние арифметические со стандартным отклонением. Всего отобрано 29 проб поверхностной воды и произведено 870 посевов.

[6] ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб.

[7] ГОСТ 31942-2012 (ISO 19458:2006). Вода. Отбор проб для микробиологического анализа.

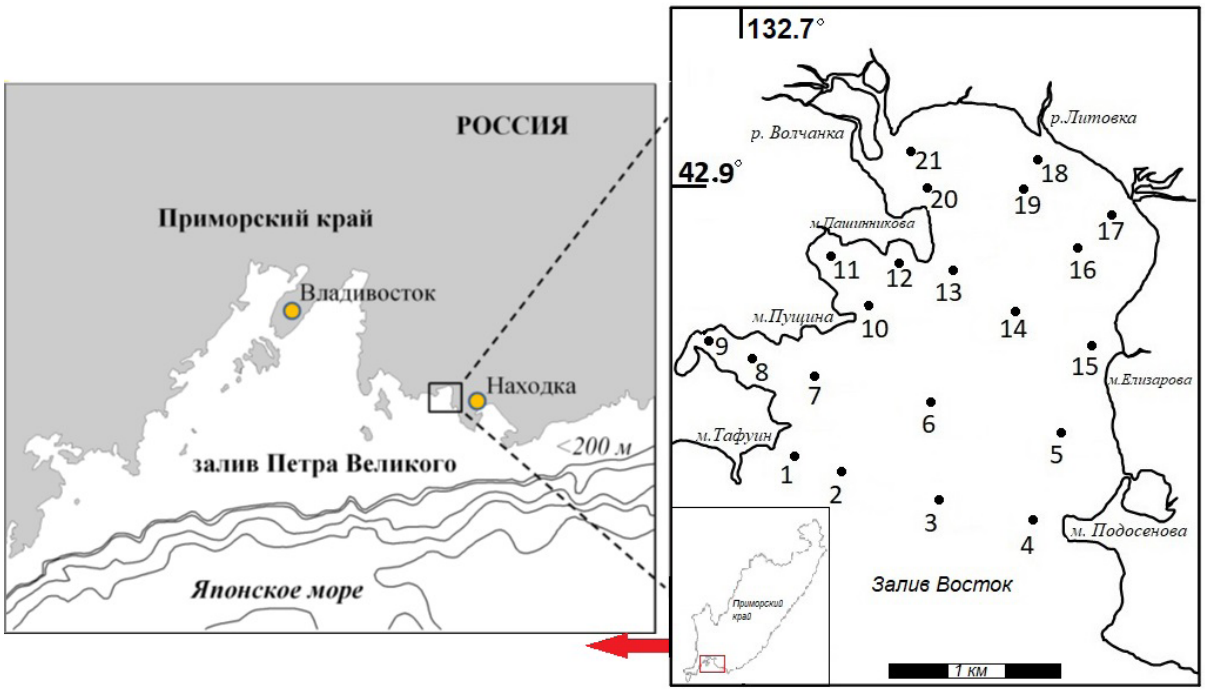

Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в заливе Восток.

Анализ макробентоса

Количественные пробы макробентоса отобраны в июле 2020 г. и мае 2021 г. в трех повторностях с каждой станции при помощи водолаза, использующего гидробиологическую рамку учетной площади в 1 м^2 (для отбора эпибентоса) и водолазный зубчатый дночерпатель площадью 0.025 м^2 (для отбора инфауны). Всего отобрано 126 количественных проб макробентоса. Первичная обработка проб проведена в день отбора на Морской биологической станции «Восток» Национального научного центра морской биологии им. академика А.В. Жирмунского ДВО РАН. Камеральная обработка: разбор по основным таксономическим группам, идентификация видов, определение биомассы (г/м^2) и плотности поселения (экз./м^2) – произведена в лаборатории Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана Дальневосточного федерального университета. Для работы использован стереоскопический микроскоп Zeiss Stemi 2000C, а также лабораторные весы DemCom DL-2002 с точностью взвешивания до 0.001 г. Систематическое положение организмов приводится согласно списку свободноживущих беспозвоночных дальневосточных морей (Список..., 2013), а также всемирным электронным базам данных WORMS[8] и AlgaeBase[9].

Анализ содержания тяжелых металлов и оценка экологического риска

Тяжелые металлы определяли в двух массовых видах двустворчатых моллюсков (*Modiolus kurilensis* F.R. Bernard, 1983 и *Crenomytilus grayanus* Dunker, 1853), собранных в октябре 2020 г. Крупных половозрелых моллюсков близкого размера собирали водолазным способом на каждой станции, очищали от песка, камней и водорослей-обрастателей, тщательно отмывали в морской воде с помощью жесткой щетки и помещали на 48 часов в пластиковые емкости, в которых регулярно меняли морскую воду, для дефекации. После дефекации моллюсков препарировали с отделением мягких тканей целиком от створок и биссусных нитей, доставляли в лабораторию университета и замораживали для хранения. Перед химическим анализом моллюсков высушивали при температуре 85 °C в течение 2–3 суток до постоянного веса и механически гомогенизировали.

[8] Word Register of Marine Species. Интернет-ресурс. URL: https://www.marinespecies.org/ (дата обращения: 14.03.2024).

[9] AlgaeBase. Интернет-ресурс. URL: https://www.algaebase.org/browse/taxonomy (дата обращения: 14.03.2024).

Каждую особь анализировали отдельно по минерализату ее тканей. Минерализацию производили в системе микроволнового разложения MARS 6 согласно ГОСТ 26929-94[10].

Определение концентраций Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Ni, Pb производили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (AAS) на приборе Shimadzu AA-6800 в пламени (Cu, Fe, Mn, Ni) и графитовой печи (Cd, Zn, Pb) в центре коллективного пользования Центра ландшафтной диагностики и ГИС-технологий Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Для оценки корректности определения использовали стандартные образцы с известными концентрациями микроэлементов. Всего проанализировано 50 образцов тканей мидий, проведено 300 элемент-определений.

Каждую станцию характеризовали средней концентрацией элементов на основании анализа мягких тканей пяти особей. Для определения коэффициента геохимической аномальности содержания металлов в моллюсках рассчитывали коэффициент концентрации металла:

$$K_c = C_i / C_{фi},$$

где C_i – максимальная фактическая, а $C_{фi}$ – фоновая концентрация i-го металла, в качестве которой использовали верхнее значение фонового диапазона, опубликованного ранее для моллюсков, собранных у о. Рейнеке (Шулькин, 2004).

Для определения величины индивидуального канцерогенного риска при воздействии беспороговых токсикантов (Cd и Pb) применялась методика, разработанная EPA, в соответствии с которой рассчитывался коэффициент ILCR (Incremental Lifetime Cancer Risk). Данный коэффициент оценивает нарастающий пожизненный риск возникновения рака при потреблении продукции в течение определенного периода времени и широко используется в Канаде и США[11].

Результаты

Гидрологическая характеристика поверхностных вод

По данным исследований 2020–2021 гг. выявлено, что в мае поверхностные воды зал. Восток прогреваются быстрее, чем придонные, и в среднем достигают температуры 13 °C (Рис. 2). В июле температура воды в поверхностном горизонте приближается в среднем к 20 °C, в то время как в придонных слоях она остается относительно прохладной, до 14–16 °C на мелководье и до 11–12 °C на глубинах более 20 м. В октябре поверхностный слой остывает быстрее придонного, и в день проведения гидрологической съемки температура большей части водной массы залива была практически однородной, показав в среднем уровень около 15 °C (Рис. 3**A**). Данные о состоянии гидролого-гидрохимических параметров и микробиологических показателей залива были частично опубликованы в работе Н.К. Христофоровой и др. (2023). В горизонтальном пространственном отношении наибольшая неравномерность температур в поверхностном горизонте наблюдается весной (разница между внутренней частью залива и выходом около 3 °C) (Рис. 3**A**). Летом и осенью значения температуры верхнего слоя воды разных частей залива довольно равномерны.

Соленость вод поверхностного горизонта во все сезоны была ниже, чем у придонного. При этом весной между горизонтами отмечена наибольшая разница, до 3 ЕПС (единица практической солености, эквивалентная промилле). Западная часть залива характеризуется меньшими показателями солености поверхностного водного слоя, чем восточная, что особенно ярко проявляется весной и летом (Рис. 3**B**). Осенью поверхностный соленостный фон в заливе выравнивается. Контрастность в распределении значений данного параметра заметно исчезает с глубиной. Максимальное значение солености (33.6 ЕПС) отмечено осенью в придонном слое на станции 2, минимальное (25.7 ЕПС) – в мае в поверхностном слое на ст.1 (выход из залива, м. Тафуин).

В отношении концентрации хлорофилла *a* профилирование CTD-зондом выявило заметную разницу значений между водами поверхностного и придонного слоев во все сезоны наблюдений и одновременное нарастание значений в обоих горизонтах от весны к осени (Рис. 3**C**). Во все сезоны, как в поверхностных, так и в придонных водах, концентрация хлорофилла *a* была выше в западной части залива. Максимум (4.9 мкг/дм^3) отмечен в октябре в придонных водах на ст. 20.

---

[10] ГОСТ 26929-94.Сырьё и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов.

[11] Risk Assessment for Carcinogenic Effects. Интернет-ресурс. URL: https://www.epa.gov/fera/risk-assessment-carcinogenic-effects/ (дата обращения:23.09.2025).

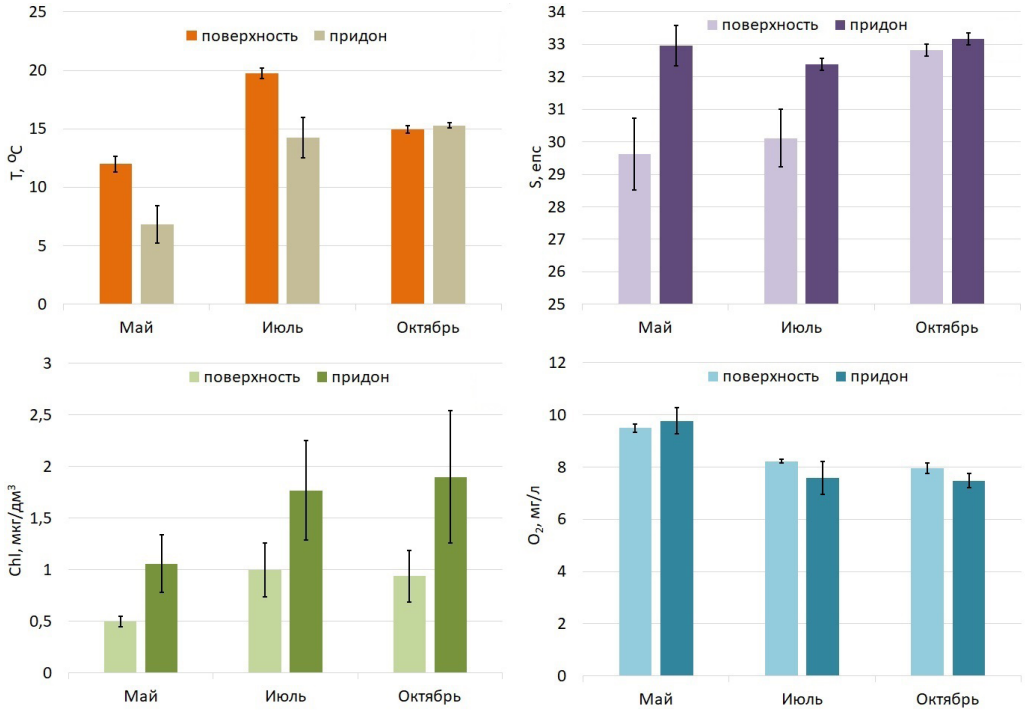

Рис. 2. Сезонные изменения гидрологических параметров вод залива Восток по данным июля, октября 2020 г. и мая 2021 г. (средние значения со стандартными отклонениями).

Измеренные профилографом средние значения концентраций растворенного кислорода в водах залива Восток, хотя и имели от весны к осени характерный тренд на понижение (от 9.6–9.8 до 7.7–8.0 мг/л), тем не менее, соответствовали санитарной норме (Перечень..., 1999). Однако концентрации O_2 менее 6 мг/л все же фиксировали в слоях у дна залива в июле и октябре (Рис. 3**D**). Таким образом, наличие пониженного фона концентраций O_2 в придонном слое указывает на предпосылки возникновения в различных частях залива Восток локальных зон экологического риска (гипоксия). Абсолютный максимум измеренных CTD-зондом вблизи дна значений растворенного кислорода зафиксирован весной (10.65 мг/л, вблизи м. Елизарова на ст.15), а минимумы – летом (4.7 мг/л, м. Пашинникова, ст. 13) и осенью (4.74 мг/л, между входными мысами бух. Гайдамак).

Микробиологическая оценка поверхностных вод

Микробиологическая оценка проводилась только в весенне-летний сезон. Общее представление о чистоте вод дают данные о содержании гетеротрофов, потребляющих растворенное органическое вещество. Весной количественные показатели КГМ были невысоки, свидетельствуя об олигосапробности вод в момент отбора проб.

Ожидаемым исключением являлся кут бухты Гайдамак (ст. 9), находящейся под максимальным в заливе антропогенным воздействием, где численность гетеротрофов достигала $1.2 \cdot 10^4$ КОЕ/мл. В районе мыса Тафуин (ст. 1) была зафиксирована кишечная палочка *Escherichia coli* (Migula 1895). Ее появление в районе м. Тафуин вполне логично объясняется выносом загрязненных вод из бух. Гайдамак. Численность КГМ в летних пробах залива Восток была довольно высокой, находясь в основном на уровне 10^3–10^4 КОЕ/мл, с максимумом в предустье р. Волчанки – 10^5 КОЕ/мл (Табл. 1). Среди общего пула гетеротрофов выделяются бактерии группы кишечной палочки (БГПК), которые в летних пробах выявлялись на всех прибрежных станциях с концентрациями от 10 до 10^2 КОЕ/мл и не обнаруживались в центре и на выходе из залива. *E. coli* летом выявлена в бухтах Гайдамак и Средняя в количестве до 10^2КОЕ/мл, что свидетельствует о стабильном фекальном загрязнении этого района залива.

Анализ содержания металл-резистентных МО показал их невысокую концентрацию в водах залива в весенний сезон (Табл. 2). В летний сезон в северной кутовой части залива (станции 18, 20, 21) выявлена 10^3 степень Ni-резистентных, а также Cu- и Zn-резистентных МО. Бухта Гайдамак (станции 8, 9) характеризовалась летом высокой численностью Pb-резистентных МО.

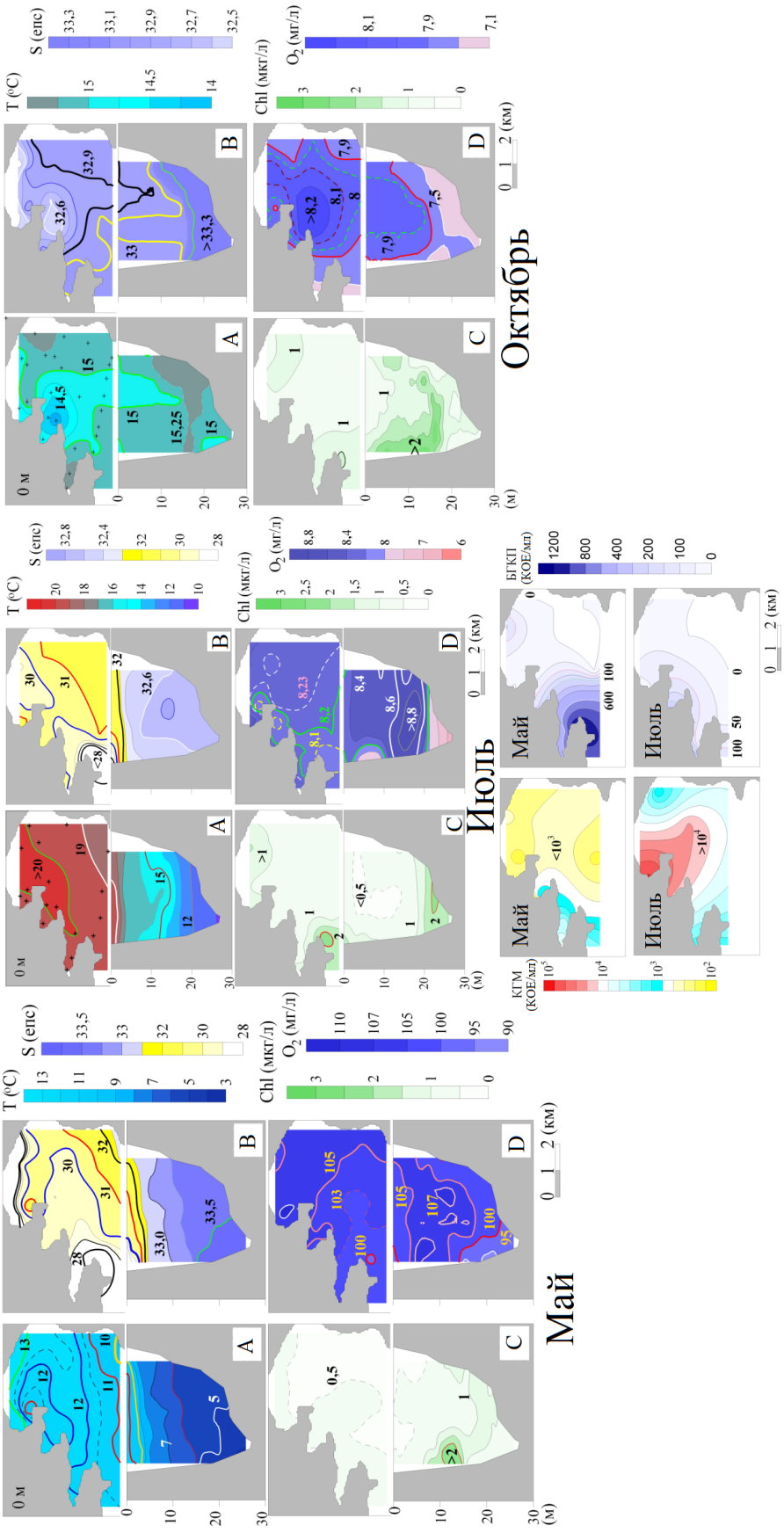

Рис. 3. Пространственное распределение температуры T (**A**), солености S (**B**), содержания хлорофилла *a* Chl (C) и растворенного кислорода O_2 (**D**) на поверхности и вблизи дна, а также на выходном разрезе залива Восток в 2020–2021 гг. (часть данных опубликована в статье Христофоровой и др., 2023).

Табл. 1. Численность КГМ и БГПК в поверхностных водах на станциях отбора проб в заливе Восток в июле 2020 г. и мае 2021 гг. (данные опубликованы в статье Христофоровой и др., 2023). Жирным шрифтом выделены показатели кишечной палочки; здесь и далее данные представлены в виде «среднее ± ошибка среднего», «н/д» – нет данных. Над чертой указана общая численность БГПК, под чертой – численность конкретно кишечной палочки (*E. coli*).

№ станции	Район	КГМ, июль 2020 г.	БГКП, июль 2020 г.	КГМ, май 2021 г.	БГКП, май 2021 г.
1	М. Тафуин	н/д	н/д	$(9.8 \pm 0.7) \times 10^2$	$(1.3 \pm 0.6 \times 10^3$ / **$(2.0 \pm 1.0) \times 10^2$**
3	Выход зал. Восток (центральная часть)	$(8.5 \pm 0.4) \times 10^3$	0	$(2.2 \pm 1.3) \times 10^2$	0
4	М. Подосёнова	$(8.0 \pm 0.9) \times 10^3$	0	$(3.7 \pm 1.1) \times 10^2$	0
5	Бух. Антарес	$(9.2 \pm 0.3) \times 10^3$	0	$(6.2 \pm 0.6) \times 10^2$	0
6	Центр зал. Восток	$(2.7 \pm 1.3) \times 10^4$	0	$(5.4 \pm 0.7) \times 10^2$	0
7	Выход из бух. Гайдамак	н/д	н/д	$(5.2 \pm 0.7) \times 10^3$	$(5.6 \pm 0.8) \times 10^2$ / **$(1.6 \pm 0.5) \times 10^2$**
8	М. Чайковского	$(3.0 \pm 0.3) \times 10^3$	$(4.0 \pm 1.0) \times 10$	н/д	н/д
9	Бух. Гайдамак (кут)	$(6.7 \pm 0.1) \times 10^4$	$(3.5 \pm 0.5) \times 10^2$ / **$(1.1 \pm 0.6) \times 10^2$**	$(1.2 \pm 0.5) \times 10^4$	$(4.6 \pm 1.5) \times 10^2$ / **$2.1 \pm 0.3) \times 10^2$**
10	М. Пущина	$(5.2 \pm 0.5) \times 10^4$	0	н/д	н/д
11	Бух. Средняя (Подсобная)	$(4.2 \pm 1.1) \times 10^4$	$(1.0 \pm 1.2) \times 10^2$ / **$(2.8 \pm 0.6) \times 10$**	$(4.5 \pm 1.4) \times 10^2$	0
12	Бух. Средняя (1-ая Прибойная)	$(2.3 \pm 0.7) \times 10^4$	$(2.8 \pm 0.2) \times 10^2$ / **$(4.1 \pm 0.8) \times 10$**	$(1.1 \pm 0.8) \times 10^2$	$(2.0 \pm 1.0) \times 10^2$ / **$(1.5 \pm 0.3) \times 10^2$**
13	М. Пашинникова	$(1.4 \pm 0.4) \times 10^3$	0	$(4.5 \pm 1.4) \times 10^2$	0
15	М. Елизарова	$(1.0 \pm 0.2) \times 10^3$	0	$(4.5 \pm 0.3) \times 10^2$	$(1.6 \pm 1.1) \times 10^2$
17	Бух. Литовка	$(1.0 \pm 0.7) \times 10^3$	$(2.6 \pm 0.6) \times 10$	н/д	н/д
18	П. Волчанец (устье р. Литовка)	$(1.3 \pm 0.8) \times 10^4$	$(1.2 \pm 0.1) \times 10$	$(2.5 \pm 1.2) \times 10^2$	$(1.0 \pm 0.1) \times 10$
20	МБС «Восток»	$(2.2 \pm 0.7) \times 10^4$	$(4.0 \pm 0.4) \times 10$	$(1.9 \pm 0.7) \times 10^2$	0
21	Предустье р. Волчанка (бух. Тихая заводь)	$(1.3 \pm 0.8) \times 10^5$	$(2.1 \pm 0.2) \times 10$	$(4.5 \pm 0.9) \times 10^2$	0

Табл. 2. Численность металл-резистентных МО на станциях отбора проб залива Восток в июле 2020 г. и мае 2021 гг. (данные опубликованы в статье Христофоровой и др., 2023). Жирным шрифтом выделены максимальные значения. Здесь и далее номера станций приведены согласно Табл. 1.

№ станции	Металл-резистентные группы микроорганизмов (КОЕ/мл)									
	Июль 2020 г.					Май 2021 г.				
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd
1	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	(2.0 ± 0.1)×10	(7.0 ± 0.4)×10	(3.0 ± 0.3)×10	0	0
3	0	(3.0 ± 1.1)×10^2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	(2.1 ± 0.3)×10	0	0	0	0	(7.0 ± 0.2)×10	0	0	0
5	(2.1 ± 0.2)×10	(3.7 ± 0.4)×10	0	0	0	(1.0 ± 0.2)×10	0	0	0	0
6	0	(2.5 ± 0.7)×10^2	0	(4.5 ± 0.1)× 10	0	(2.5 ± 0.5)×10	(1.8 ± 1.1)×10^2	0	(1.5 ± 0.5)×10	0
7	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	(2.5 ± 0.7)×10	(3.5 ± 0.5) × 10^2	(9.5 ± 0.7)×10	0	0
8	(2.4 ± 0.2)×10^2	(1.5 ± 0.4)×10^2	(1.5 ± 0.4)×10^3	**(1.3 ± 0.4)×10^2**	0	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
9	**(8.8 ± 0.3)×10^3**	(2.3 ± 0.5)×10	(2.0 ± 0.6)×10^2	**(4.8 ± 0.5)×10^2**	0	(1.5 ± 0.7)×10^2	(1.5 ± 0.4)×10^2	(1.5 ± 0.5)×10^2	0	0
10	0	(9.2 ± 0.8)×10^2	0	0	(1.4 ± 0.2)×10	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
11	(6.2 ± 0.6)×10^2	(7.1 ± 0.8)×10^2	0	0	0	0	(3.5 ± 1.3)×10^2	(2.0 ± 0.6)×10	0	0
12	0	0	0	(7.5 ± 0.7)×10	0	0	(3.3 ± 0.7)×10	(1.2 ± 0.4)×10^2	(1.0 ± 0.2)×10	0
13	(1.2 ± 0.4)×10	(4.3 ± 0.4)×10^2	0	0	0	0	(1.2 ± 1.1)×10^2	(2.5 ± 1.1)×10^2	0	0
15	0	(5.2 ± 0.4)×10^2	0	0	0	0	(1.5 ± 0.7) × 10^2	(2.0 ± 0.7)×10	0	0
17	0	(2.2 ± 0.2)×10	0	(4.0 ± 0.5)×10	0	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
18	**(9.6 ± 0.3)×10^3**	**(1.7 ± 0.5)×10^3**	**(7.8 ± 0.2)×10^3**	0	(1.6 ± 0.5)×10	0	(4.6 ± 1.2)×10	(1.0 ± 0.2)×10	0	0
20	(1.2 ± 0.4)×10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	**(5.9 ± 0.6)×10^3**	**(2.6 ± 1.1)×10^3**	**(5.3 ± 0.4)×10^3**	0	(1.3 ± 0.5)×10	0	(1.0 ± 0.7)×10^2	0	0	0

Нефтеустойчивые МО (Табл. 3) обнаруживались в поверхностных водах залива Восток повсеместно как весной, так и летом в диапазоне численности 10^2–10^3 КОЕ/мл. МО, устойчивые к дизельному топливу, также обнаружены в оба сезона почти на всех станциях. В июле их уровень достигал 10^4 КОЕ/мл. Аналогичная картина распределения выявлена и для группы бактерий-индикаторов фенольного загрязнения. Количественный показатель бактерий данной эколого-трофической группы летом также достигал 10^4 КОЕ/мл. Для всех анализируемых нами углеводородустойчивых МО в мае общий уровень численности был на порядок ниже, чем в июле. Максимальная степень обилия указанных групп бактерий характерна для северной кутовой части залива.

Макробентос

В результате отбора проб 2020–2021 гг. в макробентосе было обнаружено 86 видов беспозвоночных, водорослей и морских трав. Новых для района таксонов выявлено не было. Средний показатель биомассы макробентоса по данным съемки составил около 1800 г/м^2. К числу видов, имеющих долю в общей средней биомассе не менее 1%, было отнесено всего 15 – их мы обозначили в качестве массовых видов (Табл. 4). Ряд показателей обилия по данным съемки июля 2020 г. представлен в докладе В.А. Чиченко (2022) (рук. Ю.А. Галышева).

Наибольшей средней биомассой в заливе в настоящее время характеризуется морская трава *Zostera asiatica* Miki, на втором месте по обилию мидия Грея *Crenomytilus grayanus* Dunker, 1853.

Из водорослей в заливе преобладает десмарестия зеленеющая *Desmarestia viridis* O.F. Müller (J.V. Lamouroux). Приблизительно одинаковый показатель средней биомассы имеют модиолус курильский *Modiolus kurilensis* Linnaeus, 1758 и гребешок приморский *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1857). К доминирующим видам также относятся морская трава *Zostera marina* Linnaeus, невооруженный морской еж *Mesocentrotus nudus* (A. Agassiz, 1864), бурые водоросли *Costaria costata* (C. Agardh) De A.Saunders, *Saccharina cichorioides* (Miyabe) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders, двустворчатые моллюски *Mytilus coruscus* A. Gould, 1861 и *Swiftopecten swiftii* (Bernardi, 1858), морские ежи *Strongylocentrotus intermedius* (A. Agassiz, 1864) и *Scaphechinus mirabilis* A. Agassiz, 1864, морские звезды *Patiria pectinifera* (Muller & Troschel, 1842) и *Asterias amurensis* Lutken, 1871.

Сетка выполненных станций в пределах заказника «Залив Восток» охватила следующие экотопы: подножия мысов со скалистыми платформами (ст. 10, 13, 18), россыпи валунов (ст. 15, 20), песчаная равнина (ст. 11, 12, 17, 19) и илистое (заиленное) ложе (ст. 14, 16). Максимальное распространение и охват всех четырех типов экотопов имеет морская звезда патирия гребешковая (*P. pectinifera*). На твердых субстратах широко распространена десматрия зеленеющая (*D. viridis*). Двустворчатые моллюски-митилиды (*C. grayanus, M. coruscus, M. kurilensis*), а также шаровидные морские ежи (*M. nudus* и *S. intermedius*) локализуются в экотопах с преобладанием скалистого и валунного грунта. На мягких песчаных субстратах распространены плоский морской еж *S. mirabilis* и морские травы рода *Zostera* (Рис. 4). Таким образом, массовые виды макробентоса по-прежнему совпадают с доминантами, выявленными в составе донных сообществ залива Восток ранее (Галышева, 2004; Галышева и Пустовалова, 2009; Галышева и Яковлева, 2007; Погребов и Кашенко, 1976; Тарасов, 1978).

Содержание ТМ в массовых видах гидробионтов

Диапазон изменения средних значений концентраций тяжелых металлов в модиолусе курильском составил: Fe – 116.80–335.05, Zn – 93.32–429.67, Cu – 7.17–38.59, Ni – 3.40–6.00, Pb – 0.12–1.45, Cd – 2.17–3.60 мкг/г сух. массы (Табл. 5). Аналогичный диапазон для мидии Грея выглядел следующим образом: Fe – 66.3–336.63, Zn – 77.50–359.23, Cu – 3.96–16.97, Ni – 2.03–4.01, Pb – 0.12–1.29, Cd – 2.75–7.76 мкг/г сух. массы. Коэффициенты геохимической аномальности варьируют следующим образом: для модиолуса курильского Fe – 0.49–1.11, Zn – 0.13–0.62, Cu – 0.15–0.76, Ni – 0.95–1.54, Pb – 0.03–0.08, Cd – 0.18–0.31, для мидии Грея Fe – 0.68–3.28, Zn – 0.74–3.44, Cu – 0.91–3.84, Ni – 0.78–1.62, Pb – 0.15–1.28, Cd – 0.32–0.81. Таким образом, в модиолусе курильском выше фонового уровня значений накапливаются лишь никель и железо (для этих элементов $K_c > 1$), а в мидии Грея все из изученных металлов, кроме кадмия.

Для трех металлов (Zn, Cu, Ni) в тканях *M. kurilensis* характерен более широкий диапазон вариаций их содержания по сравнению с *C. grayanus*. В отношении Fe и Cd разница между минимальными и максимальными концентрациями, напротив, была больше для мидии Грея. В целом для большинства металлов (за исключением свинца и кадмия) более высокое содержание характерно для *M. kurilensis*, что объясняется в первую очередь обитанием этого вида на илистых

Табл. 3. Численность МО, устойчивых к нефти, дизельному топливу и фенолам в поверхностных водах залива Восток в июле 2020 г. и мае 2021 гг. (данные опубликованы в статье Христофоровой и др., 2023). Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

№ станции	Июль 2020 г.			Май 2021 г.		
	Н	ДТ	Ф	Н	ДТ	Ф
1	н/д	н/д	н/д	$(4.5 \pm 0.4)\times10^{2}$	**$(1.7 \pm 1.4)\times10^{3}$**	**$(1.3 \pm 0.5)\times10^{3}$**
3	$(5.3 \pm 2.5)\times10^{2}$	$(2.5 \pm 2.1)\times10^{2}$	**$(1.0 \pm 0.7)\times10^{3}$**	$(3.5 \pm 1.3)\times10^{2}$	$(2.3 \pm 0.7)\times10^{2}$	$(2.8 \pm 0.2)\times10^{2}$
4	**$(8.2 \pm 0.5)\times10^{3}$**	**$(2.9 \pm 0.7)\times10^{3}$**	$(1.3 \pm 0.6)\times10^{2}$	$(2.7 \pm 0.7)\times10^{2}$	$(3.9 \pm 0.4)\times10^{2}$	$(3.3 \pm 0.8)\times10^{2}$
5	**$(2.2 \pm 0.3)\times10^{3}$**	$(7.7 \pm 0.6)\times10^{2}$	$(9.1 \pm 0.4)\times10^{2}$	$(4.2 \pm 1.2)\times10^{2}$	$(2.5 \pm 1.6)\times10^{2}$	$(3.1 \pm 0.9)\times10^{2}$
6	**$(1.1 \pm 0.1)\times10^{3}$**	**$(2.8 \pm 0.4)\times10^{3}$**	**$(4.0 \pm 1.2)\times10^{3}$**	$(3.6 \pm 0.7)\times10^{2}$	$(6.7 \pm 1.7)\times10^{2}$	**$(4.0 \pm 0.7)\times10^{4}$**
7	н/д	н/д	н/д	$(2.8 \pm 2.4)\times 10^{2}$	$(5.7 \pm 1.1)\times10^{2}$	$(9.0 \pm 1.4)\times10^{2}$
8	**$(1.2 \pm 0.6)\times10^{3}$**	$(5.1 \pm 0.5)\times10^{2}$	$(1.3 \pm 0.7)\times10$	н/д	н/д	н/д
9	$(5.3 \pm 1.5)\times10^{2}$	$(5.6 \pm 1.5)\times10^{2}$	**$(4.3 \pm 1.2)\times10^{3}$**	$(6.7 \pm 1.1)\times10^{2}$	$(7.7 \pm 4.2)\times10^{2}$	$(3.1 \pm 1.2)\times10^{2}$
10	$(3.2 \pm 0.2)\times10^{3}$	**$(4.4 \pm 0.9)\times10^{3}$**	$(2.2 \pm 0.8)\times10^{2}$	н/д	н/д	н/д
11	$(6.2 \pm 0.6)\times10^{2}$	**$(6.0 \pm 0.8)\times10^{3}$**	$(8.0 \pm 1.2)\times10^{2}$	$(2.4 \pm 1.1)\times10^{2}$	$(8.6 \pm 0.6)\times10^{2}$	$(5.7 \pm 0.6)\times10^{2}$
12	$(8.6 \pm 1.1)\times10^{2}$	**$(6.5 \pm 0.6)\times10^{3}$**	**$(9.5 \pm 0.2)\times10^{3}$**	$(4.4 \pm 1.4)\times10^{2}$	$(4.5 \pm 0.8)\times10^{2}$	$(4.6 \pm 1.2)\times10^{2}$
13	**$(1.1 \pm 0.3)\times10^{3}$**	$(6.3 \pm 0.5)\times10^{2}$	$(5.5 \pm 1.1)\times10^{2}$	$(3.4 \pm 0.4)\times10^{2}$	$(5.5 \pm 1.5)\times10^{2}$	$(5.5 \pm 1.1)\times10^{2}$
15	$(7.0 \pm 0.7)\times10^{2}$	$(5.2 \pm 0.4)\times10^{2}$	**$(7.3 \pm 0.6)\times10^{4}$**	$(3.4 \pm 0.2)\times10^{2}$	$(6.0 \pm 0.1)\times10$	**$(2.3 \pm 1.2)\times10^{4}$**
17	$(4.0 \pm 0.5)\times10^{2}$	$(1.3 \pm 0.5)\times10^{2}$	**$(1.7 \pm 0.3)\times10^{3}$**	н/д	н/д	н/д
18	$(8.6 \pm 1.5)\times10^{2}$	**$(2.2 \pm 0.9)\times10^{4}$**	**$(2.2 \pm 0.9)\times10^{4}$**	$(2.8 \pm 0.7)\times10^{2}$	$(5.2 \pm 1.2)\times10^{2}$	$(3.2 \pm 0.3)\times10^{2}$
20	$(2.2 \pm 0.7)\times10^{2}$	$(4.0 \pm 0.4)\times10^{2}$	$(3.0 \pm 0.4)\times10$	$(8.6 \pm 0.8)\times10$	$(1.0 \pm 0.1)\times10$	$(2.5 \pm 1.2)\times10$
21	**$(3.6 \pm 0.5)\times10^{3}$**	**$(2.8 \pm 0.9)\times10^{4}$**	**$(2.1 \pm 1.8)\times10^{4}$**	$(1.5 \pm 0.6)\times10^{2}$	$(3.6 \pm 1.2)\times10^{2}$	$(1.1 \pm 0.5)\times10^{2}$

Табл. 4. Показатели обилия доминирующих видов макробентоса залива Восток по данным исследований 2020–2021 гг.

Группа	Вид	Средняя биомасса ± ошибка среднего	Средняя плотность поселения ± ошибка среднего
Magnoliophyta	*Z. asiatica*	411.6 ± 694.6	–
Bivalvia	*C. grayanus*	218.9 ± 47.3	1.3 ± 2.3
Ochrophyta	*D. viridis*	134.9 ± 157.6	–
Bivalvia	*M. kurilensis*	95.9 ± 117.6	1.6 ± 1.7
Bivalvia	*M. yessoensis*	82.8 ± 140.2	0.2 ± 0.3
Magnoliophyta	*Z. marina*	76.5 ± 141.2	–
Echinoidea	*M. nudus*	62.0 ± 79.3	0.8 ± 1.0
Ochrophyta	*C. costata*	59.4 ± 100.4	–
Bivalvia	*M. coruscus*	55.7 ± 88.3	1.2 ± 1.9
Bivalvia	*S. swiftii*	50.2 ± 80.0	0.5 ± 0.8
Echinoidea	*S. intermedius*	49.7 ± 61.5	1.2 ± 1.5
Asteroidea	*P. pectinifera*	44.5 ± 36.6	3.3 ± 3.1
Asteroidea	*A. amurensis*	38.4 ± 59.1	0.2 ± 0.2
Ochrophyta	*S. cichorioides*	35.3 ± 54.3	–
Echinoidea	*S. mirabilis*	28.5 ± 52.6	0.8 ± 1.5

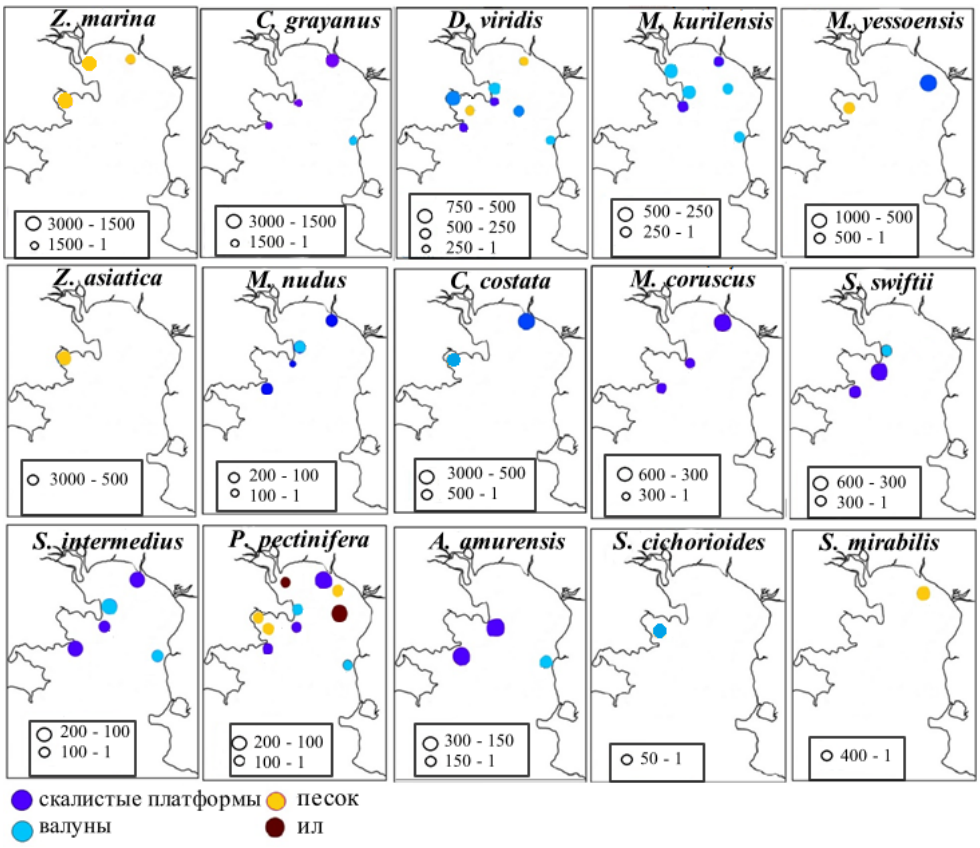

Рис. 4. Биомасса доминирующих видов макробентоса в основных местах локализации в пределах заказника «Залив Восток» по данным 2020–2021 гг.

Табл. 5. Средние (± ошибка среднего) концентрации тяжелых металлов (мкг/г сух. массы) в мидиях (над чертой) и значения коэффициента геохимической аномальности (под чертой) для залива Восток (октябрь 2020 г.). Жирным выделены значения, превышающие фоновые.

№ ст.	Вид	Fe	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd
1	*C. grayanus*	92.58 ± 10.25	77.50 ± 13.16	6.36 ± 1.00	2.72 ± 0.65	0.12 ± 0.06	2.75 ± 0.76
		0.90	0.74	**1.51**	**1.09**	0.15	0.32
4	*M. kurilensis*	304.83 ± 15.81	213.80 ± 42.48	38.59 ± 3.37	3.42 ± 0.98	0.41 ± 0.14	2.17 ± 0.96
		1.11	0.30	0.72	0.95	0.03	0.20
5	*C. grayanus*	336.63 ± 36.78	359.23 ± 63.57	16.97 ± 1.82	4.01 ± 1.02	1.29 ± 0.24	5.21 ± 0.29
		3.28	**3.44**	**3.84**	**1.62**	**1.28**	0.50
7	*M. kurilensis*	116.80 ± 26.10	93.32 ± 16.98	7.17 ± 1.56	3.40 ± 1.05	0.12 ± 0.06	3.60 ± 1.22
		0.49	0.13	0.15	0.97	0.01	0.31
10	*C. grayanus*	126.90 ± 18.31	111.05 ± 22.06	5.02 ± 1.04	3.05 ± 1.32	0.16 ± 0.06	7.76 ± 1.01
		1.27	**1.08**	**1.24**	**1.41**	0.19	0.81
13	*C. grayanus*	81.93 ± 13.61	95.78 ± 16.31	5.97 ± 1.42	2.03 ± 0.41	0.24 ± 0.06	3.46 ± 0.53
		0.84	0.91	**1.51**	0.78	0.25	0.37
15	*C. grayanus*	66.43 ± 10.90	83.38 ± 13.14	3.96 ± 0.89	2.54 ± 0.84	0.20 ± 0.07	3.99 ± 0.97
		0.68	0.78	0.99	**1.09**	0.23	0.46
18	*M. kurilensis*	275.75 ± 44.15	429.67 ± 97.27	23.65 ± 4.80	6.00 ± 1.09	1.45 ± 0.17	3.33 ± 0.65
		1.10	0.62	0.49	**1.54**	0.08	0.26
20	*M. kurilensis*	335.05 ± 32.40	236.18 ± 36.85	36.36 ± 7.95	3.83 ± 0.73	0.61 ± 0.08	2.31 ± 0.43
		1.27	0.32	0.76	0.99	0.04	0.18
	C. grayanus	101.48 ± 18.01	93.58 ± 4.35	4.08 ± 0.37	2.66 ± 0.97	0.15 ± 0.05	6.21 ± 1.44
		1.05	0.80	0.91	**1.17**	0.16	0.70
				Фон (Шулькин, 2004)			
	M. kurilensis	149–290	648–852	42–58	4.1–4.6	9.0–19.5	8.0–15.4
	C. grayanus	107–114	83–123	4.0–4.9	1.3–3.1	0.45–1.2	5.2–10.9

осадках, где количество металлов в среде повышено за счет связи с органическим веществом детрита (Шулькин, 2004), и адаптацией моллюсков к таким условиям, т.е. снижением биологического контроля за их поступлением (Христофорова и др., 1993).

Пространственная изменчивость в накоплении тяжелых металлов моллюсками рассмотрена на основе распределения микроэлементов в мидии Грея. Максимальные концентрации практически всех анализируемых нами тяжелых металлов (за исключением кадмия) характерны для ст. 5 (район оз. Лебединое), значения коэффициентов геохимической аномальности для Fe, Zn, Cu, Ni и Pb здесь составили 3.28, 3.44, 3.84, 1.62 и 1.28 соответственно.

Высокими (относительно других станций и фона) концентрациями части определяемых элементов (Fe, Zn, Cu, Ni) отличаются мидии, собранные на ст. 10 (м. Пущина), для них значения коэффициентов геохимической аномальности равны 1.27, 1.08, 1.24 и 1.41 соответственно. «Незагрязненными металлами» станциями в пределах зал. Восток являются ст. 13 (м. Пашинникова) и ст. 15 (м. Елизарова) – для *C. grayanus* с данных станций не зафиксировано превышение фоновых значений концентраций практически ни по одному из определяемых элементов. Лишь для Ni (ст. 15) и Cu (ст. 13) коэффициенты геохимической аномальности равны 1.09 и 1.51 соответственно. Важно отметить, что ни для одной из проб не обнаружено загрязнение кадмием (значения K_c не превышают 1). Выявленные отличия имеют высокую статистическую значимость ($P \leq 0.01$) практически для всех тяжелых металлов, за исключением никеля, но даже для него при $P = 0.068$ отмечается тенденция к существованию закономерности.

Обсуждение результатов

Гидролого-гидрохимическая оценка

Суммируя результаты сезонных съемок, отметим характерное распределение гидрологических параметров в заливе Восток, соответствующее циклоническому круговороту (против часовой стрелки от восточного берега к центру и западу). Определяющее влияние на гидрологические параметры водной массы зал. Восток имеет летний муссон и связь с открытыми водами залива Петра Великого. Высокие концентрации хлорофилла *a*, выявленные при помощи зондирования, подтверждаются литературными данными по высоким уровням содержания соединений фосфора и регистрируемым в зал. Восток уровням $БПК_5$, сопровождающим массовое развитие растительных организмов (Григорьева и др., 2020; Христофорова и др., 2023). Более того, как считают авторы указанных публикаций, выявленный при анализе термохалинных характеристик циклонический круговорот весенне-летнего периода не оказывает влияния на распределение значений $БПК_5$, отражающих уровень легкоокисляемого растворенного в водах залива органического вещества. Естественный фон данного показателя формируется обилием биоты, выделяющей в водную среду продукты обмена веществ, а также постмортальную органику. Кроме того, заметную роль в распределении значений $БПК_5$ в прибрежных акваториях играют антропогенные источники поступления, приуроченные к гаваням, населенным пунктам, приустьевым зонам рек. Пиковые концентрации органических соединений фосфора, выявленные нами в зал. Восток, соответствуют весеннему и осеннему цветению фитопланктона и подтверждаются концентрацией хлорофилла *a*.

Оценку многолетней динамики изменения гидролого-гидрохимических показателей зал. Восток удалось провести для периода 2002–2021 гг. (Рис. 5). Данные по всем показателям за 2002 г. взяты из: Галышева и Христофорова, 2007; данные 2008 и 2009 гг. – из: Журавель и др., 2012; Христофорова и др., 2020; данные по $БПК_5$ и органическому фосфору 2021 г. – из: Христофорова и др., 2023.

Сезонный ход температур, определенный за 20-летний промежуток исследований, в целом был сходен в разные годы: температура морских вод в весенний период варьировала от 10.4 до 13.0 °C, к июлю воды прогревались в среднем до 17.9–20.0 °C, к осени остывали до 5.6–15.0 °C. Анализ динамики по сезонам выявил увеличение средних летних и осенних показателей температуры от 2002 г. к 2021 г. Этот тренд заметно проявился в осенние периоды последних пяти лет. Причиной более медленного охлаждения прибрежных вод является, по-видимому, ослабление осенне-зимнего (северного) муссона, которое проявилось в том числе продолжительными высокими температурами атмосферного воздуха на юге Приморья осенью. Кроме того, несмотря на то, что аномальные отклонения от базовой нормы температур, определенной Всемирной метеорологической организацией, имеют волнообразный характер, общий линейный тренд среднегодовых температур, вычисленный для прибрежных морских вод, омывающих Приморский край, за период с 1960-х по 2020-е гг. неуклонно нарастает (Гайко, 2017, 2023). Таким образом, потепле-

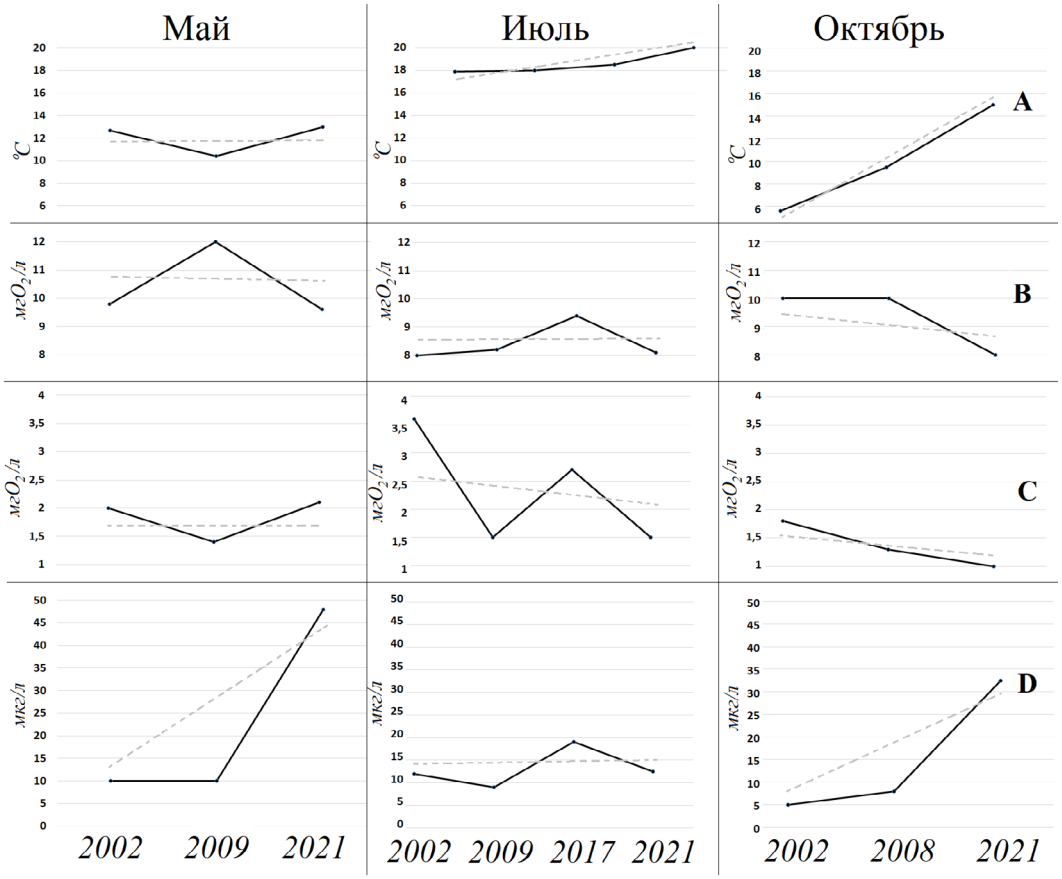

Рис. 5. Изменение средних значений и линейный тренд гидролого-гидрохимических показателей вод залива Восток в период 2002–2021 гг. **A** – температура, **B** – растворенный кислород, **C** – $БПК_5$, **D** – органический фосфор.

ние прибрежной зоны будет показывать экологические последствия своего влияния на характеристики морской среды и процессы, протекающие в морских экосистемах.

Средний для залива показатель растворенного кислорода за анализируемый 20-ти летний период не опускался ниже пороговой величины 6.0 $мгO_2$/л (Перечень..., 1999), что свидетельствует о благополучном состоянии вод залива Восток в целом. «Зеркальная» картина многолетней динамики температуры поверхностных вод и растворенного в них кислорода наиболее ярко проявляется для весеннего и осеннего периодов. В многолетнем аспекте средняя весенняя и осенняя температура воды в заливе от начала 2000-х к 2020-м гг. увеличилась, а содержание растворенного кислорода – уменьшилось, что связано с ухудшением условий растворимости кислорода в воде при повышении ее температуры. Однако этот показатель в период наших исследований по-прежнему соответствовал норме.

Долговременная весенняя и летняя динамика средней для залива величины $БПК_5$ хаотична, осенние же величины за последние 20 лет показали тренд на снижение. В летний сезон в зал. Восток в течение всего анализируемого периода выявлялись наибольшие значения $БПК_5$. Таким образом, даже усреднение данных анализа проб по заливу в целом в 2002 и 2017 гг. показали среднюю величину $БПК_5$, существенно превышающую санитарную норму в 2.1 $мгO_2$/л (Перечень..., 1999). Высокие значения данного показателя в летний сезон в разные годы объясняются двумя главными факторами – стабильно нарастающей рекреационной нагрузкой, что постоянно отмечается в исследовательских работах, посвященных экологическому состоянию зал. Восток (Барышева и др., 2019; Галышева и Христофорова, 2007; Журавель и др., 2012), и стихийным увеличением водного стока впадающих в залив рек, связанным с тайфунами.

Оба фактора, наряду с обитающими в заливе организмами, привносят в водную толщу залива легкоокисляемую органику, входящую в итоге в состав взвешенного и растворенного органического вещества (ВОВ и РОВ) и являющуюся питательным ресурсом для гетеротрофов, потребляющих кислород на окисление этого органического вещества. В годы, когда фактор рекреацион-

ного влияния усиливался в связи с большим речным стоком, в период тайфунов (2002, 2017 гг.) отмечены наиболее высокие средние уровни $БПК_5$ по заливу (Христофорова и др., 2020).

Средние значения содержания органических соединений фосфора в воде показали тренд на увеличение от 2000-х к 2020-м гг. в весенний и осенний сезоны, летняя динамика хаотична (Рис. 5). Высокий уровень органического фосфора в воде, вероятно, связан с весенним и осенним пиками цветения фитопланктона, регулярно наблюдающимися в морских акваториях умеренного пояса. Кроме того, возрастанию данного показателя в многолетнем аспекте способствует антропогенный фактор: хозяйственно-бытовые стоки поселков, органические стоки предприятий и сельскохозяйственные стоки в долинах впадающих в залив рек.

Микробиологические показатели

В целом высокое содержание гетеротрофных микроорганизмов (КГМ) в водах залива Восток, несомненно, связано с распространением хозяйственно-бытовых стоков от многочисленных источников, расположенных на его побережье. Особенно ярко антропогенное влияние проявляется в высоких значениях данного показателя даже в прохладный весенний период в наиболее антропогенно-нагруженной бухте Гайдамак на фоне общего низкого по заливу уровня. Наличие группы БГПК и конкретно кишечной палочки в водах залива доказывает постоянный источник фекального загрязнения.

При сопоставлении микробиологических данных 2020–2021 гг. с данными 2004, 2009 и 2017 гг. была оценена динамика изменения численности индикаторных групп микроорганизмов (Рис. 6). Анализ динамики КГМ показал, что с 2004 по 2017 гг. численность данной эколого-трофической группы увеличилась, а воды зал. Восток достигли уровня мезосапробных с отдельными участками полисапробных зон. К 2020–2021 гг. общий фон гетеротрофных микроорганизмов в заливе снизился вновь до показателей 2004 г., и воды в весенний период отбора проб характеризовались в целом как олигосапробные. Однако, не смотря на схожую картину многолетней динамики весенних и летних показателей КГМ, летом их уровень увеличивается на несколько порядков и переводит воды зал. Восток в класс мезосапробных.

В летний период наблюдается подобная картина и с показателем БГКП. Численность санитарно-показательных микроорганизмов в 2017 г. по сравнению с уровнем 2004 г. существенно возросла, а к 2020 г. значительно снизилась. Значения численности, полученные по данной эколого-трофической группе, характеризуют воды залива как небезопасные с санитарной точки зрения и свидетельствуют о биологическом, в том числе фекальном загрязнении акватории. С 2004 по 2021 гг. отмечается увеличение численности индикаторов нефтяного и фенольного загрязнения, а группа индикаторов дизельного топлива остается примерно на том же уровне.

Таким образом, численность микроорганизмов, характеризующих сапробность воды в многолетнем аспекте, существенно флуктуирует, однако во все годы санитарно-показательные микроорганизмы в водах зал. Восток стабильно превышают допустимые санитарные нормы. Для индикаторов специализированного пресса на залив (индикаторов углеводородного загрязнения) выявлено существенное увеличение численности, что связано со стабильно нарастающей рекреационной и техногенной нагрузкой. В целом аллохтонная микрофлора была зафиксирована на большинстве исследуемых станций, что в скором времени может привести к полному вытеснению автохтонной и, как следствие, замедлению процессов самоочищения среды и ее деградации.

Макробентос

В ходе сопоставления значений обилия, выявленных в 2020–2021 гг. для массовых видов макробентоса, с данными 1970-х и начала 2000-х гг., была оценена многолетняя динамика изменения обилия восьми видов (Табл. 6). В анализе использована средняя биомасса в местах локализации рассматриваемых видов (локации их скоплений).

Анализ динамики средней биомассы за 50-летний период наблюдений показал снижение обилия для мидии Грея (*C. grayanus*), невооруженного морского ежа (*M. nudus*), модиолуса курильского (*M. kurilensis*), а также вероятное снижение биомассы плоского морского ежа (*S. mirabilis*) (Табл. 6). Для амурской морской звезды (*A. amurensis*) и промежуточного шаровидного морского ежа (*S. intermedius*) зафиксировано увеличение средней биомассы за указанный период времени. В отношении гребешка приморского (*M. yessoensis*) и патирии гребешковой (*P. pectinifera*) положительный или отрицательный тренд в изменении биомассы не выявлен, так что изменения, скорее всего, носят флуктуационный характер.

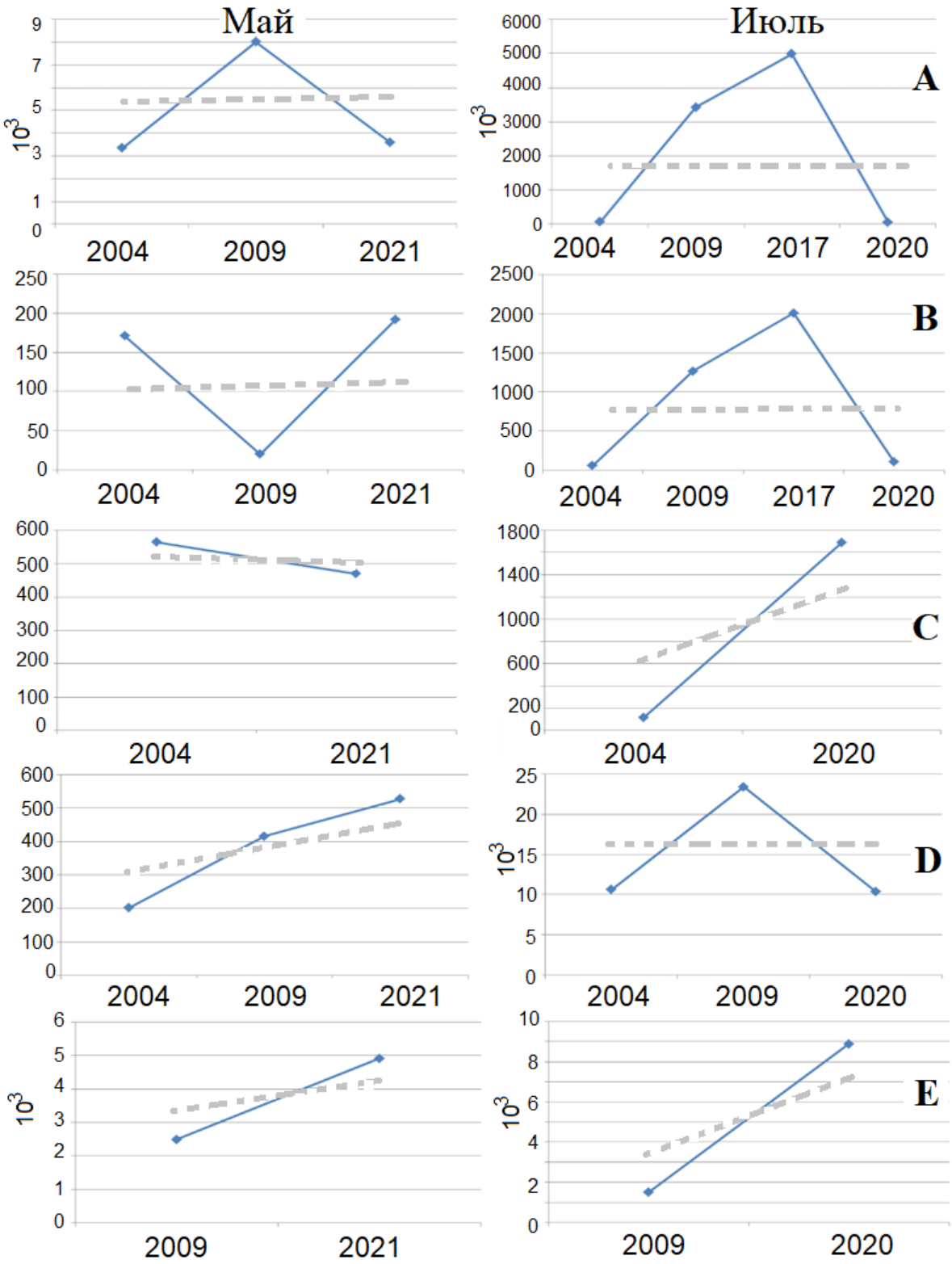

Рис. 6. Изменение среднего значения и линейный тренд численности эколого-трофических групп бактерий (КОЕ/мл) в поверхностных водах залива Восток в период 2004–2021 гг. **A** – общая численность КГМ, **B** – БГКП, **C** – индикаторы нефтяного загрязнения, **D** – индикаторы загрязнения среды дизельным топливом, **E** – индикаторы фенольного загрязнения.

Табл. 6. Многолетние изменения биомассы (г/м2) массовых видов макрозообентоса сублиторали залива Восток, среднее ± ошибка среднего.

Вид	Годы исследований и авторы данных		
	1970-е гг. (Погребов и Кашенко, 1976; Тарасов, 1978)	2000-е гг. (Галышева, 2004; Галышева и Яковлева, 2007; Галышева и Пустовалова, 2009)	2020-е гг. (наши данные)
C. grayanus	5846.6 ± 1831.1	1487.5 ± 74. 4	711.4 ± 642.3
M. kurilensis	1644.4 ± 513.7	1641.6 ± 516.6	207.9 ± 105.6
M. yessoensis	120.2 ± 80.5	286.7 ± 115.7	271.8 ± 240.2
M. nudus	336.5 ± 289.0	241.0 ± 71.3	161.2 ± 47.5
S. intermedius	77.3 ± 27.3	113.6 ± 65.2	129.2 ± 45.5
P. pectinifera	94.2 ± 39.5	35.8 ± 21.8	56.5 ± 38.6
A. amurensis	3.3 ± 3.3	46.3 ± 30.5	128.2 ± 91.1
S. mirabilis	–	352.7 ± 115.2	278.5 ± 52.6

Проверка достоверности различий между средними значениями биомассы доминирующих видов в разные периоды по статистическому критерию Стьюдента (t-критерий) показала достоверные изменения обилия за 50 лет с 1970-х по 2020-е гг. лишь для *C. grayanus* и *M. kurilensis*. При этом для мидии Грея статистически достоверное снижение выявляется в первую половину исследуемого периода (с 1970-х по 2000-е гг.), а для модиолуса – во вторую половину период с 2000-х по 2020-е гг. (Табл. 7). Для остальных видов средние значения биомассы по рассматриваемым временным этапам достоверно не отличаются, а следовательно, можно предположить, что колебания обилия являются флуктуациями, укладывающимися в естественную норму.

Предположительным фактором, влияющим на сокращение обилия мидии Грея и модиолуса курильского (ценных промысловых видов) может быть стремительно нарастающий рекреационный пресс на зал. Восток, уровень которого за 50-летний период оценки состояния экосистемы залива значительно возрос, а также, вероятно, незаконный промысел. Сохранение рекреационного пресса на высоком уровне и его дальнейшее наращивание при слабом контроле браконьерского воздействия на зал. Восток ставит под удар благополучие популяций и других ценных видов донных беспозвоночных, в первую очередь гребешка приморского и морских ежей.

Тяжелые металлы в двустворчатых моллюсках и риск для здоровья человека

Для выявления опасности загрязнения морской среды и ее обитателей тяжелыми металлами важно анализировать межгодовую изменчивость в накоплении микроэлементов гидробионтами.

Необходимо отметить, что уровень цинка и никеля в тканях модиолуса за последние 20 лет значительно возрос, концентрации меди и кадмия остались на близком уровне, концентрация железа и свинца находятся на уровне ниже 2002 г. (Табл. 8) Загрязнение среды и гидробионтов залива тяжелыми металлами отмечается и в работах других исследователей (Мазур и др., 2022; Чернова и Коженкова, 2020).

Добываемая мидия (любого вида) – ценный биологический ресурс и деликатес. Мясо мидий активно используется в кулинарии по всему миру благодаря своей пищевой ценности и лечебно-профилактическим свойствам (Христофорова и др., 1993). Обитание моллюсков в условиях нарастающего антропогенного пресса и накопления токсичных веществ антропогенного и техногенного происхождения может сформировать риск для экосистемы и здоровья человека. Поэтому определение соответствия качества мяса мидий существующим нормативам и оценка угрозы

Табл. 7. Расчет значений критерий Стьюдента и проверка достоверности отличий средних многолетних показателей биомассы доминирующих в сублиторали залива Восток видов. Жирным шрифтом выделены статистически значимые отличия.

Вид	1970–2000 гг. ($f = 399$, $t_{критич} = 1.972$, $\alpha = 0.05$)	2000–2020 гг. ($f = 325$, $t_{критич} = 1,972$, $\alpha = 0.05$)	1970–2020 гг. ($f = 186$, $t_{критич} = 1.972$, $\alpha = 0.05$)
C. grayanus	**2.23**	0.83	**2.65**
M. kurilensis	0.00	**2.72**	**2.74**
M. yessoensis	1.19	0.06	0.60
M. nudus	0.32	0.94	0.55
S. intermedius	0.36	0.20	0.58
P. pectinifera	1.29	0.47	0.68
A. amurensis	1.40	0.85	1.37
S. mirabilis	–	0.59	–

Табл. 8. Средние концентрации тяжелых металлов (мкг/г сух. массы) в модиолусах залива Восток в 2002 г. (Подгурская и Кавун, 2005) и 2020 г. (наши данные), среднее ± ошибка среднего.

Год отбора	Fe	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd
2002	691 ± 416	85 ± 22	30 ± 8	1.7 ± 0.99	4.59 ± 1.64	2.1 ± 0.7
2020	274 ± 111	243 ± 139	26 ± 15	4.1 ± 1.30	0.51 ± 0.32	2.7 ± 0.9

здоровью при его потреблении является одной из важных задач. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011)[12] нормирует допустимые уровни содержания некоторых токсичных ТМ, приводя величины мг/кг сырой массы.

Пересчет полученных нами значений на сырую массу и сравнение полученных результатов с установленными допустимыми уровнями показало, что содержание Pb в *C. grayanus* ни на одной из станций сбора в зал. Восток не превышает установленных предельных значений (Табл. 9).

Для Cd выявлено превышение ДУ на 3 из 6 станций, где обитает мидия Грея. Суммарный риск здоровью при непрерывном употреблении в пищу мидий из зал. Восток в течение летнего сезона, оцениваемый с применением калькулятора ILCR, прогнозирует существование опасности возникновения онкологических заболеваний. Значение данного коэффициента с учетом фактических концентраций Cd и Pb в мидиях составило 10.17×10^{-5} (допустимая величина, являющаяся критерием безопасности морского продукта, составляет 10^{-5}). Как известно из литературы (Фазлыева и др., 2022), кадмий является признанным канцерогеном. Таким образом, употребление в пищу мидий из зал. Восток уже не безопасно и может способствовать нарастанию пожизненного канцерогенного риска для человека.

Заключение

Современное состояние среды залива Восток показывает выраженные сезонные изменения ключевых гидрохимических показателей и летнее нарушение санитарных норм в отношении характеристик морских вод, связанных с поступлением органического вещества. Анализ температурных изменений отражает многолетний тренд увеличения весенних и осенних температур, что свидетельствует об увеличении скорости прогревания морских вод и уменьшении скорости их охлаждения в современный период. Данный факт естественных климатических изменений, несомненно,

[12] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Табл. 9. Концентрации Pb и Cd в *C. grayanus* залива Восток (мг/кг сырой массы), среднее ± ошибка среднего. Жирным шрифтом обозначены значения, превышающие ДУ

Номер станции	Pb	Cd
1	0.05 ± 0.02	1.21 ± 0.33
5	0.56 ± 0.06	**2.29 ± 0.13**
10	0.07 ± 0.03	**3.41 ± 0.45**
13	0.11 ± 0.03	1.52 ± 0.23
15	0.09 ± 0.03	1.75 ± 0.43
20	0.06 ± 0.02	**2.72 ± 0.63**
Допустимый уровень (ДУ)	10.00	2.00

является причиной, способствующей ухудшению кислородных показателей вод зал. Восток, стимулирующей перестройку продукционно-деструкционных процессов, отражающихся на показателях содержания соединений биогенных элементов, и формирующей фактор экологического риска.

Микробная индикация подтверждает высокий уровень органического вещества в водной среде, проявляющийся в показателях численности КГМ. Антропогенное органическое загрязнение фиксируется высокими уровнями БГПК и наличием энтеробактерий (в том числе кишечной палочки) в отдельных районах залива, а также высокой численностью бактерий-деструкторов нефти, дизельного топлива и фенолов. Уровень содержания тяжелых металлов в водной среде зал. Восток на основании анализа численности металл-резистентных микроорганизмов также характеризуется как высокий и связан, прежде всего, с активной техногенной деятельностью в бух. Гайдамак.

Макробентос как компонент биоты экосистемы залива на современном этапе показывает признаки стабильности. Однако в отношении некоторых ценных промысловых видов (мидии Грея и модиолуса курильского) выявлено достоверное многолетнее снижение их биомассы, причина которого может быть связана с многократно возросшим за период от 1970-х до 2020-х гг. рекреационным прессом и браконьерским промыслом этих ценных биоресурсов.

Вместе с тем оценка накопления обитающими в заливе мидиями тяжелых металлов показала превышение допустимых токсикологических норм в отношении кадмия. Расчет риска здоровью человека по совокупному содержанию кадмия и свинца в мидиях показал существующую опасность возникновения онкологических заболеваний при непрерывном потреблении мягких тканей (мяса) мидий в течение рекреационного сезона или более длительного времени.

Резюмируя, можно сделать заключение о существующем процессе трансформации экосистемы залива Восток в сторону ухудшения состояния его среды и биоты, что требует постоянного экологического мониторинга и управленческих решений в области природопользования.

Список литературы

Барышева, В.С., Чернова, Е.Н., Патрушева, О.В., 2019. Загрязнение морской среды залива Восток Японского моря органическими веществами (2016–2018 гг.). *Вестник ДВО РАН* **2**, 87–94.

Безвербная, И.П., 2002. Отклик микроорганизмов прибрежных акваторий Приморья на присутствие в среде тяжелых металлов. *Диссертация на соискание ученой степени кандидат биологических наук*. Владивосток, Россия, 177 с.

Вышкварцев, Д.И., 2010. О недопустимости строительства нефтеперерабатывающего завода в заливе Восток (Японское море). *Вестник ДВО РАН* **1**, 85–95.

Гайко, Л.А., 2017. Гидрометеорологический режим залива Восток (Японское море). ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия, 229 с.

Гайко, Л.А., 2023. Особенности температурного режима прибрежной зоны приморского края на рубеже веков. В: Цыганков, В.Ю., Ярусова, С.Б. (ред.), *Экологические исследования на Дальнем*

Востоке России: история и современность. Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия, 73–82.

Галышева, Ю.А., 2004. Сообщества макробентоса сублиторали залива Восток Японского моря в условиях антропогенного воздействия. *Биология моря* **30** (6), 423–431.

Галышева, Ю.А., Бойченко, Т.В., Чиченко, В.А., 2022. Воздействие на залив Восток Японского моря: обзор истории и современных экологических проблем. *Материалы IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов»*. Москва, Россия, 158–163.

Галышева, Ю.А., Пустовалова, Н.П., 2009. Количественное распределение морских звезд в некоторых акваториях Дальнего Востока. *Океанология* **49** (6), 864–874.

Галышева, Ю.А., Христофорова, Н.К., 2007. Среда и макробентос залива Восток Японского моря в условиях рекреационного воздействия. *Известия ТИНРО* **149**, 270–309.

Галышева, Ю.А., Яковлева, А.Н., 2007. Оценка количественных показателей некоторых промысловых беспозвоночных в основных местах локализации в заливах восток и находка. *Известия ТИНРО* **149**, 191–204.

Григорьева, Н.И., Журавель, Е.В., Мазур А.А., 2020. Сезонные изменения качества воды в заливе Восток (залив Петра Великого, Японское море). *Водные ресурсы* **47** (2), 162–169.

Димитриева, Г.Ю., Безвербная, И.П., 2002. Микробная индикация – эффективный инструмент для мониторинга загрязнения прибрежных морских вод тяжелыми металлами. *Океанология* **42** (3), 408–415.

Журавель, Е.В., Христофорова, Н.К., Дроздовская, О.А., Токарчук, Т.Н., 2012. Оценка состояния вод залива Восток (залив Петра Великого, Японское море) по гидрохимическим и микробиологическим показателям. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук* **14** (9), 2325–2329.

Ильинский, В.В., Шадрина, Н.А., Комарова, Т.И., 2010. Гетеротрофные бактерии городских родников: Московский заповедник «Крылатские холмы». *Водные ресурсы* **37** (4), 494–501.

Кашенко, В.П., 1976. Биологическая станция «Восток». В: Касьянов, В.Л. (ред.), *Биологические исследования залива Восток*. ДВНЦ АН, Владивосток, СССР, 7–11.

Лазарюк, А.Ю., Кошелева, А.В., 2014. Коррекция данных глубоководных гидрологических наблюдений CTD-зондов (CTD-data_Processing). *Бюллетень Программы для ЭВМ* **96** (10). Свидетельство № 2014619779 о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Мазур, М.А., Журавель, Е.В., Ковековдова, Л.Т. и др., 2022. Мониторинг загрязнения донных отложений залива Восток (залив Петра Великого, Японское море) и оценка их потенциальной токсичности. *Тезисы докладов II Международной конференции «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность»*. Севастополь, Россия, 233–234.

Наливайко, Н.Г., 2006. Микробиология воды. Издательство Томского политехнического университета, Томск, Россия, 139 с.

Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействий (ОБУВ) вредных веществ для воды, водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, 1999. ВНИРО, Москва, Россия, 304 с.

Погребов, В.Б., Кашенко, В.П., 1976. В: Касьянов, В.Л. (ред.), *Биологические исследования залива Восток*. ДВНЦ АН, Владивосток, СССР, 63–83.

Подгурская, О.В., Кавун, В.Я., 2005. Сравнительный анализ субклеточного распределения тяжелых металлов в органах двустворчатых моллюсков *Crenomytilus grayanus* и *Modiolus modiolus* в условиях хронического загрязнения. *Биология моря* **31** (6), 435–442.

Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. Цыбань, А.В. (ред.). Гидрометеоиздат, Ленинград, СССР, 193 с.

Список видов свободноживущих беспозвоночных дальневосточных морей России. В: Пугачев, О.Н. (ред.), *Исследования фауны морей. Т. 75, вып. 83.* Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия, 256 с.

Тарасов, В.Г., 1978. Распределение и трофическое районирование донных сообществ мягких грунтов залива Восток Японского моря. *Биология моря* **1**, 16–22.

Тюрин, А.Н., 1996. Морской заказник «Залив Восток». *Биология моря* **22** (1), 58–63.

Фазлыева, А.С., Даукаев, Р.А., Каримов, Д.О., 2022. Влияние кадмия на здоровье населения и способы профилактики его токсических эффектов. *Медицина труда и экология человека* **1** (29), 220–235.

Христофорова, Н.К., Бойченко, Т.В., Кобзарь, А.Д., 2020. Гидрохимическая и микробиологическая оценка современного состояния вод залива Восток. *Вестник ДВО РАН* **2**, 64–72.

Христофорова, Н.К., Шулькин, В.М., Кавун, В.Я., Чернова, Е.Н., 1993. Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. Дальнаука, Владивосток, Россия, 296 с.

Христофорова, Н.К., Лазарюк, А.Ю., Журавель, Е.В., Бойченко, Т.В., Емельянов, А.А., 2023. Залив восток: межсезонные изменения гидролого-гидрохимических и микробиологических показателей. *Известия ТИНРО* **203** (1), 906–924.

Чернова, Е.Н., Коженкова, С.И., 2020. Пространственная оценка загрязнения залива Петра Великого (Японское море) металлами с помощью бурой водоросли *Sargassum miyabei*. *Океанология* **60** (1), 49–56.

Чиченко, В.А., 2022. Обилие и распределение массовых видов макробентоса залива Восток по данным съемки июля 2020 г. *Материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по естественным наукам*. Владивосток, Россия, 519–522.

Шулькин, В.М., 2004. Металлы в экосистемах морских мелководий. Дальнаука, Владивосток, Россия, 279 с.

Yoshimizu M., Kimura T., 1976. Study on the Intestinal Microflora of Salmonids. *Fishing Pathology* **10** (2), 243–259.

References

Barysheva, V.S., Chernova, E.N., Patrusheva, O.V., 2019. Zagriaznenie morskoi sredy zaliva Vostok laponskogo moria organicheskimi veshchestvami (2016–2018) [Pollution of the marine environment of the East Sea of Japan Bay by organic substances (2016-2018)]. *Vestnik DVO RAN [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]* **2**, 87-94. (In Russian).

Bezverbnaya, I.P., 2002. Otklik mikroorganizmov pribrezhnykh akvatorii Primor'ia na prisutstvie v srede tiazhelykh metallov [The response of microorganisms in the coastal waters of Primorye to the presence of heavy metals in the environment]. *PhD in Biology thesis.* Vladivostok, Russia, 177 p. (In Russian).

Chernova, E.N., Kozhenkova, S.I., 2020. Prostranstvennaia otsenka zagriazneniia zaliva Petra Velikogo (Iaponskoe more) metallami s pomoshch'iu buroi vodorosli Sargassum miyabei [Spatial assessment of pollution of Peter the Great Bay (Sea of Japan) by metals using brown algae Sargassum miyabei]. *Okeanologiia [Russian Journal of Oceanology]* **60** (1), 49–56. (In Russian).

Chichenko, V.A., 2022. Obilie i raspredelenie massovykh vidov makrobentosa zaliva Vostok po dannym s'emki iiulia 2020 g [Abundance and distribution of mass species of macrobenthos of the Vostok Bay according to July 2020 survey data]. *Materialy Regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh po estestvennym naukam [Materials of the Regional Scientific and Practical Conference of Students, postgraduates and Young Scientists in Natural Sciences].* Vladivostok, Russia, 519–522. (In Russian).

Fazlyeva, A.S., Daukaev, R.A., Karimov, D.O., 2022. Vliianie kadmiia na zdorov'e naseleniia i sposoby profilaktiki ego toksicheskikh effektov [The effect of cadmium on public health and ways to prevent its toxic effects]. *Meditsina truda i ekologiia cheloveka [Labor Medicine and Human Ecology]* **1** (29), 220–235. (In Russian).

Gaiko, L.A., 2017. Gidrometeorologicheskii rezhim zaliva Vostok (Iaponskoe more) [Hydrometeorological regime of Vostok Bay (Sea of Japan)]. Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia, 229 p. (In Russian).

Gaiko, L.A., 2023. Osobennosti temperaturnogo rezhima pribrezhnoi zony primorskogo kraia na rubezhe vekov [Features of the temperature regime of the coastal zone of Primorsky Krai at the turn of the century]. In: Tsygankov, V.Yu., Yarusova, S.B. (red.), *Ekologicheskie issledovaniia na Dal'nem Vostoke Rossii: istoriia i sovremennost' [Environmental Research in the Russian Far East: history and Modernity]*. Vladivostok State University, Vladivostok, Russia, 73-82. (In Russian).

Galysheva, Yu.A., 2004. Soobshchestva makrobentosa sublitorali zaliva Vostok Iaponskogo moria v usloviiakh antropogennogo vozdeistviia [Macrobenthos communities of the sublittoral Bay of the East Sea of Japan under anthropogenic impact]. *Biologiia moria [Russian Journal of Marine Biology]* **30** (6), 423-431. (In Russian).

Galysheva, Yu.A., Boichenko, T.V., Chichenko, V.A., 2022. Vozdeistvie na zaliv Vostok Iaponskogo moria: obzor istorii i sovremennykh ekologicheskikh problem [Impact on the East Bay of the Sea of Japan: an overview of the history and current environmental issues]. IX Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskaoi konferentsii "Aktual'nye problemy nauki i obrazovaniia v usloviiakh sovremennykh vyzovov" *[Materials of the IX International Scientific and Practical Conference "Actual problems of science and education in the context of modern challenges"].* Moscow, Russia, 158-163. (In Russian).

Galysheva, Yu.A., Pustovalova N.P., 2009. Kolichestvennoe raspredelenie morskikh zvezd v nekotorykh akvatoriiakh Dal'nego Vostoka [Quantitative distribution of starfish in some waters of the Far East]. *Okeanologiia [Russian Journal of Oceanology]* **49** (6), 864-874. (In Russian).

Galysheva, Yu.A., Khristoforova, N.K., 2007. Sreda i makrobentos zaliva Vostok Iaponskogo moria v usloviiakh rekreatsionnogo vozdeistviia [Environment and macrobenthos of the East Sea of Japan Bay under recreational conditions]. *Izvestiia TINRO [News of the Pacific Fisheries Research Center]* **149**, 270-309. (In Russian).

Galysheva, Yu.A., Yakovleva, A.N., 2007. Otsenka kolichestvennykh pokazatelei nekotorykh promyslovykh bespozvonochnykh v osnovnykh mestakh lokalizatsii v zalivakh vostok i nakhodka

[Assessment of quantitative indicators of some commercial invertebrates in the main localities in the bays of Vostok and Nakhodka]. *Izvestiia TINRO [News of the Pacific Fisheries Research Center]* **149**, 191-204. (In Russian).

Grigor'eva, N.I., Zhuravel', E.V., Mazur, A.A., 2020. Sezonnye izmeneniia kachestva vody v zalive Vostok (zaliv Petra Velikogo, Iaponskoe more) [Seasonal changes in water quality in Vostok Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan)]. *Vodnye resursy [Water Resources]* **47** (2), 162–169. (In Russian).

Dimitrieva, G.Iu., Bezverbnaya, I.P., 2002. Mikrobnaia indikatsiia – effektivnyi instrument dlia monitoringa zagriazneniia pribrezhnykh morskikh vod tiazhelymi metallami [Microbial indication is an effective tool for monitoring pollution of coastal marine waters by heavy metals]. *Okeanologiia [Russian Journal of Oceanology]* **42** (3), 408–415. (In Russian).

Il'inskii, V.V., Shadrina, N.A., Komarova, T.I., 2010. Geterotrofnye bakterii gorodskikh rodnikov: Moskovskii zapovednik «Krylatskie kholmy» [Heterotrophic bacteria of urbansprings: Moscow Krylatsky Hills Nature Reserve]. *Vodnye resursy [Water Resources]* **37** (4), 494–501. (In Russian).

Kashenko, V.P., 1976. Biologicheskaia stantsiia «Vostok» [The Vostok Biological Station]. In: Kas'yanov, V.L. (ed.), *Biologicheskie issledovaniia zaliva Vostok [Biological studies of the Vostok Bay].* Far Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences, Vladivostok, USSR, 7–11. (In Russian).

Khristoforova, N.K., Boichenko, T.V., Kobzar', A.D., 2020. Gidrokhimicheskaia i mikrobiologicheskaia otsenka sovremennogo sostoianiia vod zaliva Vostok [Hydrochemical and microbiological assessment of the current state of the waters of the Vostok Bay]. *Vestnik DVO RAN [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]* **2**, 64–72. (In Russian).

Khristoforova, N.K., Shul'kin, V.M., Kavun, V.Ya., Chernova, E.N., 1993. Tiazhelye metally v promyslovykh i kul'tiviruemykh molliuskakh zaliva Petra Velikogo [Heavy metals in commercial and cultivated mollusks of Peter the Great Bay]. Dal'nauka, Vladivostok, Russia, 296 p. (In Russian).

Khristoforova. N.K., Lazaryuk, A.Yu., Zhuravel', E.V., Boichenko, T.V., Emel'yanov, A.A., 2023. Zaliv vostok: mezhsezonnye izmeneniia gidrologo-gidrokhimicheskikh i mikrobiologicheskikh pokazatelei [Vostok Bay: inter-seasonal changes in hydrological, hydrochemical and microbiological parameters]. *Izvestiia TINRO [News of the Pacific Fisheries Research Center]* **203** (1), 906–924. (In Russian).

Lazariuk, A.Yu., Kosheleva, A.V., 2014. Korrektsiia dannykh glubokovodnykh gidrologicheskikh nabliudenii CTD-zondov (CTD-data_Processing) [Correction of data from deep-sea hydrological observations of CTD probes (CTD-data_Processing)]. *Biulleten' Programmy dlia EVM [Bulletin of the Computer Program]* **96** (10). Svidetel'stvo № 2014619779 o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM [Certificate No. 2014619779 on state registration of the EVM program]. (In Russian).

Mazur, M.A., Zhuravel', E.V., Kovekovdova, L.T. et al., 2022. Monitoring zagriazneniia donnykh otlozhenii zaliva Vostok (zaliv Petra Velikogo, Iaponskoe more) i otsenka ikh potentsial'noi toksichnosti [Monitoring of bottom sediment pollution in Vostok Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) and assessment of their potential toxicity]. *Tezisy dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Izuchenie vodnykh i nazemnykh ekosistem: istoriia i sovremennost'» [Abstracts of the II International Conference "Study of Aquatic and Terrestrial ecosystems: history and modernity"].* Sevastopol', Russia, 233–234. (In Russian).

Nalivaiko, N.G., 2006. Mikrobiologiia vody [Microbiology of water]. Publishing House of the Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, 139 p. (In Russian).

Perechen' rybokhoziaistvennykh normativov: predel'no dopustimykh kontsentratsii (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovnei vozdeistvii (OBUV) vrednykh veshchestv dlia vody, vodnykh ob"ektov, imeiushchikh rybokhoziaistvennoe znachenie [List of fisheries standards: maximum

permissible concentrations (MPC) and approximately safe exposure levels of harmful substances for water, water bodies of fisheries importance], 1999. All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia, 304 p. (In Russian).

Pogrebov, V.B., Kashenko, V.P., 1976. [Communities of rocky soils of the Vostok Bay]. In: Kas'yanov, V.L. (ed.), *Biologicheskie issledovaniia zaliva Vostok [Biological research of the Vostok Bay].* Far Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences, Vladivostok, USSR, 63–83. (In Russian).

Podgurskaia, O.V., Kavun, V.Ia., 2005. Sravnitel'nyi analiz subkletochnogo raspredeleniia tiazhelykh metallov v organakh dvustvorchatykh molliuskov *Crenomytilus grayanus* i *Modiolus modiolus* v usloviiakh khronicheskogo zagriazneniia [Comparative analysis of subcellular distribution of heavy metals in the organs of bivalve mollusks *Crenomytilus grayanus* and *Modiolus modiolus* under conditions of chronic pollution]. *Biologiia moria [Russian Journal of Marine Biology]* **31** (6), 435–442. (In Russian).

Rukovodstvo po metodam biologicheskogo analiza morskoi vody i donnykh otlozhenii [Guidelines on methods of biological analysis of seawater and bottom sediments]. Tsyban', A.V. (ed.). Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR, 193 p. (In Russian).

Spisok vidov svobodnozhivushchikh bespozvonochnykh dal'nevostochnykh morei Rossii [List of free-living invertebrate species of the Russian Far Eastern seas]. In: Pugachev, O.N. (ed.), *Issledovaniia fauny morei. T. 75, vyp. 38 [Marine Fauna Research, Vol. 75, issue 38].* Zoological Institute oft he Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia, 256 p. (In Russian).

Shul'kin, V.M., 2004. Metally v ekosistemakh morskikh melkovodii [Metals in marine shallow water ecosystems]. Dal'nauka, Vladivostok, Russia, 279 p. (In Russian).

Tarasov, V.G., 1978. Raspredelenie i troficheskoe raionirovanie donnykh soobshchestv miagkikh gruntov zaliva Vostok Iaponskogo moria [Distribution and trophic zoning of benthic communities of soft soils of the East Bay of the Sea of Japan]. *Biologiia moria [Russian Journal of Marine Biology]* **1**, 16–22. (In Russian).

Tiurin, A.N., 1996. Morskoi zakaznik «Zaliv Vostok» [The Gulf of Vostok Marine Reserve]. *Biologiia moria [Russian Journal of Marine Biology]* **22** (1), 58–63. (In Russian).

Vyshkvartsev, D.I., 2010. O nedopustimosti stroitel'stva neftepererabatyvaiushchego zavoda v zalive Vostok (Iaponskoe more) [On the inadmissibility of the construction of an oil refinery in the Gulf of Vostok (Sea of Japan)]. *Vestnik DVO RAN [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]* **1**, 85-95. (In Russian).

Yoshimizu M., Kimura T., 1976. Study on the Intestinal Microflora of Salmonids. *Fishing Pathology* **10** (2), 243–259.

Zhuravel', E.V., Khristoforova, N.K., Drozdovskaya, O.A., Tokarchuk, T.N., 2012. Otsenka sostoianiia vod zaliva Vostok (zaliv Petra Velikogo, Iaponskoe more) po gidrokhimicheskim i mikrobiologicheskim pokazateliam [Assessment of the state of the waters of Vostok Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) according to hydrochemical and microbiological indicators]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]* **14** (9), 2325–2329. (In Russian).