

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES**

Научная статья

УДК 551.464(265.54)**DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-906-924****EDN: MLAGTH****ЗАЛИВ ВОСТОК: МЕЖСЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ****Н.К. Христофорова^{1,2}, А.Ю. Лазарюк^{3,4}, Е.В. Журавель¹,
Т.В. Бойченко¹, А.А. Емельянов⁴**¹ Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10;² Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7;³ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43;⁴ Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17

Аннотация. На основе данных STD-профилирования, гидрохимического анализа поверхностных и придонных проб и микробной индикации поверхностных вод проанализировано современное состояние зал. Восток в осенний, весенний и летний сезоны года. Показано влияние муссонности климата. Осенью при ослабевшем речном стоке и северных ветрах наблюдаются сгонные процессы, вынос вод из кутовой части с одновременным компенсирующим подтоком вдоль восточной периферии, выявляющимся по повышенным значениям солености, растворенного кислорода и низким величинам БПК₅ (< 1 мг/л). Весной и летом при доминировании юго-восточного ветра, увеличении количества осадков и речного стока наблюдается резкое различие термохалинных показателей в пределах зал. Восток, вызванное также поступлением вдоль его восточного берега свежих вод из открытой части зал. Петра Великого. Интенсивное развитие процессов жизнедеятельности выражается в максимальных значениях БПК₅ (до 2 мг/л и более) и концентрации органического фосфора (до 50 мкг/л и более). Из-за запираания речного стока ветровым нагоном в июле в северо-западном секторе залива зафиксированы максимальные количества гетеротрофов (до 10⁵ КОЕ/мл). Бактерии группы кишечной палочки в летних пробах выявлялись на всех прибрежных станциях с концентрациями

* Христофорова Надежда Константиновна, доктор биологических наук, профессор, more301040@gmail.com, ORCID 0000-0002-9559-8660; Лазарюк Александр Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, lazaryuk@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-4231-9653; Журавель Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, zhuravel.ev@dvfu.ru, ORCID 0009-0000-9395-330X; Бойченко Татьяна Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент, boychenko.tv@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-1338-9479; Емельянов Александр Андреевич, научный сотрудник, 990507@mail.ru, ORCID 0000-0002-1018-5761.

© Христофорова Н.К., Лазарюк А.Ю., Журавель Е.В., Бойченко Т.В., Емельянов А.А., 2023

от 10 до 10^2 КОЕ/мл и не обнаруживались в центре и на выходе из залива, подтверждая наличие антропогенного пресса на периферию зал. Восток. Поступление в его воды продуктов сжигания углеводородного топлива сопровождалось ростом численности никель-устойчивых бактерий (до 10^3 КОЕ/мл) и повсеместным распространением нефтеокисляющих и устойчивых к дизельному топливу микроорганизмов. Их наибольшие количества (до $2,8 \cdot 10^4$ КОЕ/мл летом) выявлялись на северном мелководье. Высокие концентрации микроорганизмов разных эколого-трофических групп на севере зал. Восток обусловлены впадением рек, близостью автотрассы, а также расположенными рядом поселениями и удобными для отдыхающих песчаными побережьями.

Ключевые слова: СТД-данные, гидрохимический анализ, микробная индикация, сезонные изменения, залив Восток, Японское море

Для цитирования: Христофорова Н.К., Лазарюк А.Ю., Журавель Е.В., Бойченко Т.В., Емельянов А.А. Залив Восток: межсезонные изменения гидролого-гидрохимических и микробиологических показателей // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 4. — С. 906–924. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-906-924. EDN: MLAGTH.

Original article

Vostok Bay: interseasonal changes in hydrological, hydrochemical and microbiological properties

Nadezhda K. Khristoforova^{1,2*}, Alexander Yu. Lazaryuk^{3,4}, Elena V. Zhuravel^{1***}, Tatiana V. Boychenko^{1****}, Alexander A. Emelyanov^{4*****}**

¹ Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Vladivostok, 690922, Russia

² Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Ac. Sci.,
7, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia

³ Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Ac. Sci.,
43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia

⁴ Institute of Marine Biology, National Scientific Centre of Marine Biology,
Far Eastern Branch, Russian Ac. Sci.,
17, Palchevsky Str., Vladivostok, 690041, Russia

* D.Biol, professor, more301040@gmail.com, ORCID 0000-0002-9559-8660

** Ph.D., senior researcher, lazaryuk@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-4231-9653

*** Ph.D., assistant professor, zhuravel.ev@dvfu.ru, ORCID 0009-0000-9395-330X

**** Ph.D., assistant professor, boychenko.tv@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-1338-9479

***** researcher, 990507@mail.ru, ORCID 0000-0002-1018-5761

Abstract. Current ecological state of the Vostok Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea) in spring, summer, and autumn seasons is described on the data of CTD profiling, chemical analysis of the water sampled at the sea surface and bottom, and microbial indication of the surface water. Strong seasonal variations are revealed for all examined parameters, driven by monsoon cycle. The winter monsoon in autumn with northwestern wind predominance causes the river runoff weakening and off-shore surge with the water removal from the top of the bay and the compensating inflow along the eastern coast distinguished by heightened values of salinity and dissolved oxygen and low values of biochemical oxygen demand ($BOD_5 < 1$ mg/L). The summer monsoon in spring and summer with southeastern winds increases the river runoff and simultaneously the inflow of fresh water from the open sea, so causes a sharp difference in the water properties between parts of the Vostok Bay. Bioproductivity increases in these seasons that is reflected in increasing of BOD_5 (up to 2 mg/L and sometimes more) and organic phosphorus concentration (up to 50 μ g/L and more). In July, when the river runoff is blocked in the northwestern sector of the bay by on-shore surge, the maximum number of bacteria is recorded there (up to 10^5 CFU/mL), including *Escherichia coli* group at all coastal stations in concentrations of 10–100 CFU/mL, which are not observed in the central and open parts of the bay. Among the groups of metal-resistant microorganisms, relative abundance of nickel-resistant bacteria is noted (up to 10^3 CFU/mL) that is a sign of hydrocarbon fuels combustion. The hydrocarbon pollution is confirmed by ubiquitous distribution of oil-oxidizing and diesel-resistant microorganisms detected mostly (up to $2.8 \cdot 10^4$ CFU/mL in summer) in the northern part of the bay. Generally, the internal northern part of the bay is distinguished by high abundance of microorganisms belonged to different ecological and trophic groups, because of mutual impacts of the rivers, the coastal highway, nearby settlements, and sandy beaches occupied by vacationers in summer.

Keywords: CTD data, chemical water properties, microbial indication, seasonal variability, Vostok Bay, Japan Sea

For citation: Khristoforova N.K., Lazaryuk A.Yu., Zhuravel E.V., Boychenko T.V., Emelyanov A.A. Vostok Bay: interseasonal changes in hydrological, hydrochemical and microbiological properties, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 4, pp. 906–924. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-906-924. EDN: MLAGTH.

Введение

Залив Восток (рис. 1), входящий в состав зал. Петра Великого Японского моря, считается наиболее чистой акваторией, поскольку на его побережье отсутствуют крупные поселения, промышленные и сельскохозяйственные предприятия [Тюрин, 1996; Христофорова и др., 2004]. Однако доступность залива, чистота пляжей и прибрежных вод привлекают в летний период значительное количество отдыхающих, которые создают рекреационный пресс и влияют на его среду [Христофорова и др., 2002; Галышева, Христофорова, 2007; Галышева, 2010]. Особенно высока их концентрация в бухтах Средняя, Литовка, а также на юго-восточном побережье у оз. Лебединого. В настоящее время воздействие на залив усиливается за счет строительства базы марикультурного хозяйства на его юго-востоке. На западной стороне залива существовавший промышленный кластер в бухте Гайдамак (судоремонтный завод и база тралового флота) пополнился рыбоконсервным цехом, который вносит свою лепту в органическое загрязнение прибрежных морских вод. Кроме того, в связи с развитием портовой деятельности в г. Находка и превращением его в городской округ с присоединением поселков Ливадия и Козьмина ожидается усиление антропогенного пресса на прилегающее к заливу побережье. Вследствие этого необходимо проведение регулярных наблюдений за этой акваторией, наиболее изученной благодаря расположенной в ней биологической станции ННЦМБ ДВО РАН и используемой для сравнения при оценке экологического состояния других частей зал. Петра Великого [Современное экологическое состояние..., 2012].



Рис. 1. Карта-схема зал. Восток (Японское море) с границами морского заказника «Залив Восток»

Fig. 1. Scheme of the Vostok Bay (Japan Sea). Boundaries of the Vostok Bay marine reserve are shown

Однако в большинстве публикаций распределение гидрохимических параметров (получаемых, как правило, с помощью батометра) связывалось в основном с антропогенным и техногенным воздействием на экосистему залива. И хотя в некоторых работах отмечались особенности метеорологических и гидродинамических условий этого района Японского моря [Гайко, 2017], они практически не привлекались для получения полноты картины конкретных природных ситуаций. Упускалась оценка влияния муссонности климата на текущее экологическое состояние зал. Восток, прежде всего из-за недостаточной плотности гидрологических данных.

В настоящем исследовании применение автономного CTD-зонда для профилирования водной толщи позволило получить с высоким разрешением распределение гидрофизических и гидрологических показателей в пределах всего залива. Для оценки его загрязнения дополнительно выполнен гидрохимический и микробиологический контроль.

Цель работы — оценить современное состояние зал. Восток в разные сезоны, используя гидрологическое профилирование, гидрохимический анализ и микробную индикацию.

Материалы и методы

Работа по оценке современного экологического состояния зал. Восток началась летом 2020 г., и съемка, выполненная с 17 по 19 июля, была первой в серии сезонных исследований (табл. 1). Наблюдения включали профилирование водной толщи автономным CTD-зондом, а также отбор проб воды батометром Нискина в поверхностном слое и у дна на гидрохимических и микробиологических станциях. Схема съемки являлась переходной между выполнявшимся ранее исключительно гидрохимическим исследованием залива с применением батометра и определением всего спектра

Таблица 1
Основные гидрологические станции, выполненные в зал. Восток в 2020–2021 гг.
Table 1

Scheme of the main oceanographic stations in the Vostok Bay in 2020–2021

№ станции	Широта		Долгота		Глубина, м	Даты съемок		
	Град.	Мин	Град.	Мин		Июль 2020	Октябрь 2020	Май 2021
1	42	51,30	132	42,50	18,6	18	15	18
2	42	51,10	132	43,30	25,5	18	15	18
3	42	50,90	132	44,30	22,0	18	15	18
4	42	50,70	132	45,30	16,4	18	15	18
5	42	51,50	132	46,00	11,5	—	15	18
7	42	52,00	132	42,60	20,9	19	15	18
8	42	52,20	132	41,80	15,0	19	15	18
9	42	52,30	132	41,10	6,9	19	15	18
10	42	52,70	132	43,40	17,5	19	15	18
11	42	53,20	132	42,70	3,1	19	15	18
12	42	53,00	132	43,60	10,3	19	15	18
13	42	52,90	132	44,40	17,4	19	15	18
14	42	52,50	132	45,20	18,2	—	15	18
15	42	52,40	132	46,20	8,5	17	15	18
15a	42	52,76	132	45,56	17,0	—	15	18
16	42	53,10	132	45,60	15,4	17	15	18
17	42	53,50	132	46,30	7,4	17	15	18
18	42	54,00	132	45,50	5,3	17	15	18
19	42	53,80	132	45,30	11,6	—	15	18
20	42	53,80	132	44,10	8,5	17	15	18
21	42	54,10	132	43,90	6,9	17	15	18

характеристик воды в лабораторных условиях [Христофорова и др., 2020] и использованным нами в настоящем исследовании методом профилирования, позволявшим получать дополнительный перечень гидрологических и гидрохимических показателей с высоким разрешением (табл. 2). Таким образом, она являлась предварительной и была доработана в последующих съемках 15 октября 2020 г. (рис. 2) и 18 мая 2021 г. включением в серии наблюдений дополнительных станций, дававших возможность уточнить распределение гидрологических характеристик водной толщи залива. Эти станции на рис. 2 обозначены индексом «а».

Таблица 2

Метрологические характеристики автономного CTD-зонда ASTD102 (JFE Advantech Co. Ltd., Япония)

Table 2

Metrological characteristics of ASTD102 autonomous profiler (JFE Advantech Co. Ltd., Japan)

Характеристика	Диапазон	Точность	Разрешение	Инерционность, с
Температура, °C	−5 ÷ +40	0,01	0,001	0,2
Электропроводность, мСм/см	0 ÷ 65	0,01	0,001	0,2
Давление, дбар	0 ÷ 1000	0,3	0,02	0,2
Соленость, епс	2 ÷ 40	0,02		
Мутность, NTU*	0 ÷ 1000	2 %	0,03	0,2
Хлорофилл, мг/м³	0 ÷ 400	1 %	0,01	0,2
Кислород, мг/л	0 ÷ 20	0,4	0,001	1,0

* Условная единица мутности, 1 NTU = 1 мг/л (каолин).

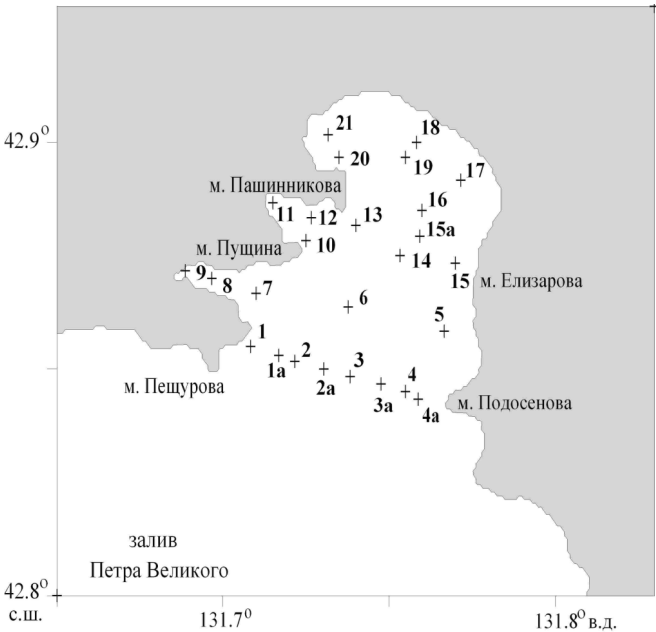


Рис. 2. Залив Восток. Схема гидрологических станций, выполненных 15 октября 2020 г.
Fig. 2. Scheme of oceanographic stations in the Vostok Bay on October 15, 2020

Гидрохимический анализ проб проводили в день отбора в трех повторностях. БПК₅ определяли с помощью метода Винклера. Количество растворенного минерального и органического фосфора устанавливали фотометрически по методу Морфи–Райли [Методы..., 1988; Руководство..., 2003]. Для измерения параметров водной толщи использовали автономный профилограф (зонд) ASTD102 (JFE Advantech Co. Ltd., Япония), который позволяет с разрешением 10 Гц определять температуру, давление, соленость, мутность, а также концентрации хлорофилла *a* и растворенного кислорода. Точность

определения этих параметров, а также другие метрологические характеристики зонда ASTD102, заявленные изготовителем, представлены в табл. 2. По результатам первичной обработки CTD-данных, выполненной с применением оригинальных программных продуктов [Лазарюк, Кошелева, 2014]*, получены ряды параметров воды с шагом по глубине (z) 0,5 м, оптимальным для последующего анализа.

Отбор проб на микробиологический анализ производили дважды — в июле 2020 г. и в мае 2021 г. — из подповерхностного слоя (10–20 см) в стерильные пластиковые емкости и транспортировали для анализа в лабораторию согласно ГОСТ, 31861-12. Пробы анализировали в трех повторностях с соблюдением сроков хранения проб по ГОСТ 31942-12 и ГОСТ 31861-12. Для оценки качества поверхностных вод зал. Восток с помощью методов микробной индикации определяли следующие эколого-трофические группы 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 [Yochimizu, Kimura, 1976; Наливайко, 2006]. 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 отдельных физиологических групп (углеводородокисляющих, фенолоокисляющих) 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 форм МР 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, 1999; Безвербная, 2002; Димитриева, Безвербная, 2002]. Проверка на резистентность осуществлялась для каждой токсичной добавки (поэлементно) для всех отобранных проб (в трех повторностях). БГКП обнаруживали с использованием селективной среды Эндо. Определяли каталазоположительные, оксидазоотрицательные грамм-отрицательные бактерии [Руководство..., 1980]. Все полученные цифровые данные обрабатывали общепринятыми статистическими методами, представляя их как средние арифметические со стандартным отклонением.

Результаты и их обсуждение

Придавая большое значение муссонности климата как средообразующего фактора, рассмотрим результаты в следующей очередности: осень, весна и лето.

Гидрологический контроль. В октябре 2020 г. температура поверхностной воды изменялась от 14,1 до 15,4 °С с локальными максимумами в восточном секторе залива и в бухте Гайдамак (табл. 3, рис. 3). Ее соленость находилась в диапазоне от 32,5 до 33,1 епс, с наименьшими значениями в бухте Средней и в вершине залива, испытывающей влияние речного стока. Распределение хлорофилла *a* характеризовалось монотонностью (0,6–1,5 мкг/дм³) с незначительным повышением в районе бухты Гайдамак и вершине залива, а распределение растворенного кислорода носило концентрический характер с максимумом 8,4 мг/л в центре и понижением до 7,6 мг/л в прибрежных зонах.

* Лазарюк А.Ю., Кошелева А.В. Свидетельство № 2014619779 о государственной регистрации программы для ЭВМ «Коррекция данных глубоководных гидрологических наблюдений CTD-зондов (CTD-data_Processing)» // Бюл. Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем, 2014. Т. 96, № 10.

Таблица 3

Гидрологические характеристики, измеренные профилографом ASTD102 на горизонтах отбора проб, 15 октября 2020 г.

Table 3

Oceanographic parameters measured by ASTD102 profiler at the depths of sampling on October 15, 2020

№ станции	Z, м	T, °C	S, епс	Chl, мкг/дм³	O ₂ , мг/л	Z, м	T, °C	S, епс	Chl, мкг/дм³	O ₂ , мг/л
1	0,5	15,0	33,0	1,5	7,9	17,5	15,2	33,4	1,2	7,3
2	0,5	15,1	33,0	0,9	8,0	24,5	15,1	33,4	1,2	7,5
3	0,5	14,8	32,8	0,7	8,1	20,5	15,2	33,4	0,9	7,3
4	0,5	15,0	32,9	0,8	8,0	15,0	15,5	33,3	0,8	7,5
5	0,5	15,1	33,0	0,9	7,9	10,0	15,0	33,0	2,0	7,8
7	0,5	15,2	33,0	1,3	8,0	19,5	15,1	33,4	1,4	6,7
8	0,5	15,4	33,1	1,4	7,6	13,5	15,2	33,2	2,5	7,2
9	0,5	15,3	33,0	1,2	6,8	5,5	15,1	33,1	2,6	7,1
10	0,5	<i>14,1</i>	32,5	<i>0,6</i>	8,4	16,0	<i>14,7</i>	33,0	1,5	7,6
11	0,5	14,6	32,8	<i>0,6</i>	7,9					
12	0,5	14,3	32,6	<i>0,6</i>	8,2	9,0	15,2	33,0	2,4	7,8
13	0,5	14,5	32,6	0,7	8,2	16,0	15,4	33,3	1,7	7,1
14	0,5	15,1	32,9	<i>0,6</i>	8,2	17,0	15,5	33,4	1,7	7,3
15	0,5	15,1	32,9	0,9	8,0	7,0	15,6	33,2	2,3	7,5
15a	0,5	15,2	32,9	1,0	8,1	15,5	15,6	33,3	1,7	7,3
16	0,5	15,2	32,9	1,2	7,9	14,0	15,6	33,3	2,3	7,3
17	0,5	15,5	33,0	1,1	7,8	6,0	15,4	33,0	2,0	7,9
18	0,5	14,8	32,3	0,7	8,2	4,0	14,9	32,4	1,0	8,1
19	0,5	15,1	32,8	1,4	8,2	10,0	15,5	33,0	3,1	7,7
20	0,5	15,3	32,9	1,0	7,9	7,5	15,7	33,1	4,3	7,7
21	0,5	14,5	32,3	0,7	8,1	5,5	15,3	33,0	1,4	7,8

Примечание. В данной и последующих таблицах полужирным шрифтом выделены наибольшие значения показателей, курсивом — наименьшие.

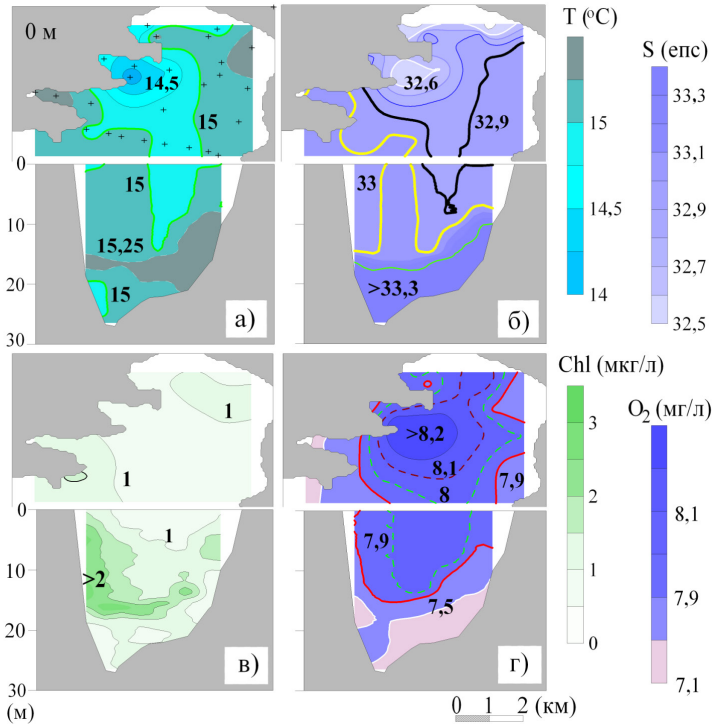


Рис. 3. Температура, T (а), солёность, S (б), концентрация хлорофилла a , Chl (в) и содержание растворённого в воде кислорода, O_2 (г) в поверхностном слое вод зал. Восток и в его толще на выходном разрезе 15 октября 2020 г.

Fig. 3. Temperature (T , а), salinity (S , б), chlorophyll a concentration (Chl , в), and dissolved oxygen content (O_2 , г) at the sea surface and thickness of the upper layer at the outlet section in Vostok Bay on October 15, 2020

В толще воды на выходе из залива температура варьировала в том же диапазоне с выраженным максимумом (15,5 °C) в придонном слое юго-восточного сектора акватории, обусловленном затоком относительно теплых соленых прилегающих вод зал. Петра Великого (рис. 3, а); значения солёности в придонных слоях достигали 33,4 епс, при этом ее градиентный слой располагался на горизонтах от 7 до 10 м в восточном секторе, понижаясь до 15–18 м к центру и западу входного разреза. Солёность в поверхностном слое имела локальный минимум (32,8 епс) со смещением на восток относительно центра, которое, по-видимому, было сформировано выходным потоком, а западнее от центра наблюдалось компенсирующее движение вод со значениями солёности до 33 епс (рис. 3, б). Вертикальное распределение хлорофилла *a* подчеркивает описанную динамику потоков на внешней границе зал. Восток: минимальные значения его концентраций от 0,5 до 1,5 мкг/дм³ наблюдались восточнее центра и соответствовали выходному потоку, максимальные (до 3 мкг/дм³) располагались западнее (рис. 3, в). Вертикальное распределение растворенного кислорода на входном разрезе также отражает особенности расслоения водной толщи, отмеченные при анализе других характеристик: если воды выходного потока отличались повышенными концентрациями O₂ (до 8,1 мг/л), то в затекающих с востока водах его содержание уменьшалось от 7,9 мг/л в поверхностном слое до 7,3 мг/л у дна (рис. 3, г).

В мае 2021 г. на поверхности наблюдался заметный прогрев воды (до 13,2 °C) на мелководье в вершине залива, где солёность была наименьшей (до 27 епс) из-за опреснения речным стоком (табл. 4, рис. 4). При этом такая контрастность в распределении солёности быстро исчезала с глубиной и уже на горизонте 2 м повышалась до 30–31 епс, а температура снижалась до 10–11 °C (рис. 5). На выходе из залива в поверхностном слое отмечались наименьшие значения температуры (менее 11 °C)

Таблица 4

Гидрологические характеристики, измеренные профилографом ASTD102 на горизонтах отбора проб, 18 мая 2021 г.

Table 4

Oceanographic parameters measured by ASTD102 profiler at the depths of sampling on May 18, 2021

№ станции	Z, м	T, °C	S, епс	Chl, мкг/дм ³	O ₂ , мг/л	Z, м	T, °C	S, епс	Chl, мкг/дм ³	O ₂ , мг/л
1	0,5	11,4	27,0	0,6	9,2	16,0	4,4	33,5	0,8	9,9
2	0,5	11,1	30,5	0,4	9,4	24,5	4,2	33,6	0,7	10,2
3	0,5	11,1	30,7	0,5	9,5	20,5	4,9	33,5	1,1	10,4
4	0,5	10,9	31,7	0,4	9,5	15,0	5,5	33,4	1,0	10,3
5	0,5	10,7	31,7	0,5	9,8	4,5	8,4	32,7	0,6	10,4
6	0,5	12,1	29,2	0,7	9,3	20,0	5,0	33,5	1,0	10,1
7	0,5	12,3	28,1	0,5	9,2	8,0	6,8	33,1	1,3	10,4
8	0,5	11,7	28,2	0,5	9,3	13,5	6,3	33,3	1,7	9,0
9	0,5	12,6	28,1	0,5	9,3	5,5	6,8	33,2	1,1	9,6
10	0,5	11,5	29,9	0,5	9,6	17,0	5,6	33,6	1,4	8,2
11	0,5	12,5	29,0	0,5	9,4	2,0	11,4	30,3	0,8	10,0
12	0,5	11,9	29,3	0,6	9,4	10,0	6,5	33,4	2,2	9,7
13	0,5	12,3	28,9	0,5	9,5	16,0	5,3	33,5	1,2	9,3
14	0,5	12,5	29,7	0,4	9,5	17,0	5,4	33,4	1,1	10,3
15	0,5	12,2	31,2	0,5	9,5	4,0	9,9	32,1	0,5	10,5
16	0,5	12,2	29,9	0,4	9,6	14,0	5,6	33,4	1,3	10,3
17	0,5	13,0	30,1	0,5	9,3	1,5	13,0	30,1	0,6	9,3
18	0,5	13,2	28,9	0,5	9,3	7,5	6,9	33,1	1,0	9,4
19	0,5	12,0	30,2	0,4	9,5	10,0	6,4	33,3	0,9	9,3
20	0,5	10,4	31,9	0,4	10,2	9,0	6,6	33,2	1,1	9,0
21	0,5	13,9	27,8	0,6	9,9	4,0	8,0	33,0	0,8	9,5

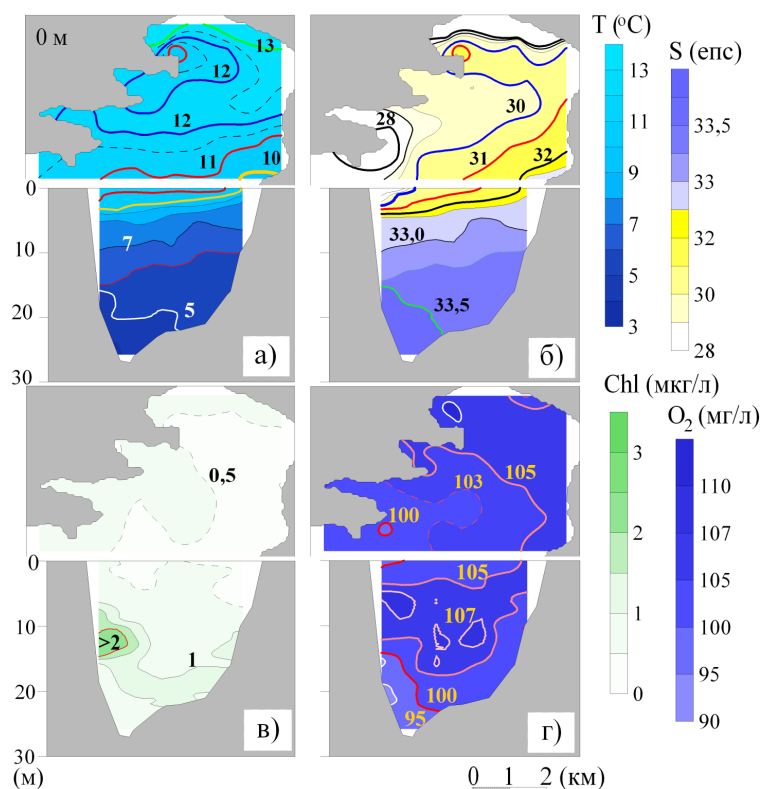


Рис. 4. Температура, T (а), соленость, S (б), концентрация хлорофилла a , Chl (в) и содержание растворенного в воде кислорода, O_2 (г) в поверхностном слое вод залива и в его толще на выходном разрезе 18 мая 2021 г.

Fig. 4. Temperature (T , а), salinity (S , б), chlorophyll a concentration (Chl , в), and dissolved oxygen content (O_2 , г) at the sea surface and thickness of the upper layer at the outlet section in Vostok Bay on May 18, 2021

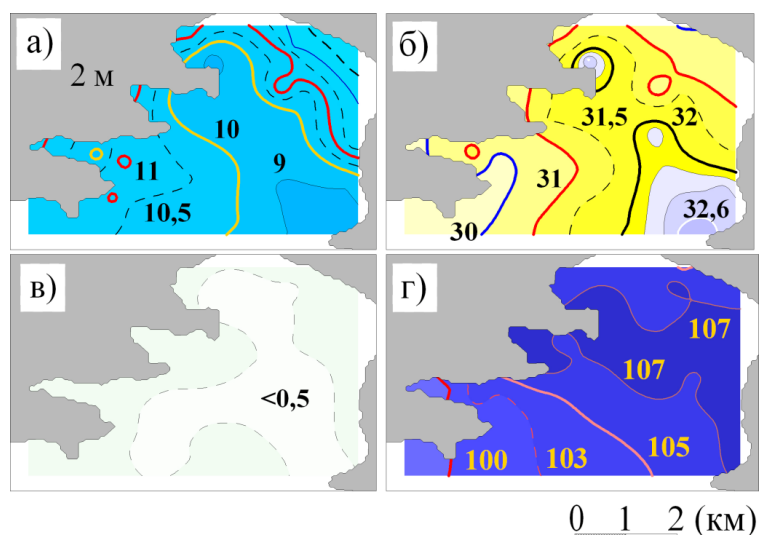


Рис. 5. Температура, T (а), соленость, S (б), концентрация хлорофилла a , Chl (в) и содержание растворенного в воде кислорода, O_2 (г) на горизонте 2 м в зал. Восток 18 мая 2021 г.

Fig. 5. Spatial distribution of temperature (T , а), salinity (S , б), chlorophyll a concentration (Chl , в), and dissolved oxygen content (O_2 , г) at the depth of 2 m in Vostok Bay on May 18, 2021

и максимальные величины солености (до 32 епс), соответствующие прилегающим водам зал. Петра Великого. Присутствие в юго-восточном секторе залива на изобате 2 м пятна относительно холодной (9°C) и соленой (32,4 епс) воды, по-видимому, обусловлено эффектом прибрежного апвеллинга, вызванного воздействием юго-восточного ветра [https://rp5.ru/Архив_погоды_во_Владивостоке; Гайко, 2017]. Наличие опреснения в двухметровой толще западного сектора, включая бухту Гайдамак, позволяет предполагать эффект нагона, обусловленного ветром этого же направления. Распределение концентраций хлорофилла a в поверхностном слое характеризовалось слабыми контрастами и минимальными значениями (от 0,4 до 0,7 мкг/дм³), хотя воды залива имели достаточно высокое насыщение кислородом (до 105 %), что, скорее

всего, обусловлено активным развитием макрофитов [Христофорова и др., 2005; Галышева, 2010].

Следует отметить относительную однородность термохалинных характеристик в толще воды вдоль выходного разреза на горизонтах ниже 10–12 м, достигающих у дна предельных значений в 4,4 °С и 33,6 епс. Для вертикального распределения хлорофилла *a*, как осенью, так и весной, его наибольшая концентрация (до 2,2 мкг/дм³) наблюдалась в западном секторе залива. В то же время насыщение кислородом водной толщи на выходном разрезе весной было выше, чем осенью 2020 г., — 95–107 % против 82–92 %.

В июле 2020 г. температура в поверхностном слое вод достигала 20,7 °С на мелководье в вершине залива, где соленость имела пониженные значения до 28,8 епс из-за опреснения стоком вод из Волчанецкой протоки и р. Литовка (табл. 5, рис. 6). Однако минимум солености (25,7 епс) наблюдался на станции 1 в районе входного западного мыса, причина этого явления пока не установлена. В то же время на этой станции в поверхностном слое зафиксировано как повышенное значение хлорофилла *a* (до 2,2 мкг/дм³), так и пониженная концентрация кислорода (до 8,1 мг/л), что, возможно, вызвано высоким показателем температуры (19,63 °С).

Таблица 5

Гидрологические характеристики, измеренные профилографом ASTD102 на горизонтах отбора проб, 17–19 июля 2020 г.

Table 5

Oceanographic parameters measured by ASTD102 profiler at the depths of sampling on July 17–19, 2020

№ станции	Z, м	T, °С	S, епс	Chl, мкг/дм ³	O ₂ , мг/л	Z, м	T, °С	S, епс	Chl, мкг/дм ³	O ₂ , мг/л
1	0,5	19,6	25,7	2,3	8,1	8,0	15,0	32,2	1,5	7,3
2	0,5	19,3	31,0	0,8	8,2	29,0	<i>10,1</i>	32,8	1,2	6,7
3	0,5	19,2	31,2	0,8	8,2	21,5	11,3	32,7	1,8	7,8
4	0,5	18,5	31,8	0,8	8,2	15,5	13,0	32,6	<i>1,0</i>	8,5
7	0,5	20,1	29,4	0,9	8,2	17,0	12,1	32,5	1,3	7,2
8	0,5	19,5	30,0	0,9	8,2	8,0	13,6	32,4	2,0	7,0
9	0,5	19,3	30,1	1,2	8,3	7,0	13,7	32,4	1,9	7,2
10	0,5	20,1	29,8	0,7	8,2	9,0	14,0	32,4	2,5	7,6
11	0,5	19,9	30,3	0,7	8,2	2,0	17,9	<i>31,7</i>	<i>1,0</i>	8,1
12	0,5	20,0	30,5	0,7	8,1	5,0	15,6	32,3	2,9	8,4
13	0,5	20,7	29,8	0,8	8,3	15,0	12,7	32,5	1,3	4,7
15	0,5	19,2	31,3	0,8	8,3	6,0	16,8	32,5	1,3	8,6
16	0,5	19,6	30,9	1,0	8,2	13,0	13,2	32,5	2,2	7,9
17	0,5	19,9	30,7	1,0	8,3	5,0	16,6	32,2	1,9	8,3
18	0,5	20,7	28,8	1,6	8,3	5,5	16,3	32,3	1,5	8,2
20	0,5	19,7	30,9	1,1	8,4	8,0	15,0	32,2	2,4	7,7
21	0,5	20,2	29,7	0,9	8,1	6,0	15,7	32,2	2,4	7,7

В придонном слое залива на фоне изменения глубин наблюдались значительные колебания как температуры, так и концентраций кислорода: от 10,1 °С и 6,7 мг/л на станции 2 (глубина 29 м) до 17,9 °С и 8,1 мг/л на станции 11 (глубина 2 м) (табл. 5). При этом наибольшие концентрации кислорода отмечены в восточном секторе залива, вплоть до предустья р. Литовка (от 7,9 до 8,6 мг/л), что, возможно, вызвано притоком холодных соленых вод из зал. Петра Великого, а также развитием макрофитов [Галышева, Христофорова, 2007]. Здесь необходимо отметить, что повышенные значения в распределении концентраций хлорофилла *a* выявлены нами как в придонных слоях мелководной северной кутовой части, где они возрастали до 2,4 мкг/дм³, так и в промежуточных слоях в глубоководной части залива и бухтах Средняя и Гайдамак (от 2 до 3 мкг/дм³).

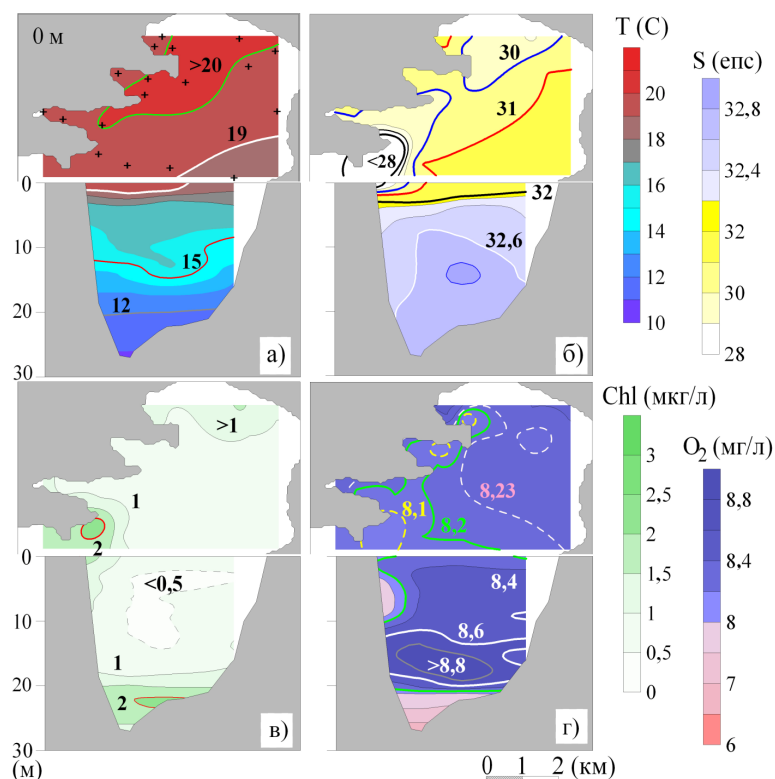


Рис. 6. Температура, T (а), соленость, S (б), концентрация хлорофилла a , Chl (в) и содержание растворенного в воде кислорода, O_2 (г) в поверхностном слое вод залива и в его толще на выходном разрезе 17–19 июля 2020 г.

Fig. 6. Temperature (T , а), salinity (S , б), chlorophyll a concentration (Chl , в), and dissolved oxygen content (O_2 , г) at the sea surface and thickness of the upper layer at the outlet section in Vostok Bay on July 17–19, 2020

Суммируя результаты весенней и летней съемок, отражающих влияние летнего муссона, отметим характерное распределение контролируемых параметров, соответствующее циклоническому круговороту (против часовой стрелки от восточного берега к центру и западу).

Гидрохимический контроль. В целом загрязнение вод залива в анализируемые сезоны легко окисляющимся органическим веществом по показателю БПК₅/BOD₅ было невелико.

Согласно результатам осенней съемки в октябре 2020 г. его значения в большинстве проб не превышали 1 мг/л, за исключением станций в бухте Гайдамак, где на поверхности и у дна они составляли соответственно 1,19 и 1,09 мг/л (рис. 7). Интересно, что к этому же уровню приблизилось значение из придонной пробы со станции 4 у мыса Подосенова.

В мае 2021 г. значения БПК₅ были выше, варьируя от 1 до 2 мг/л и более (рис. 8). В пробах из бухт Гайдамак и Средняя они превосходили ПДК для рыбохозяйственных водоемов (2,1 мг/л). Очевидно, это результат сезонного проявления повышенной активности биоты (выделение метаболитов), а также воздействия других факторов: природных (усиление терригенного и речного стока) и антропогенных (поступление сточных вод).

Летом, в июле, в поверхностном слое зал. Восток распределение органического вещества было относительно равномерным, значения варьировали на уровне 1,0–1,5 мг/л (рис. 9), кроме выходного разреза, где содержание растворенной органики оказалось существенно ниже — 0,5–0,6 мг/л, что, несомненно, свидетельствует о влиянии вод открытой части зал. Петра Великого. В придонном слое значения варьировали сильнее (рис. 9), с максимумами в бухте Средней (1,97 мг/л) и у устья р. Волчанка (1,68 мг/л). При этом ни одно из значений не превысило ПДК.

Выявленный при анализе термохалинных характеристик циклонический круговорот в весенне-летний период на распределении значений БПК₅ не проявился. По-видимому, преобладание биоты на мелководье залива собственно и формирует повышенные концентрации метаболитов по его периферии.

Рис. 7. Распределение показателей БПК₅ (а, б), концентраций органической формы фосфора P_{org} (в, г), отношения органической и минеральной форм фосфатов P_{org}/P_{min} (д, е) в поверхностном (а, в, д) и придонном (б, г, е) слоях зал. Восток 15 октября 2020 г.

Fig. 7. Spatial distribution of BOD_5 (а, б), concentrations of organic phosphorus (P_{org} , в, г), and organic/mineral phosphorus ratio (P_{org}/P_{min} , д, е) at the sea surface (а, в, д) and bottom (б, г, е) in Vostok Bay on October 15, 2020

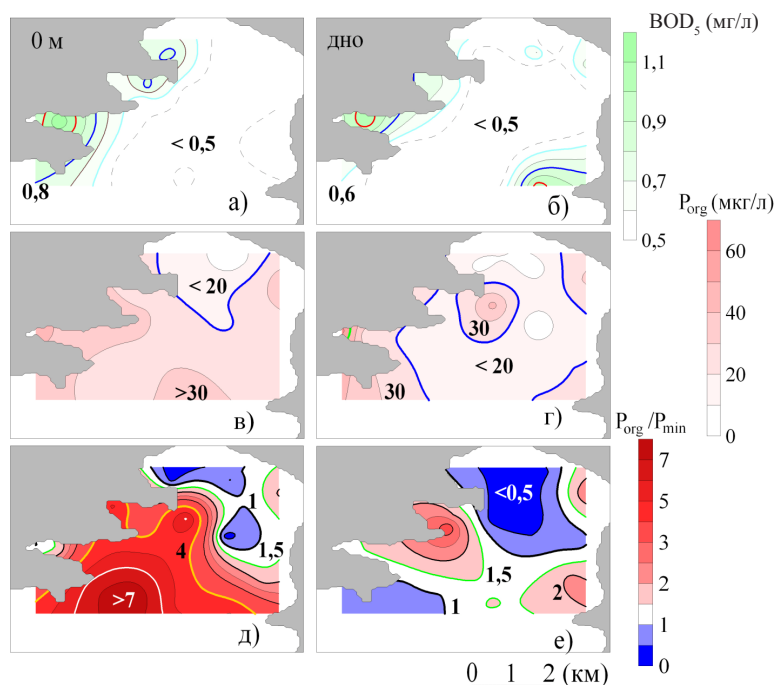
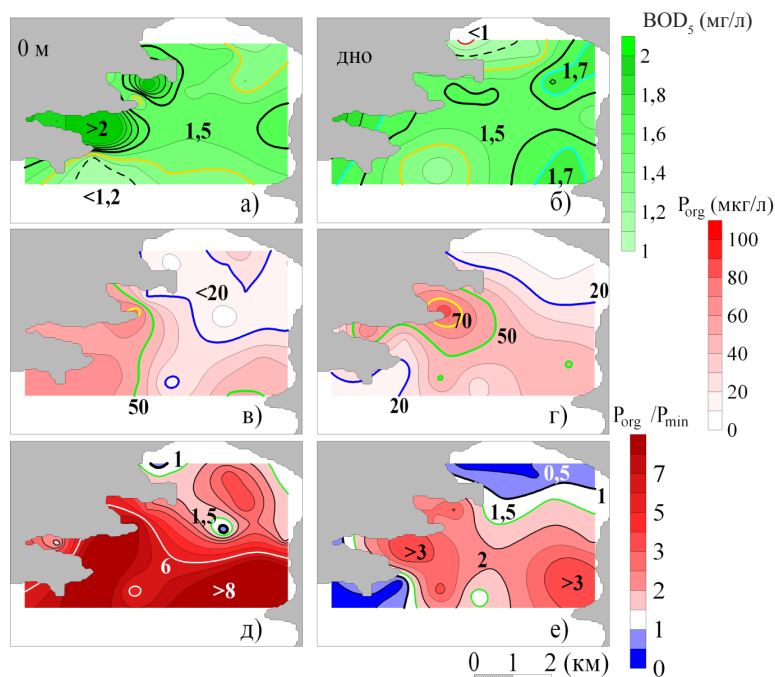


Рис. 8. Распределение показателей БПК₅ (а, б), концентраций органической формы фосфора P_{org} (в, г), отношения органической и минеральной форм фосфатов P_{org}/P_{min} (д, е) в поверхностном (а, в, д) и придонном (б, г, е) слоях зал. Восток 18 мая 2021 г.

Fig. 8. Spatial distribution of BOD_5 (а, б), concentrations of organic phosphorus (P_{org} , в, г), and organic/mineral phosphorus ratio (P_{org}/P_{min} , д, е) at the sea surface (а, в, д) and bottom (б, г, е) in Vostok Bay on May 18, 2021



Представление об активности гидробионтов позволяет получить не только распределения БПК₅, но и анализ содержания фосфора в воде, прежде всего его органической составляющей (P_{org}). Значения этого параметра в осенних пробах находились в диапазонах 5–40 мкг/л у дна и 5–60 мкг/л на поверхности (см. рис. 7, в, г). В начале северного муссона на фоне отмирания макрофитов и угасания активности беспозвоночных столь высокое количество P_{org} , по-видимому, вызвано сезонным цветением фитопланктона. При этом в местах его высокой численности отношение органического фосфора к минеральному ($P_{org} : P_{min}$) достигало 8 : 1 (рис. 7, д). У дна в то же время преобладала минеральная форма фосфора 1 : 3 (рис. 7, е).

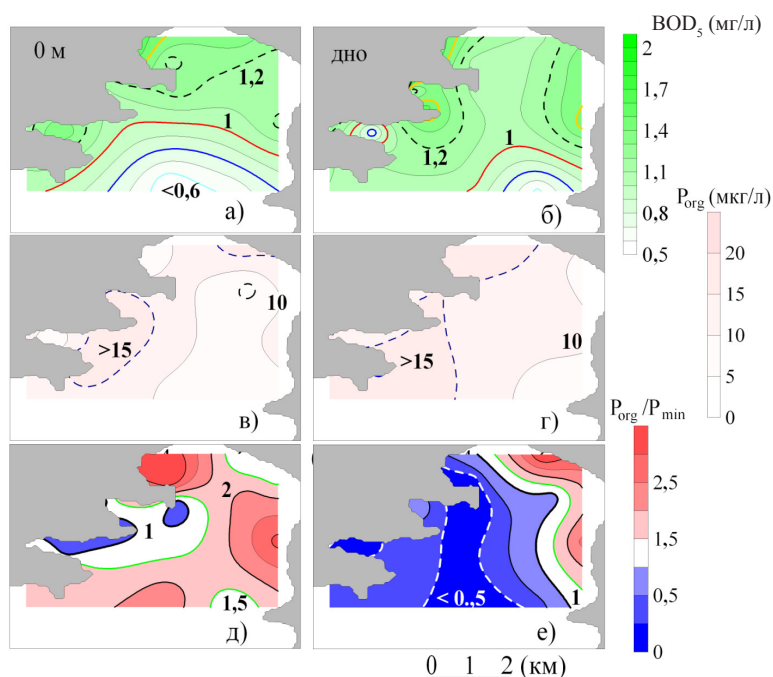


Рис. 9. Распределение показателей БПК₅ (а, б), концентраций органической формы фосфора P_{org} (в, г), отношения органической и минеральной форм фосфатов P_{org}/P_{min} (д, е) в поверхностном (а, в, д) и придонном (б, г, е) слоях зал. Восток 17–19 июля 2020 г.

Fig. 9. Spatial distribution of BOD_5 (а, б), concentrations of organic phosphorus (P_{org} , в, г), and organic/mineral phosphorus ratio (P_{org}/P_{min} , д, е) at the sea surface (а, в, д) and bottom (б, г, е) in Vostok Bay on July 17–19, 2020

Весенний период характеризуется высокой активностью всех гидробионтов, что проявляется в показателях их жизнедеятельности. Вслед за БПК₅ наблюдались повышенные уровни P_{org} не только в поверхностном слое, но и у дна — соответственно до 75 и 88 мкг/л (рис. 8, в, г). Усиление жизнедеятельности организмов отражалось и на соотношении форм фосфора, которое на поверхности достигало 12 : 1, а у дна было втрое меньше, — 4 : 1 (рис. 8, д, е).

Летом наблюдались примерно равные диапазоны изменчивости P_{org} (5–20 мкг/л) на горизонтах отбора проб (рис. 9, в, г). На поверхности эта форма фосфора доминировала над P_{min} в 1,5–2,0 раза (рис. 9, д). В то же время у дна их соотношение было обратным — 1:10 ($P_{org} : P_{min}$) и более (рис. 9, е), что свидетельствует о развитии деструктивных процессов. Так, максимум $P_{min} > 100$ мкг/л зафиксирован у мыса Пашинникова, на восточном же побережье залива его величина была минимальной (до 5 мкг/л). Такая картина, очевидно, обусловлена переносом органического вещества из мелководных районов продуцирования (вершина залива), развитием деструктивных процессов и затоком свежих вод с юго-востока, вызванных собственным динамическим режимом акватории.

Микробиологический контроль. Общее представление о чистоте вод дают данные о содержании гетеротрофов, потребляющих растворенное органическое вещество. Их численность в летних пробах 2020 г. 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. 6, рис. 10, а). Столь высокое содержание гетеротрофов, несомненно, связано с распространением хозяйственно-бытовых стоков от многочисленных источников, расположенных на побережье зал. Восток. Весной 2021 г. количественные показатели КГМ были ниже на порядок величин, свидетельствуя об олигосапробности вод в момент опробования. Ожидаемым исключением являлся кут бухты Гайдамак, где численность гетеротрофов достигала $1,2 \cdot 10^4$ КОЕ/мл (табл. 6, рис. 10, в).

Среди пула гетеротрофов выделяются бактерии группы кишечной палочки, 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 (рис. 10, б). При этом среди БГКП бактерии *E. coli* выявлены в бухтах Гайдамак и Средняя в количестве до 10^2 КОЕ/мл, что свидетельствует о таком биологическом загрязнении,

Таблица 6

Численность колониеобразующих гетеротрофных микроорганизмов (КГМ) и бактерий группы кишечной палочки (БГКП) в поверхностных водах зал. Восток (2020–2021 гг.)

Table 6

Number of colony-forming heterotrophic microorganisms (CGM) and *Escherichia coli* group bacteria (ECB) in the surface waters of Vostok Bay (2020–2021)

№, название станции	Июль 2020		Май 2021	
	КГМ	БГКП/ <i>E. coli</i>	КГМ	БГКП/ <i>E. coli</i>
1 — мыс Пещурова	—	—	$(9,8 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(1,3 \pm 0,6) \cdot 10^3 / (2,0 \pm 1,0) \cdot 10^2$
2 — зал. Восток (центральная часть)	$(8,5 \pm 0,4) \cdot 10^3$	0	$(2,2 \pm 1,3) \cdot 10^2$	0
4 — мыс Подосенова	—	—	$(3,7 \pm 1,1) \cdot 10^2$	0
5 — бухта Антарес (оз. Лебединое)	—	—	$(6,2 \pm 0,6) \cdot 10^2$	0
7а — мыс Чайковского	$(3,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(4,0 \pm 1,0) \cdot 10$	—	—
7 — выход из бухты Гайдамак	—	—	$(5,2 \pm 0,7) \cdot 10^3$	$(5,6 \pm 0,8) \cdot 10^2 / (1,6 \pm 0,5) \cdot 10^2$
9 — бухта Гайдамак (кут)	$(2,0 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(3,5 \pm 0,5) \cdot 10^2 / (1,1 \pm 0,6) \cdot 10^2$	$(1,2 \pm 0,5) \cdot 10^4$	$(4,6 \pm 1,5) \cdot 10^2 / (2,1 \pm 0,3) \cdot 10^2$
11 — бухта Средняя (кут)	—	—	$(1,3 \pm 0,8) \cdot 10^3$	$1,5 \pm 0,7 \cdot 10^2$
12 — бухта Средняя (1-я Прибойная)	$(2,3 \pm 0,7) \cdot 10^4$	$(2,8 \pm 0,2) \cdot 10^2 / (4,1 \pm 0,8) \cdot 10$	$(1,1 \pm 0,8) \cdot 10^2$	$(2,0 \pm 1,0) \cdot 10^2 / (1,5 \pm 0,3) \cdot 10^2$
13 — мыс Пашинникова	—	—	$(4,5 \pm 1,4) \cdot 10^2$	0
14 — центр зал. Восток	$(2,7 \pm 1,3) \cdot 10^4$	0	$(5,4 \pm 0,7) \cdot 10^2$	0
15 — мыс Елизарова	—	—	$(4,1 \pm 0,3) \cdot 10^2$	0
17 — бухта Литовка	$(1,0 \pm 0,7) \cdot 10^3$	$(2,6 \pm 0,6) \cdot 10$	—	—
17а — устье р. Литовка	$(6,5 \pm 1,1) \cdot 10^3$	$(7,0 \pm 0,8) \cdot 10$	$(2,5 \pm 1,2) \cdot 10^2$	0
18 — Волчанецкая протока	$(7,0 \pm 2,8) \cdot 10^3$	$(1,0 \pm 1,0) \cdot 10$	$(4,5 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(1,6 \pm 1,1) \cdot 10^2$
20 — МБС «Восток»	—	—	$(1,9 \pm 0,7) \cdot 10^2$	0
20а — бухта Тихая Заводь	$(5,4 \pm 0,9) \cdot 10^4$	$(8,9 \pm 0,2) \cdot 10$	—	—
21 — предустье р. Волчанка	$(1,3 \pm 0,8) \cdot 10^5$	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10$	$(4,5 \pm 0,9) \cdot 10^2$	0

Примечание. Здесь и далее прочерк означает отсутствие отбора проб.

как фекальные стоки. Весной 2021 г. наблюдалась аналогичная лету картина с распространением *E. coli*, к которой добавилась станция мыса Пещурова (не обследовалась летом 2020 г.), расположенная южнее бухты Гайдамак и находящегося на входе в нее рыбоконсервного цеха. В этот период на северных станциях залива бактерии группы кишечной палочки не фиксировались (рис. 10, г), что подтверждает отсутствие биологического загрязнения — фекальных стоков.

Анализ содержания металл-резистентных микроорганизмов позволил оценить уровень техногенного пресса на зал. Восток (табл. 7). Микробная индикация на 9 из 10 станций наблюдения в летний сезон 2020 г. выявила никелевое загрязнение поверхностных вод, сопутствующее сжиганию углеводородного топлива. При этом максимальная численность никель-резистентных МО (до 10^3 КОЕ/мл) фиксировалась в северной кутовой части залива. Техногенное и антропогенное загрязнение, индицируемое по Cu- и Zn-резистентным МО, выявлялось на всех северных станциях и в бухте Гайдамак. Индикаторы сугубо техногенного загрязнения Cd- и Pb-резистентные

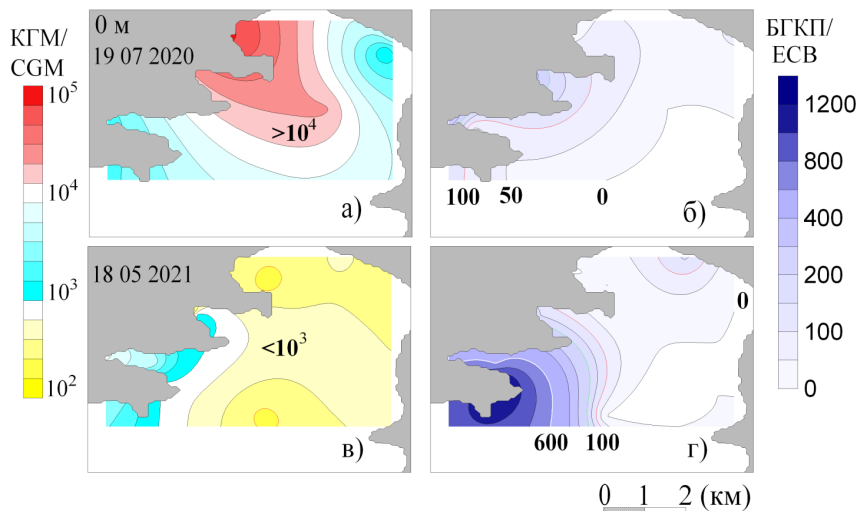


Рис. 10. Численность колониобразующих гетеротрофных микроорганизмов, *КГМ* (а) и бактерий группы кишечной палочки, *БГКП* (б) в поверхностных водах зал. Восток 19 июля 2020 г., а также их значения (в, г) в пробах 18 мая 2021 г.
Fig. 10. Number of colony-forming heterotrophic microorganisms (CGM) (а, в) and *Escherichia coli* group bacteria (ECB, б, г) in the surface waters of Vostok Bay on July 19, 2020 (а, б) and May 18, 2021 (в, г)

Таблица 7
Численность металл-резистентных микроорганизмов в поверхностных водах зал. Восток (2020–2021 гг.)

Table 7
Number of metal-resistant microorganisms in the surface waters of Vostok Bay (2020–2021)

№ стан-ции	Эколого-трофические группы микроорганизмов (КОЕ/мл)								
	Июль 2020					Май 2021			
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb
1	–	–	–	–	–	(2,0±0,1)·10	(7,0±0,4)·10	(3,0±0,3)·10	0
2	0	(3,0±1,1)·10 ²	0	0	0	0	0	0	0
4	–	–	–	–	–	0	(7,0±0,2)·10	0	0
5	–	–	–	–	–	(1,0±0,2)·10	0	0	0
7	–	–	–	–	–	(2,5±0,7)·10	(3,5±0,5)·10 ²	(9,5±0,7)·10	0
7a	(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	–	–	–	–
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
11	–	–	–	–	–	0	(3,5±1,3)·10 ²	(2,0±0,6)·10	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
13	–	–	–	–	–	0	(1,2±1,1)·10 ²	(2,5±1,1)·10 ²	0
14	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
15	–	–	–	–	–	0	(1,5±0,7)·10 ²	(2,0±0,7)·10	0
17	0	(2,2±0,2)·10	0	(4,0±0,5)·10	0	–	–	–	–
17a	(4,5±0,7)·10	(1,5±1,1)·10 ²	(3,3±0,5)·10 ²	0	0	0	0	0	0
18	(9,6±0,3)·10 ³	(1,7±0,6)·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
20	–	–	–	–	–	0	0	0	0
20a	(5,9±0,6)·10 ³	(8,8±0,4)·10 ²	(5,3±0,4)·10 ³	0	0	–	–	–	–
21	(2,6±0,5)·10 ³	(2,6±1,1)·10 ³	(1,4±0,7)·10 ³	0	(1,3±0,5)·10	0	(1,0±0,7)·10 ²	0	0

МО отмечались преимущественно соответственно на севере залива и его юго-западе. Весеннее опробование как залива в целом, так и его вершины показало меньшее содержание металл-резистентных МО.
Нефтеустойчивые МО (табл. 8) обнаруживались как летом, так и весной повсеместно, но их численность различалась. В июле 2020 г. она находилась в пределах 10²–10³ КОЕ/мл, в мае 2021 г. — на порядок величин ниже. МО, устойчивые к дизельному топливу, обнаруживались на большинстве станций летом и повсеместно весной.

Таблица 8

Численность микроорганизмов, устойчивых к углеводородам и фенолу,
в поверхностных водах зал. Восток (2020–2021 гг.)

Table 8

Number of microorganisms resistant to hydrocarbons and phenol
in the surface waters of Vostok Bay (2020–2021)

№ станции	Июль 2020			Май 2021		
	Н	ДТ	Ф	Н	ДТ	Ф
1	—	—	—	$(4,5 \pm 0,4) \cdot 10^2$	$(1,7 \pm 1,4) \cdot 10^3$	$(1,3 \pm 0,5) \cdot 10^3$
2	$(5,3 \pm 2,5) \cdot 10^2$	$(2,5 \pm 2,1) \cdot 10^2$	$(1,0 \pm 0,7) \cdot 10^3$	$(3,5 \pm 1,3) \cdot 10^2$	$(2,3 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(2,8 \pm 0,2) \cdot 10^2$
4	—	—	—	$(2,7 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(3,9 \pm 0,4) \cdot 10^2$	$(3,3 \pm 0,8) \cdot 10^2$
5	—	—	—	$(4,2 \pm 1,2) \cdot 10^2$	$(2,5 \pm 1,6) \cdot 10^2$	$(3,1 \pm 0,9) \cdot 10^2$
7	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^2$	0	0	—	—	—
7a	—	—	—	$(2,8 \pm 2,4) \cdot 10^2$	$(5,7 \pm 1,1) \cdot 10^2$	$(9,0 \pm 1,4) \cdot 10^2$
9	$(5,3 \pm 1,5) \cdot 10^2$	$(5,6 \pm 1,5) \cdot 10^2$	$(4,3 \pm 1,2) \cdot 10^3$	$(6,7 \pm 1,1) \cdot 10^2$	$(7,7 \pm 4,2) \cdot 10^2$	$(3,1 \pm 1,2) \cdot 10^2$
11	—	—	—	$(2,4 \pm 1,1) \cdot 10^2$	$(8,6 \pm 0,6) \cdot 10^2$	$(5,7 \pm 0,6) \cdot 10^2$
12	$(6,6 \pm 0,5) \cdot 10^2$	0	$(6,5 \pm 0,5) \cdot 10^4$	$(4,4 \pm 1,4) \cdot 10^2$	$(4,5 \pm 0,8) \cdot 10^2$	$(4,6 \pm 1,2) \cdot 10^2$
13	—	—	—	$(3,4 \pm 0,4) \cdot 10^2$	$(5,5 \pm 1,5) \cdot 10^2$	$(5,5 \pm 1,1) \cdot 10^2$
14	$(1,1 \pm 0,1) \cdot 10^3$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(4,0 \pm 1,2) \cdot 10^3$	$(3,6 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(6,7 \pm 1,7) \cdot 10^2$	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^4$
15	—	—	—	$(3,4 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(6,0 \pm 0,1) \cdot 10$	$(2,3 \pm 1,2) \cdot 10^4$
17	$(4,0 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(1,3 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(1,7 \pm 0,3) \cdot 10^3$	—	—	—
17a	$(3,2 \pm 0,2) \cdot 10^2$	$(2,8 \pm 2,5) \cdot 10^3$	$(8,0 \pm 0,9) \cdot 10^3$	$(1,6 \pm 0,5) \cdot 10$	$(1,4 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(1,2 \pm 0,7) \cdot 10^2$
18	$(8,6 \pm 1,5) \cdot 10^2$	$(2,2 \pm 0,9) \cdot 10^4$	$(2,2 \pm 0,9) \cdot 10^4$	$(2,8 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(5,2 \pm 1,2) \cdot 10^2$	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^2$
20	—	—	—	$(8,6 \pm 0,8) \cdot 10$	$(1,0 \pm 0,1) \cdot 10$	$(2,5 \pm 1,2) \cdot 10$
20a	$(2,3 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(1,6 \pm 0,7) \cdot 10^4$	$(3,4 \pm 2,1) \cdot 10^4$	—	—	—
21	$(3,6 \pm 0,5) \cdot 10^3$	$(2,8 \pm 0,9) \cdot 10^4$	$(2,1 \pm 1,8) \cdot 10^4$	$(1,5 \pm 0,6) \cdot 10^2$	$(3,6 \pm 1,2) \cdot 10^2$	$(1,1 \pm 0,5) \cdot 10^2$

Как и в предыдущей группе МО, устойчивые к ДТ бактерии в наибольших количествах (до $2,8 \cdot 10^4$ КОЕ/мл, летом) выявлялись на севере залива.

Аналогичная картина распределения и численности МО с максимальным их содержанием в кутовой части залива выявлена и для фенол-деструкторов. Количественный показатель бактерий данной эколого-трофической группы летом составлял 10^3 – 10^4 КОЕ/мл, весной он был на порядок ниже. Фенолы относятся к высокотоксичным веществам, и численность МО, достигающая 10^2 кл/мл, свидетельствует об ощутимом загрязнении среды [Димитриева, 1999]. Высокие значения численности МО разных эколого-трофических групп в северной части зал. Восток обусловлены, очевидно, впадением двух рек (Волчанки и Литовки) и Волчанецкой протоки, соединяющей оз. Волчанец с заливом; близостью трассы Владивосток — Находка; расположенными рядом поселениями и удобными песчаными побережьями, освоенными отдыхающими.

Заключение

Серия гидролого-гидрохимических наблюдений, выполненных в зал. Восток с высоким разрешением в разные сезоны, выявила особенности влияния муссонного климата, проявляющиеся в мозаичности пространственного распределения контролируемых показателей. Так, в осенний период, когда начинает охлаждаться поверхностный слой вод, ослабевает речной сток и преобладает ветер северных румбов, наблюдается ситуация, вызванная сгонными процессами. В нашем случае она выражалась в эффекте апвеллинга на северо-западном побережье с выносом вод из кутовой части в прилегающий район зал. Петра Великого и наличии компенсирующего подтока вдоль восточной периферии, что отразилось наиболее ярко в распределении температуры, солености, содержании хлорофилла *a* и растворенного кислорода. Выявленные для осени низкие значения БПК₅ < 1 мг/л (как в поверхностном, так и в придонном слоях) свидетельствовали о снижении жизнедеятельности сообщества гидробионтов и минимуме

метаболической органики, что отразилось и на концентрациях органического фосфора. Исключением являлись «зоны тени» — бухты Гайдамак, Тихая заводь и Средняя, где этот показатель, достигавший 1 мг/л, по-видимому, был обусловлен береговым стоком.

Весенняя и летняя съемки в заливе проводились во время действия летнего муссона при доминировании юго-восточного ветра, нарастании количества осадков и усилении речного стока. Эти погодные условия по данным майской съемки выразились в значительных пространственных градиентах термохалинных показателей (температура в поверхностном слое варьировала от 9 до 13 °C, соленость — от 28 до 32 епс, а у дна — менее 4 °C и более 33,5 епс). При этом наибольшая соленость вод наблюдалась вдоль восточного берега, свидетельствуя о поступлении свежих вод из открытой части зал. Петра Великого. Во время июльской съемки картина распределения термохалинных параметров в толще вод зал. Восток сохранялась, с некоторым изменением их диапазонов, обусловленных потеплением и опреснением.

Интенсивное развитие процессов жизнедеятельности гидробионтов в весенний период выражалось в максимальных значениях БПК₅ (до 2 мг/л и более), органического фосфора (до 50 мкг/л и более) и количестве растворенного кислорода, практически повсеместно превышающего 100 % насыщения вод. К лету их активность постепенно угасала, что проявлялось в снижении соответствующих показателей.

Результаты по индикаторным группам микроорганизмов, полученные во время весенне-летних съемок, подтвердили картину активности жизни в данный период. Это выразилось в превышении на порядок величин численности гетеротрофов в июле по сравнению с маем. Их максимальные количества (до 10⁵ КОЕ/мл) фиксировались в северо-западном секторе залива (бухты Средняя и Тихая заводь), что было обусловлено эффектом запираания речного стока ветровым нагоном. Бактерии группы кишечной палочки в летних пробах выявлялись на всех прибрежных станциях с концентрациями от 10 до 10² КОЕ/мл и не обнаруживались в центре и на выходе из залива, подтверждая наличие антропогенного пресса на мелководные участки акватории. Распределение металл-резистентных микроорганизмов показало во всех летних пробах максимальную численность устойчивых к никелю МО (до 10³ КОЕ/мл), свидетельствуя о специализированном антропогенном прессе на залив, вызванном сжиганием углеводородного топлива.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати, и Центру коллективного пользования Морской биобанк ННЦМБ ДВО РАН за предоставленное гидрологическое оборудование.

The authors are grateful to the reviewers and scientific editor of the manuscript for their valuable comments taken into account. Oceanographic equipment used in the surveys was provided by the Center for collective use Marine Biobank of Natl. Sci. Center of Marine Biology, Far-Eastern Branch, Russian Ac. Sci. (<http://marbank.dvo.ru/>).

Финансирование работы (FUNDING)

Гидрологическая часть работы выполнена по госбюджетной теме №121021700346–7. Микробиологическая оценка морской среды проводилась при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2023-0011.

The oceanographic surveys were conducted within the state budget topic No. 121021700346–7; the microbiological assessments were supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. FZNS-2023-0011.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Выполненная работа была комплексной, и каждый автор имел отношение к сбору проб и информации, обработке результатов и завершающему этапу подготовки публикации.

All authors of this complex study were involved in the marine surveys with samples collection, the samples processing, the results analyzing, the manuscript writing and illustrating, and its final preparing for publication.

Список литературы

Безвербная И.П. Отклик микроорганизмов прибрежных акваторий Приморья на присутствие в среде тяжелых металлов : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2002. — 177 с.

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

Галышева Ю.А. Особенности распределения макробентоса в прибрежных морских экосистемах Приморья // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 163. — С. 286–296.

Галышева Ю.А., Христофорова Н.К. Среда и макробентос залива Восток Японского моря в условиях рекреационного воздействия // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 149. — С. 270–309.

Димитриева Г.Ю. Планктонные и эпифитные микроорганизмы: индикация и стабилизация состояния прибрежных морских экосистем : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 1999. — 407 с.

Димитриева Г.Ю., Безвербная И.П. Микробная индикация — эффективный инструмент для мониторинга загрязнения прибрежных морских вод тяжелыми металлами // Океанология. — 2002. — Т. 42, № 3. — С. 408–415.

Ильинский В.В., Шадрина Н.А., Комарова Т.И. Гетеротрофные бактерии городских родников: Московский заповедник «Крылатские холмы» // Водн. ресурсы. — 2010. — Т. 37, № 4. — С. 494–501.

Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов / сост. В.В. Сапожников, А.И. Агатова, Н.В. Аржанова и др. — М.: ВНИРО, 1988. — 119 с.

Наливайко Н.Г. Микробиология воды : учеб. пособие. — Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2006. — 139 с.

Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений / под ред. А.В. Цыбань. — Л. : Гидрометеиздат, 1980. — 193 с.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / под ред. В.В. Сапожникова. — М. : ВНИРО, 2003. — 202 с.

Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря : моногр. / отв. ред. Н.К. Христофорова. — Владивосток : ДВФУ, 2012. — 440 с.

Тюрин А.Н. Морской заказник «Залив Восток» // Биол. моря. — 1996. — Т. 22, № 1. — С. 58–63.

Христофорова Н.К., Бойченко Т.В., Кобзарь А.Д. Гидрохимическая и микробиологическая оценка современного состояния прибрежных вод залива Восток // Вестн. ДВО РАН. — 2020. — № 2(210). — С. 64–72. DOI: 10.37102/08697698.2020.210.2.008.

Христофорова Н.К., Галышева Ю.А., Коженкова С.И. Оценка антропогенного воздействия на залив Восток (Японское море) по флористическим показателям макробентоса // Докл. АН. — 2005. — Т. 405, № 6. — С. 819–821.

Христофорова Н.К., Журавель Е.В., Миронова Ю.А. Рекреационное воздействие на залив Восток (Японское море) // Биол. моря. — 2002. — Т. 22, № 4. — С. 300–303.

Христофорова Н.К., Наумов Ю.А., Арзамасцев И.С. Тяжелые металлы в донных осадках залива Восток (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 136. — С. 278–289.

Yoshimizu M., Kimura T. Study on the Intestinal Microflora of Salmonids // Fish. Pathol. — 1976. — Vol. 10, Iss. 2. — P. 243–259. DOI: 10.3147/jsfp.10.243.

References

Bezverbnaya, I.P., The response of microorganisms in the coastal waters of Primorye to the presence in the environment of heavy metals, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 2002.

Gayko, L.A., *Gidrometeorologicheskii rezhim zaliva Vostok (Yaponskoye more)* (Hydrometeorological regime of the Vostok Bay (Sea of Japan)), Vladivostok: Tikhookean. Okeanolog. Inst. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2017.

Galysheva, Yu.A., Features of macrobenthos distribution in coastal marine ecosystems at Primorye (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 163, pp. 286–296.

Galysheva, Yu.A. and Khristoforova, N.K., Environments and macrobenthos in the Vostok Bay (Japan Sea) in conditions of anthropogenic impact, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 149, pp. 270–309.

Dimitrieva, G.Yu., Plankton and epiphytic microorganisms: indication and stabilization of the state of coastal marine ecosystems, *Dr. Biol. Sci. Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1999.

Dimitrieva, G.Yu. and Bezverbnaya, I.P., Microbial indication as an effective technique for monitoring the contamination of near-shore seawaters by heavy metals, *Oceanology*, 2002, vol. 42, no. 3, pp. 388–395.

Il'inskii, V.V., Shadrina, N.A., and Komarova, T.I., Heterotrophic bacteria in urban springs: krylatskie kholmy moscow reserve, *Water resources*, 2010, vol. 37, no. 4, pp. 575–582.

Sapozhnikov, V.V., Agatova, A.I., Arzhanova, N.V., Naletova, I.A., Mordasova, N.V., Vladimirovsky, S.S., Zubarevich, V.L., Torgunova, N.I., and Bondarenko, A.I., *Metody gidrokhimicheskikh issledovaniy osnovnykh biogennykh elementov* (Methods of hydrochemical studies of main nutrients), Moscow: VNIRO, 1988.

Nalyvayko, N.G., *Mikrobiologiya vody* (Microbiology of water), Tomsk: Izd-vo Tomskogo Politekh. Univ., 2006.

Rukovodstvo po metodam biologicheskogo analiza morskoy vody i donnykh otlozheniy (Guide to methods of biological analysis of sea water and bottom sediments), Tsyban, A.V., ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980.

Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskoy monitoringe rybokhozyaystvennykh vodoyemov i perspektivnykh dlya promysla rayonov Mirovogo okeana (Guidelines for chemical analysis of marine and freshwater in the environmental monitoring of fishing reservoirs and promising areas for fishing of the oceans), Sapozhnikova, V.V., ed., Moscow: VNIRO, 2003.

Sovremennoye ekologicheskoye sostoyaniye zaliva Petra Velikogo Yaponskogo morya: monografiya (Current ecological state of Peter the Great Bay, Sea of Japan), Khristoforova, N.K., ex. ed., Vladivostok: Far Eastern Federal University Press, 2012.

Tyurin, A.N., Marine reserve “Vostok Bay”, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1996, vol. 22, no. 1, pp. 58–63.

Khristoforova, N.K., Boychenko, T.V., and Kobzar A.D., Hydrochemical and microbiological assessment of the current state of the Vostok Bay, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2020, no. 2(210), pp. 64–72. doi 10.37102/08697698.2020.210.2.008

Khristoforova, N.K., Galysheva, Yu.A., and Kozhenkova, S.I., Assessment of human impact on Vostok Bay (Sea of Japan): Evidence from macrobenthic algae, *Dokl. Earth Sci.*, 2005, vol. 405A, no. 9, pp. 1423–1425.

Khristoforova, N.K., Zhuravel, E.V., and Mironova, Yu.A., Recreational effects in Vostok Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2002, vol. 28, no. 4, pp. 274–277. doi 10.1023/A:1020233429568

Khristoforova, N.K., Naumov, Yu.A., and Arzamastsev, I.S., Heavy metals in bottom sediments of Vostok Bay (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 136, pp. 278–289.

Yoshimizu, M. and Kimura, T., Study on the Intestinal Microflora of Salmonids, *Fish. Pathol.*, 1976, vol. 10, no. 2, pp. 243–259. doi 10.3147/jsfp.10.243

Lazaryuk, A.Yu. and Kosheleva, A.V., Svidetel'stvo № 2014619779 o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM «Korreksiya dannykh glubokovodnykh gidrologicheskikh nablyudeniy CTD-zondov (CTD-data_Processing)» (Certificate No. 2014619779 on state registration of the computer program “Correction of data from deep-sea hydrological observations of CTD-probes (CTD-data_Processing)”), *Bulletin. Computer programs. Database. Topologies of integrated circuits*, 2014, vol. 96, no. 10. <https://www1.fips.ru/Archive/EVM/2014/2014.10.20/DOC/RUNW/000/002/014/6>.

<https://rp5.ru/Weather archive in Vladivostok>. Cited September 29, 2023.

Поступила в редакцию 12.09.2023 г.

После доработки 3.11.2023 г.

Принята к публикации 30.11.2023 г.

The article was submitted 12.09.2023; approved after reviewing 3.11.2023;
accepted for publication 30.11.2023